

PEUT-ON CONSTRUIRE ET OPÉRER DES FRÉGATES MILITAIRES DANS LE RESPECT DU  
DÉVELOPPEMENT DURABLE ?

Par  
Pierre Meyer-Bisch

Essai présenté au Centre universitaire de formation  
en environnement et développement durable en vue  
de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.)

Sous la direction de Madame Marie-Chantal Vincent

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT  
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Janvier 2016

## SOMMAIRE

Mots clés : frégate militaire, développement durable, analyse du cycle de vie, environnement, éco-conception, indicateur, impact, naval, ISO 14 040.

L'objectif général de cet essai est d'analyser, au travers d'indicateurs clés en analyse de cycle de vie, l'importance de la prise en compte du développement durable et de l'environnement au sein des entreprises militaires navales. La place accordée à ce domaine dans les organisations stratégiques s'inscrit dans un contexte particulier où le terrorisme et la course à l'armement déstabilisent la sécurité des pays. Pour démontrer leurs rôles exercés sur l'environnement, les industries de construction militaires navales adoptent les politiques nationales et internationales. Celles-ci se traduisent par la mise en place de stratégies et d'actions dès la conception des produits et des services. Perçu comme une nécessité d'identifier des enjeux communs, l'ensemble des parties prenantes de l'industrie maritime collabore pour éco-concevoir des navires plus sûrs et plus écologiques. La problématique centrale de cet essai prend naissance au cœur des enjeux environnementaux liés à la volonté de repenser les navires de demain.

L'analyse d'un outil de durabilité axé sur les impacts d'un navire militaire, basé sur la littérature, démontre qu'il est possible de concilier l'environnement et le développement durable dès la conception des bâtiments de surface. Par ailleurs, l'analyse prouve la nécessité d'inclure d'autres indicateurs clés en accord avec la réglementation dans les outils de durabilité afin de considérer l'ensemble tridimensionnel du développement durable.

La méthodologie employée dans l'étude de cas a permis aux utilisateurs de l'outil GreenInShip de connaître les stratégies et les actions à mettre en place pour répondre à leurs objectifs d'entreprise. Les conclusions du cas d'étude démontrent la pertinence de l'outil élaboré et l'appui décisionnel qu'il peut fournir pour concevoir des navires plus écologiques. Les experts en analyse de cycle de vie et en éco-conception, les dirigeants et toutes les parties prenantes sont en mesure de décider s'ils souhaitent poursuivre leurs initiatives et s'inscrire à long terme dans une démarche de développement durable. Parmi les principales recommandations présentées, il est à noter l'importance de l'apport d'éléments plus complexes sur l'ensemble des composants du navire, l'intégration d'indicateurs plus larges et la création d'un système de notation en accord avec les seuils réglementaires. La combinaison de ces recommandations globales favorise la mise en place de facteurs clés. S'ils sont réalisés, les chances de réussite pour atteindre les objectifs de l'entreprise seront optimisées. Par le biais du questionnaire, les parties prenantes d'une industrie de construction de navires ont toutes les possibilités de considérer l'environnement au cœur de leurs décisions, sans pour autant ne pas oublier les dimensions économiques, sociales, de gouvernance et de gestion des risques.

## REMERCIEMENTS

Tout d'abord, j'aimerais remercier ma directrice d'essai, Madame Marie-Chantal Vincent, pour son accompagnement, ses précieux conseils et ses encouragements tout au long de l'essai. Sa philosophie et son esprit critique demeurent, pour moi, une source d'inspiration. Ses commentaires constructifs m'ont permis de me surpasser dans le cadre de ce travail. Je tiens aussi à la remercier pour ses connaissances sur le sujet de cet essai, sa disponibilité et son implication dans cette étude.

Au-delà du rôle formateur au cours de mon apprentissage, je souhaite remercier mes tuteurs et tutrices de formation pour leur rôle exercé dans le cadre de ma maîtrise. Par leur engagement et leur disponibilité, j'ai pu consolider mes connaissances et élargir mon champ de compétences dans le domaine de l'environnement. Je désire aussi remercier Madame Judith Vien pour avoir su comprendre mes difficultés et m'orienter dans les meilleures directions.

Ensuite, j'ai une sincère pensée à tous mes ami(e)s français et québécois avec qui mon aventure universitaire en France et au Québec a été synonyme d'enrichissement personnel. Mes six années outre-Atlantique m'ont permis de découvrir une culture riche et dynamique. Je remercie également ma sœur Claire pour ses conseils et son soutien moral au Québec. Merci également à mon frère Vincent pour ses encouragements malgré la distance. Une pensée particulière à Valérie, Alain, Marcel et à ma grand-mère Renée.

Aussi, je ne remercierai jamais assez mes parents de m'avoir insufflé le courage, la volonté et la ténacité dans les moments difficiles de mes études universitaires. Je leur suis reconnaissant pour leur patience, leur dévouement et leur confiance en moi. Par leurs conseils, leur soutien inconditionnel et constant, j'ai pu poursuivre mes engagements dans l'environnement. Merci d'avoir été toujours présents de près comme de loin au cours de ces dix dernières années.

Finalement, je tiens à remercier une personne qui a su m'encourager à chaque instant tout au long de la maîtrise en environnement malgré la distance. Merci à ma chère Sandra pour son soutien moral dans les moments les plus difficiles. Sa présence dans mes relectures a été indispensable. Sa patience et sa confiance en moi nous ont permis de surmonter les obstacles les uns après les autres.

À mes parents, à Sandra,

## TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION .....	1
1. MISE EN CONTEXTE .....	4
1.1 L'armement dans notre société .....	4
1.2 Le concept de développement durable.....	4
1.3 Interactions entre l'armement et le développement durable.....	7
1.3.1 Interactions entre l'armement et le social .....	7
1.3.2 Interactions entre l'armement et l'économie .....	8
1.3.3 Interactions entre l'armement et l'environnement.....	10
2. LE DÉVELOPPEMENT DURABLE AU SEIN DES ENTREPRISES MILITAIRES MONDIALES .....	14
2.1 Le développement durable en France .....	14
2.1.1 Vers une stratégie axée sur le DD .....	14
2.1.2 L'industrie navale française.....	16
2.1.3 L'industrie navale française au cœur de la dimension sociale .....	17
2.1.4 L'industrie navale française au cœur de la dimension économique .....	18
2.1.5 L'industrie navale française au cœur de la dimension environnementale .....	19
2.2 Le développement durable au Canada.....	20
2.2.1 Vers une stratégie axée sur le DD .....	20
2.2.2 L'industrie navale canadienne.....	21
2.2.3 L'industrie navale canadienne au centre de la dimension sociale.....	22
2.2.4 L'industrie navale canadienne au centre de la dimension économique .....	23
2.2.5 L'industrie navale canadienne au centre de la dimension environnementale .....	24
2.3 Le développement durable ailleurs dans le monde .....	27
3. ÉCO-CONCEPTION ET ANALYSE DE CYCLE DE VIE .....	29
3.1 Éco-concevoir un produit .....	29
3.2 Analyser le cycle de vie d'un produit .....	31
3.3 Les étapes clés de l'ACV .....	34
3.3.1 Objectifs et champ de l'étude.....	35
3.3.2 Inventaire du cycle de vie.....	35
3.3.3 Évaluation de l'impact du cycle de vie .....	35
3.3.4 Interprétation .....	36
3.4 Méthodologie d'évaluation des impacts du cycle de vie.....	37
3.4.1 Méthodes d'évaluation des impacts du cycle de vie .....	37
3.4.2 Méthodes d'évaluation des impacts dans un contexte international.....	39
3.4.3 Complexité du choix d'une méthode d'évaluation des impacts et de catégories d'impact.....	40

4. OUTIL DE DURABILITÉ APPLIQUÉ AUX NAVIRES MILITAIRES .....	41
4.1 Objectifs .....	41
4.1.1 Objectifs de l'outil .....	41
4.1.2 Objectifs de l'entreprise.....	42
4.2 Démarche méthodologique.....	42
4.3 Champ d'étude.....	45
4.4 Analyse du cycle de vie .....	50
4.4.1 Choix des indicateurs de l'outil de durabilité.....	50
4.4.2 Impacts finaux du cycle de vie .....	51
4.5 Système de notation .....	53
4.6 Législation et réglementation internationales du secteur naval.....	55
4.6.1 Pour un respect des législations en vigueur .....	57
4.6.2 Vers une anticipation des législations à venir .....	58
4.6.3 Vers une nouvelle démarche proactive.....	59
4.6.4 Analyse réglementaire de la fin de vie des navires.....	60
4.7 Stratégies d'éco-conception .....	61
4.7.1 Concevoir et réaliser un navire .....	61
4.7.2 Concevoir et réaliser un navire de type standard .....	63
4.7.3 Concevoir et réaliser un navire de type volontariste.....	67
4.7.4 Concevoir et réaliser un navire de type éco-conçu.....	73
5. ÉTUDE DE CAS : APPLICATION DE L'OUTIL.....	77
5.1 Étude de cas 1 : entreprise française .....	77
5.1.1 Présentation et objectifs de développement durable .....	77
5.1.2 Résultats .....	77
5.1.3 Stratégies recommandées .....	81
5.2 Étude de cas 2 : entreprise canadienne .....	84
5.2.1 Présentation et objectifs de développement durable .....	84
5.2.2 Résultats .....	85
5.2.3 Stratégies recommandées .....	87
6. LIMITES ET RECOMMANDATIONS .....	92
6.1 Portée et limites .....	92
6.2 Facteurs de succès.....	93
CONCLUSION.....	94
RÉFÉRENCES .....	96
BIBLIOGRAPHIE.....	111

ANNEXE 1 – PRÉSENTATION DE LA STRATÉGIE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE DE LA DÉFENSE FRANÇAISE (S3D) EN 2012 .....	116
ANNEXE 2 – PRÉSENTATION DE LA STRATÉGIE ENVIRONNEMENTALE DE LA DÉFENSE CANADIENNE (SED) EN 2008 .....	123
ANNEXE 3 – PRÉSENTATION DE L'OUTIL .....	125
ANNEXE 4 – PROPOSITIONS DE STRATÉGIES D'ÉCO-CONCEPTION.....	139
ANNEXE 5 – PRÉSENTATION DES RÉSULTATS DE L'ENTREPRISE FR (ÉTUDE DE CAS 1).....	142
ANNEXE 6 – PRÉSENTATION DES RÉSULTATS DE L'ENTREPRISE CA (ÉTUDE DE CAS 2).....	144

## LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1.1	Schéma du développement durable selon trois sphères principales .....	5
Figure 1.2	Perceptions divergentes des sphères du DD .....	6
Figure 1.3	Représentation des pays en développement dépensant plus pour l'armement que pour l'éducation ou les soins de santé.....	8
Figure 1.4	Évolution du marché international d'armes depuis 1950.....	10
Figure 2.1	Politique de gouvernance de l'entreprise <i>Davie</i> .....	26
Figure 3.1	Classement d'outils d'éco-conception selon leur niveau d'évaluation et de préconisation.....	30
Figure 3.2	Emplacement d'un outil d'éco-conception « idéal » par rapport aux outils existants actuellement.....	31
Figure 3.3	Les différentes étapes du cycle de vie des produits.....	33
Figure 3.4	Étapes d'une analyse de cycle de vie.....	34
Figure 3.5	Aspects exigés et facultatifs lors de l'évaluation de l'impact de l'ACV selon l'ISO 14 044 .....	36
Figure 3.6	Relations entre les résultats de l'ICV avec les catégories d'impacts intermédiaires et les catégories de dommages .....	38
Figure 4.1	Objectifs de l'entreprise dans la conception et la réalisation de navires militaires.....	42
Figure 4.2	Étapes d'élaboration de l'outil GreenInShip .....	43
Figure 4.3	Caractéristiques techniques d'une frégate militaire.....	46
Figure 4.4	Répartition de la frégate en cinq groupes fonctionnels selon l'UF .....	48
Figure 4.5	Structuration fonctionnelle ou arbre des processus du cycle de vie d'une frégate .....	50
Figure 4.6	Étape de regroupement des catégories d'impacts intermédiaires en catégories de dommages pour l'outil GreenInShip .....	52
Figure 4.7	Exemple d'échelle de cotation par type de navire et par catégorie d'impacts .....	53
Figure 4.8	Échelle de cotation pour les NO <sub>x</sub> et les SO <sub>x</sub> selon le type de navire pour la catégorie d'impacts des GES .....	54
Figure 4.9	Obligations réglementaires selon les objectifs de l'entreprise et les phases du cycle de vie .....	56
Figure 4.10	Questionnement à apporter lors de la conception d'un produit.....	62
Figure 4.11	Proposition stratégique d'éco-conception dans le cas de la réalisation d'un navire de type standard .....	67
Figure 4.12	Proposition stratégique d'éco-conception dans le cas de la réalisation d'un navire de type volontariste.....	72
Figure 4.13	Proposition stratégique d'éco-conception dans le cas de la réalisation d'un navire de type éco-conçu.....	76
Figure 5.1	Bilan d'ACV global d'un navire de type standard pour l'entreprise FR (Kpt).....	78

Figure 5.2	Seuils de réduction d'impact pour l'hydrodynamisme de navires simples, standard, volontaristes et éco-conçus .....	79
Figure 5.3	Résultat de la comparaison entre les seuils de réduction d'impacts et les seuils réglementaires dans le cas de l'entreprise FR.....	81
Figure 5.4	Propositions stratégiques pour le groupe fonctionnel « coque » selon le type de navire de l'entreprise FR.....	82
Figure 5.5	Réduction du bilan total de l'ACV d'un navire de type standard dans le cas de la réalisation de l'action d'éco-conception 3 de l'entreprise FR .....	83
Figure 5.6	Seuils de réduction d'impact pour le stockage de l'électricité de navires simples, standard, volontaristes et éco-conçus .....	86
Figure 5.7	Résultat de la comparaison entre les seuils de réduction d'impacts et les seuils réglementaires dans le cas de l'entreprise FR.....	88
Figure 5.8	Propositions stratégiques pour le groupe fonctionnel « usine électrique » selon le type de navire de l'entreprise CA.....	88
Figure 5.9	Réduction du bilan total de l'ACV d'un navire de type éco-conçu dans le cas de la réalisation de l'action d'éco-conception 4 de l'entreprise CA .....	90
Tableau 1.1	Augmentations des dépenses militaires mondiales 2008-2012 .....	9
Tableau 3.1	Avantages et inconvénients d'une ACV hybride.....	39
Tableau 4.1	Famille d'éléments d'une frégate.....	49
Tableau 4.2	Critères de sélection des indicateurs de durabilité .....	51
Tableau 4.3	Significations des différentes catégories d'impacts .....	51
Tableau 4.4	Valeurs des émissions limites de NO <sub>x</sub> et de SO <sub>x</sub> pour une frégate de type standard selon la <i>Convention MARPOL</i> .....	57
Tableau 4.5	Valeurs des émissions limites de NO <sub>x</sub> et de SO <sub>x</sub> pour une frégate de type volontariste selon la <i>Convention MARPOL</i> .....	59
Tableau 4.6	Rendements thermiques de moteurs pour le domaine naval.....	63
Tableau 4.7	Estimation de la diminution de la résistance à l'avancement du navire selon différentes solutions hydrodynamiques .....	66
Tableau 4.8	Réduction des émissions de CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , CO, HC et particules selon différentes méthodes .....	68
Tableau 4.9	Systèmes de gestion des déchets selon leur nature.....	70
Tableau 4.10	Comparaison entre deux systèmes de traitement des eaux grises et noires.....	71
Tableau 4.11	Capacités de stockage et temps de réponse de quelques technologies de stockage de l'électricité .....	73
Tableau 5.1	Exigences réglementaires soumises à l'entreprise FR dans le cas d'une construction d'un navire standard .....	80

Tableau 5.2 Gains des actions d'éco-conception selon le cycle de vie du navire de l'entreprise FR..84

Tableau 5.3 Exigences réglementaires soumises à l'entreprise CA dans le cas d'une construction d'un navire éco-conçu.....87

Tableau 5.4 Gains des actions d'éco-conception selon le cycle de vie du navire de l'entreprise CA .....91

## LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

3RV	Réduction, Réutilisation, Recyclage et Valorisation
ACV	Analyse de Cycle de Vie
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AED	Agence Européenne de Défense
AEPI	Institut de Police Environnemental de l'Armée
AFCAN	Association Française des Capitaines de navires
AFNOR	Association Française de NORmalisation
AMP	Agence des Aires Marines Protégées
AMRJ	Arsenal Marine de Rio de Janeiro
AOPA	<i>Automated Oil Pollution Abatement</i>
AOT	Autorisations d'Occupation Temporaires
ASTRID	Accompagnement Spécifique des Travaux de Recherches et d'Innovation Défense
BAE	<i>British Aerospace</i>
BITD	Base Industrielle et Technologique de Défense
BNQ	Bureau de Normalisation du Québec
BPC	Bâtiments de Projection et de Commandement
BS	Bâtiments de Surface
BTP	Bâtiment et Travaux Publics
Cd	Cadmium
CEC	<i>Commission of the European Communities</i>
CEDRE	CEntre de Documentation, de Recherche et d'Expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux
CEPPOL	Centre d'Expertises Pratiques de lutte antiPOLLution
CESM	Centre d'Études Supérieurs de la Marine
CFC	Chlorofluorocarbone
CFD	Centre de Formation de Bourges
CFMD	Centre de Formation au Management de la Défense
CHEAr	Centre des Hautes Études de l'Armement
CIDEF	Conseil des Industries de DÉFense
CIMAC	<i>International Council on Combustion Engines</i>
CMED	Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement
CMEL	Comités Mixtes Énergies Locaux
CNR	Centre National de Référence
CNRTL	Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
COV	Composé organique volatil

CREN	Conservatoire Régional d'Espaces Naturels
CSFM	Conseil Supérieur de la Fonction Militaire
CT	Comités Techniques
CUFE	Centre universitaire de formation en environnement et développement durable
DASRI	Déchets d'Activité de Soins à Risques Infectieux
DATAR	Délégation interministérielle à l'aménagement du territoire et à l'attractivité régionale
DD	Développement Durable
DDT	Dichlorodiphényltrichloroéthane
DEEE	Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques
DGA	Direction Générale des Armements
DOCOB	Documents d'objectifs
<i>DSME</i>	<i>Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering</i>
EADS	<i>European Aeronautic Defence and Space company</i>
ECHA	<i>European Chemicals Agency</i>
ECNI	Confédération Européenne des Industries Nautiques
EI-99	Éco-indicateur 99
EMSST	Enseignement Militaire Supérieur Scientifique et Technique
ENMOD	<i>Environmental Modification Techniques</i>
ETI	Entreprises de Taille Intermédiaire
ETM	Énergie Thermique des Mers
FAMM	<i>Fuel and Marine Marketing</i>
FIDH	<i>International Federation for Human Rights</i>
FIE	Fonds d'Intervention pour l'Environnement
FRED	Fonds pour les REstructurations de la Défense
FREMM	Frégates Européennes Multi Missions
GDC	<i>General Dynamics Corporation</i>
GES	Gaz à Effet de Serre
GFN	<i>Global Footprint Network</i>
GICAN	Groupement Industriel des Constructions et Armements Navals
GICAT	Groupement des Industries Françaises de Défense et de Sécurité Terrestres et Aéroterrestres
GIFAS	Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales
GSBdD	Groupements de Soutien des Bases de Défense
H+	Ion hydrogène
HC	Hydrocarbure
HCCI	Haut Conseil de la Coopération Internationale
HIA	Hôpitaux d'Instruction des Armées
IBM	<i>International Business Machines</i>

ICPE	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
ICV	Inventaire du Cycle de Vie
IDMC	Observatoire des situations de déplacement interne
IFORE	Institut de FORMation de l'Environnement
IHEDATE	Institut des hautes études de développement et d'aménagement des territoires
INEC	Conférence et Exposition Internationales de l'Ingénierie Navale
INI	Institution Nationale des Invalides
INRSM	Institut National de la Recherche Scientifique et Militaire
IOTA	Installations, Ouvrages, Travaux et Activités au titre de la loi sur l'eau
IRIAF	Institut des risques industriels, assurantiels et financiers
ISI	<i>Irving Shipbuilding Inc.</i>
ISO	Organisation International de Normalisation
JDN	Journal du net
Kg	Kilogramme
Kg.éq CO <sub>2</sub>	Kilogramme par équivalent CO <sub>2</sub>
Kpt	Kilopoint
LDD	<i>Loi sur le développement durable</i>
LOADDT	<i>Loi sur l'orientation pour l'aménagement et le développement durable du territoire</i>
LPO	Ligue pour la Protection des Oiseaux
LRF	<i>Loi refondues de France</i>
LRQ	<i>Loi refondues du Québec</i>
LRSU	<i>Loi relative à la solidarité et au renouvellement urbains</i>
MARPOL	MARine POLLution
MEDDE	Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie
MEEDDM	Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer
MEETS	<i>Marine Environmental Engineering Technology Symposium</i>
MEPC	Comité de la protection du milieu marin
MNHN	Muséum National d'Histoire Naturelle
MRC	Marine Royale Canadienne
NO <sub>x</sub>	Oxydes d'azote
NPEA	Navires de Patrouille Extracôtiers pour l'Arctique
NRBS	Nucléaire, Radiologique, Biologique et Chimique
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Économiques
OFTA	Observatoire Français des Techniques Avancées
OHSAS	<i>Occupational Health and Safety Advisory Services</i>
OMI	Organisation Maritime Internationale
ONCFS	Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage

ONF	Office National des Forêts
ONU	Organisation des Nations Unies
OPDP	Officiers de Programme et Directeurs de Programme
ORÉE	Organisation pour le Respect de l'Environnement dans l'Entreprise
OTAN	Organisation du Traité de l'Atlantique Nord
P	Phosphore
PAR	Plan d'Accompagnement des Restructurations
PME	Petites et Moyennes Entreprises
PMNU	Pacte Mondial des Nations Unies
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PPM	Partie par million
PPRT	Plans de Prévention des Risques Technologiques
QSE	Qualité Sécurité Environnement
RAPID	Régime d'Appui pour l'Innovation Duale
RDC	République Démocratique du Congo
REACH	<i>Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals</i>
RSE	Responsabilité Sociétale des Entreprises
RSO	Responsabilité Sociétale des Organismes
S	Seconde
S3D	Stratégie de Développement Durable de la Défense
SED	Stratégie Environnementale de la Défense
SENE	Service de l'énergie et de l'environnement
SETAC	Société de Toxicologie et de Chimie Environnemental
SGA	Secrétariat Général pour l'Administration
SHOM	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
SIBA	Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon
SIG	Système d'information géographique
SNACN	Stratégie Nationale d'Approvisionnement en matière de Construction Navale
SOLAS	<i>Safety Of Life At Sea</i>
SO <sub>x</sub>	Oxydes de soufre
SO <sub>2</sub>	Dioxyde de soufre
SSGE	Système de Sécurité et de Gestion Environnementale
SSHL	<i>Solar Sailor Holdings Ltd.</i>
SST	Santé et Sécurité des Travailleurs
TBT	Tributylétain
TCE	Trichloréthylène
TVB	Trame verte et bleue

UE	Union européenne
UF	Unité Fonctionnelle
UN	<i>United Nations</i>
UNEP	<i>United Nations Environnement Programme</i>
UNRIC	<i>United Nations Regional Information Centre</i>
UV	Ultraviolet
UVED	Université Virtuel Environnement et Développement Durable
VAE	Validation des Acquis d'Expérience
VISSC	<i>Canadian Navy's Victoria-Class</i>
VSC	<i>Vancouver Shipyards Corporation</i>
WFES	<i>World Future Energy Summit</i>
WWF	<i>World Wildlife Fund</i>
YPSA	<i>Young Power in Social Action</i>

## LEXIQUE

Acidification	Les activités humaines dues aux émissions de SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> et HCl affectent les écosystèmes en entraînant une augmentation de l'acidité des sols, des cours d'eau et de l'air (Actu-environnement, 2016a).
Amélioration continue	Effort continu qui est fait de petites améliorations faites jour après jour sans repartir en arrière (Hohmann, 2015).
Analyse de cycle de vie (ACV)	« Compilation et évaluation des entrants et des sortants, ainsi que des impacts potentiels environnementaux d'un système au cours de son cycle de vie » (Quantis, 2009).
Anthropocentrique	Philosophie qui place l'Homme en tant qu'entité centrale de l'univers et fait que tout est rapporté à lui (Anonyme, 2015).
Biocarburant	Carburants de substitution qui sont produits à partir de la biomasse (bois, déchets, alcools) qui est brûlée pour fournir de l'énergie. Ils ne relâchent pas de carbone dans l'atmosphère (Futura-sciences, 2016a).
Corvette	Bâtiment de guerre de taille inférieure à la frégate, mais possédant les mêmes caractéristiques (CNRTL, 2012a).
Couche d'ozone	Partie de la stratosphère (20 à 50 km d'altitude) ayant une concentration d'ozone d'environ dix parties par million (Actu-environnement, 2016b).
Cycle de vie	« Le cycle de vie d'un produit prend en compte toutes les activités qui entrent dans la fabrication, l'utilisation, le transport et l'élimination de ce produit » (Actu-environnement, 2015a).
Développement durable	« Développement qui répond aux besoins des générations actuelles sans compromettre ceux des générations futures » (commission Brundtland). C'est un mode de développement qui essaie de combiner trois piliers : efficacité économique, le respect de l'environnement et l'équité sociale (Veyret, 2007).
Eaux de ballast	Réservoir d'eau transporté à bord d'un navire permettant de le stabiliser en cas de cargaison (Transport Canada, 2010).
Eaux grises	Ce sont les eaux savonneuses (de douches, de bains et de lavabos) (Acteur Durable, 2009).
Eaux noires	Ce sont les eaux usées provenant des toilettes (SIBA, 2016).
Éco-conception	Démarche de management environnemental qui veut concevoir des produits respectant l'environnement en prenant en compte les critères environnementaux à la conception du produit (Actu-environnement, 2016c).

Écosystème	L'écosystème comprend un milieu, des êtres vivants et des conditions physico-chimiques homogènes permettant à l'intérieur le développement d'organismes vivants (Futura-sciences, 2016b).
Empreinte carbone	Indicateur qui mesure les émissions de gaz à effet de serre produits par les entreprises ou une population donnée en fonction de leur niveau de vie en France et à l'étranger. Ces émissions comprennent les émissions directes et les émissions indirectes qui se rapportent à la production, aux transports et aux services externes qu'elles utilisent (MEDDE, 2013).
Empreinte écologique	Indicateur qui mesure la pression exercée sur l'environnement par les entreprises ou par une population donnée (Veyret, 2007).
Énergie fossile	Énergie produite à partir de la combustion de matière organique fossilisée dans la roche (Veyret, 2007).
Eutrophisation	L'intervention de l'Homme sur l'environnement par le rejet de nitrates, de phosphates et de matières organiques détériore via la prolifération d'algues planctoniques les écosystèmes aquatiques (Futura-Sciences, 2016c).
Gaz à effet de serre	Les gaz à effet de serre (environ 40) sont des gaz qui absorbent une partie des rayonnements infrarouges émis par la surface de la Terre et les redistribuent dans l'atmosphère terrestre sous forme de radiation contribuant à l'effet de serre (Actu-environnement, 2015b).
Greenwashing	Entreprise qui oriente ses actions marketing et sa communication avec des arguments écologiques de façon abusive (Greenwashing, 2012).
Natura 2000	Ensemble de sites naturels européens qu'ils soient terrestres ou marins qui doivent préserver la nature en raison de la rareté, la fragilité de certaines espèces animales, végétales ou de leur habitat (MEDDE, 2016).
Navire auxiliaire	Ils représentent les bâtiments de l'armée qui ne sont pas destinés au combat tels que les ravitailleurs, les citernes, les navires-ateliers... (CNRTL, 2012b).
Porte-aéronef	Bâtiment de guerre destiné à l'évolution des aéronefs (Cordial, 2016).
Principe de précaution	Principe de responsabilité qui lors d'absence de certitudes scientifiques et techniques sur l'impact environnemental ou sanitaire d'un produit invite à prendre des mesures nécessaires ou à y renoncer plutôt que de prendre des risques pour l'Homme ou l'environnement (Vedura, 2015).
REACH	REACH est un règlement européen qui vise à mieux connaître les effets des substances chimiques sur la santé humaine et sur l'environnement (ECHA, 2016).
Réchauffement climatique	C'est un phénomène d'augmentation de la température moyenne à la surface de la Terre (Novethic, 2015).

Responsabilité sociétale	La responsabilité sociétale des entreprises est un concept dans lequel les entreprises prennent en compte le concept de développement durable (JDN, 2016).
Smog d'été	C'est une « brume de pollution » qui limite la visibilité dans l'atmosphère. Il est surtout constitué d'ozone près du sol (SENE, 2013).
Smog d'hiver	C'est une « brume de pollution » qui limite la visibilité dans l'atmosphère. Il est surtout constitué de poussières fines et de dioxyde d'azote (SENE, 2013).

## INTRODUCTION

La population mondiale connaît actuellement un contexte de crise. Qu'elle exerce une influence sur l'économie, la société, la politique, la géopolitique ou encore l'environnement, cette situation définit l'avenir du genre humain. Celui-ci semble hypothétique pour certains ou sans importance pour d'autres personnes. Toutefois, la crise ne peut que s'enrayer si rien n'est réalisé. Le mode de vie de la population actuelle mène celle-ci vers une impasse. En effet, selon le modèle d' « empreinte carbone » du *Global Footprint Network* (GFN) (2015), il faut l'équivalent de 1,3 planète pour satisfaire les besoins et les désirs annuels humains. Surexploitée, la Terre présente un enjeu important pour les populations futures. Sa protection assure la viabilité des générations à venir.

Sources de vie, les océans font partie des écosystèmes les plus impactés par l'action humaine. Ces régulateurs thermiques terrestres subissent le dérèglement climatique, la diminution des ressources biotiques, l'accroissement des pollutions de toutes natures...autant d'impacts qui perturbent le rôle primaire des océans. Responsable de son action sur ces milieux, l'Homme voit de plus en plus son espace de vie réduit par la montée des eaux, par l'effet dévastateur des crues et par l'inégale répartition de la ressource en eau. Il fait alors face à des situations de conflits pour des ressources qui s'épuisent. Ces conflits génèrent, trop souvent, des tensions entre pays amenant à des guerres.

Cet effet domino conduit l'Homme à redéfinir sa place au sein de son habitat. Au cours des dernières décennies, de nombreuses personnes, des collectivités, des pouvoirs publics et des entreprises ont pris conscience de la gravité du problème. Par leurs actions plus ou moins directes, ils changent le monde de demain. Les organismes économiques de nombreux pays produisent des biens et des services au cœur du développement de notre société de consommation. En réduisant les impacts environnementaux par l'amélioration de ces produits, l'industrie des pays favorise la protection de l'environnement humain présent et futur. Cette pensée, née du concept de développement durable (DD), a largement inspiré de nombreuses entreprises. Parmi celles-ci, les entreprises de construction militaire navale se sont engagées à concevoir des navires respectueux de l'environnement. Bien que les programmes d'armement et le concept de développement durable soient contradictoires, la force d'un État dépend des ressources primaires pour garantir l'emploi, la sécurité et le développement. Au-delà de la Responsabilité Sociétale des Entreprises (RSE), les industries militaires navales font preuve d'innovation pour réduire au maximum les impacts des navires sur les écosystèmes. En conjuguant une défense stratégique et un développement axé sur le respect de l'environnement, les entreprises militaires présentent une image différente aux citoyens. De nombreux pays, qu'ils soient européens ou américains, ont acquis un savoir-faire pour intégrer le DD dans leurs organisations. En effet, certaines entreprises d'État conjuguent, par des projets novateurs en éco-conception, le respect du développement durable avec leurs activités.

Dans ce contexte, il est intéressant de comprendre la synergie entre les sphères du développement durable et le domaine de l'armement. Ceci soulève la question de savoir s'il est possible de concilier supériorité stratégique et technologique dans le respect du DD.

Cet essai a donc pour objectif général d'analyser, à l'aide d'indicateurs clés en Analyse de Cycle de Vie (ACV), l'importance de la prise en compte du DD et de l'environnement au cœur d'entreprises militaires. Pour ce faire, la place du DD est alors définie dans les projets stratégiques. La compréhension de la logique de ces industries permet d'élaborer un outil d'aide à décision en vue d'optimiser les projets militaires. Cet outil offre une plus-value pour toute entreprise intéressée par le domaine de l'éco-conception. Une analyse critique sur une étude de cas en regard des principes du DD est proposée afin de statuer sur l'application réelle d'un tel outil décisionnel. Des recommandations dans le but d'optimiser l'outil et son utilisation sont proposées. Ces quatre objectifs spécifiques contribuent à répondre à l'objectif général et constituent les bases fondamentales de l'essai.

La réalisation de ce document s'appuie sur l'utilisation adéquate d'informations récentes et spécifiques au sujet. L'éco-conception militaire navale est un domaine d'étude précis et relativement récent. Bien que la littérature sur le sujet se trouve en grande quantité, il existe très peu d'outils vulgarisés à un large public. En effet, les données d'éco-conception demeurent la propriété des entreprises dont la divulgation d'informations reste à leur discrétion. Toutefois, les sources consultées ont dû démontrer de la crédibilité, de la pertinence et de la diversité avant leur utilisation. C'est particulièrement le cas de la norme ISO 14 044 *Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Exigences et lignes directrices* de l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) 14 000, dont la réputation n'est plus à faire.

La représentativité, la qualité et la validité des informations colligées basées sur un système de sélection de critères ont été élaborées et appliquées avec rigueur et rationalité. Pour chaque référence, une attention particulière a été portée sur son origine, son exactitude, sa date de parution, son objectivité ou encore la réputation de ses auteurs. Ces sources documentaires, pour donner de la pertinence à cet essai, ont dû être riches tant en termes qualitatif que quantitatif. Par ailleurs, les informations doivent être récentes. Ainsi, les publications, datant des années 2000 à aujourd'hui, sont considérées comme étant à jour. Des sources primaires, telles que des articles scientifiques, des publications gouvernementales, des thèses universitaires, des monographies et des articles de presse, etc., ont été à la base de la recherche d'informations. Aussi, des ouvrages de référence, des communications avec des experts du domaine ont permis de regrouper et de classifier l'ensemble des sources de cet essai. Base d'informations supplémentaires, les références de type secondaire ont constitué un appui solide pour rendre ce document plus cohérent avec l'actualité. Il s'agit, par exemple, de documents audiovisuels, d'actes de conférence ou encore de manuels en éco-conception. Des documents d'entreprise d'ordre techniques ont également fait l'objet d'une étude approfondie afin de répondre à la problématique. Enfin, les informations jugées « peu fiables » ont vu leur utilisation restreinte dans cet essai.

Le présent document est sectionné en six chapitres. Le premier met en contexte la situation actuelle de l'armement dans le monde, les enjeux liés au développement durable et les interactions entre ces deux domaines. Le deuxième présente la place occupée par le DD au sein des entreprises militaires navales mondiales. Les cas de la France et du Canada sont présentés plus explicitement. La troisième partie s'intéresse à la sphère environnementale de ces industries et précise le rôle exercé par l'ACV dans l'éco-conception de navires de guerre. La notion d'impacts et de dommages exercés par ces bâtiments de surface sur l'environnement est soulevée. Ces informations apportent une base nécessaire pour la création d'un outil de durabilité des navires militaires abordé au quatrième chapitre. À l'issue de cette section, les résultats de deux entreprises sont dévoilés afin de mettre en pratique et de tester l'efficacité de cette interface. Des solutions stratégiques en éco-conception navale sont proposées afin de faciliter la prise de décision. Suite à l'analyse critique de ces données, les limites de l'outil sont étudiées en vue d'établir des recommandations intéressantes pour accompagner les organisations dans leurs démarches.

## **1. MISE EN CONTEXTE**

Afin de comprendre les enjeux de l'essai, ce chapitre met en évidence les définitions des termes qui seront traités au travers du cadre historique et par des exemples récents. Pour cela, les différents thèmes liés à l'armement, au concept de développement durable et leurs interactions seront appréhendés.

### **1.1 L'armement dans notre société**

En 1949, suite à la *Convention de Genève*, l'article 2 définit un conflit armé international. Celui-ci :

« a lieu lorsqu'un ou plusieurs États ont recours aux forces armées contre un autre État, quelles que soient les raisons ou l'intensité de cet affrontement » (Khazri, 2011).

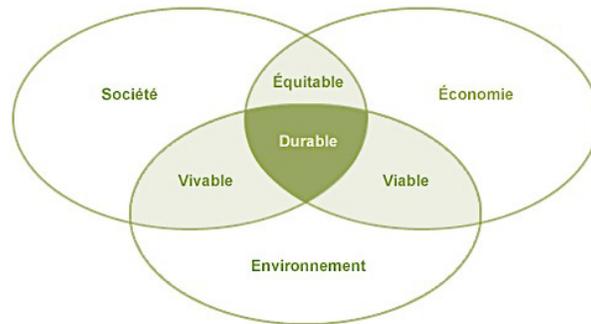
Les conflits actuels apparaissent en nombre croissant dans des zones marquées par de violents affrontements. Le 14 mai 2014, il est estimé que 33,3 millions de personnes se sont déplacées à l'intérieur de leur pays en raison des conflits présents (IDMC, 2014). Ce chiffre représente une augmentation de 13,5 % par rapport à l'année 2012. Actuellement, les pays les plus touchés par ces conflits sont concentrés à 63 % par la Syrie, la Colombie, le Nigéria, la République Démocratique du Congo (RDC) et le Soudan. Il est estimé qu'une famille quitte son foyer chaque minute. Les conflits et les guerres détruisent et impactent les ressources nécessaires au développement d'un pays. Ceci accentue son incapacité à émerger du cercle de la pauvreté (Khazri, 2011). Les guerres sont bien souvent la cause des conflits. Mais, elles souhaitent généralement, par leur politique, prévenir leurs retours ou pacifier une région dans l'espoir de la naissance d'un environnement sécuritaire et respectueux du développement durable (Boiral et autres, 2004).

Ces conflits exercent également une influence sur les exportations d'armes. Liés, l'armement et les conflits se complètent et interagissent. De plus en plus, la quantité d'armes fabriquées pour ces conflits croît. Cette croissance fait intervenir de nombreux acteurs tant sur la scène internationale qu'au niveau local. La défense mondiale repose sur les nombreuses industries qui la composent. Selon l'Enseignement Militaire Supérieur Scientifique et Technique Français (EMSST) (2014), elles exercent des activités découlant des responsabilités de l'État considéré. Celui-ci occupe à la fois les rôles de fournisseur et de client pour les industries d'armement. L'armement se définit aussi d'après cinq composantes, c'est-à-dire qu'il occupe cinq secteurs regroupant le milieu terrestre, le milieu maritime ou naval, le milieu aérien, le cyberspace et la dissuasion. Les deux derniers secteurs sont des composantes qui se développent de plus en plus (EMSST, 2014). Dans cette étude, seul le domaine naval sera étudié. Il est possible de constater que l'armement provoque de nombreuses conséquences sur l'Homme et son environnement.

### **1.2 Le concept de développement durable**

Évoqué initialement en 1972 lors de la *Conférence des Nations Unies sur l'environnement*, le concept de développement durable est repris dans le rapport Brundtland en 1987 (UNRIC, 2012). Théorique, ce

« mode de développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs » n'est pas toujours pris en considération encore aujourd'hui (Brundtland, 1987). Cette pensée se matérialise par l'association de trois domaines, à savoir l'économie, le social et l'environnement à la figure 1.1.



**Figure 1.1 Schéma du développement durable selon trois sphères principales** (tiré de : BNQ 21 000, 2011)

La société anthropocentrique actuelle doit faire face à une évolution inéluctable. Selon le GFN, l'empreinte écologique, soit la quantité de surface terrestre nécessaire à la production de biens, de services consommés et de déchets absorbés de la Terre doublera d'ici les 35 prochaines années (GFN, 2015; WWF, 2015). Ainsi, le mode de consommation actuel humain doit changer, s'il veut répondre aux besoins des générations futures. Suite à la réflexion internationale de Stockholm en 1972, une prise de conscience a émergé au sein des différents gouvernements. Le concept de vie durable a laissé apparaître la mise en place de lois. En 2006, le gouvernement québécois inclut la définition du concept de DD avec la création de la *Loi sur le développement durable* (L.R.Q., 2006). Cette notion est également reprise en France avec les lois n° 99-533 et n° 2000-1208 sur le DD et sur l'aménagement du territoire (JORF, 1999; JORF, 2000). En adoptant une position bien définie, les gouvernements inspirent les communautés citoyennes, les entreprises et les collectivités au niveau local et au niveau international (Meakin, 1992). Par le caractère indissociable des dimensions sociale, économique et environnementale, le DD se base sur une vision au long terme. Les notions de maîtrise des risques et de gouvernance s'ajoutent au concept de DD (Comité 21, s.d.). Une trentaine de principes ont été émis à la suite du Sommet de la Terre de 1972 (UNEP, 2015). Le Haut Conseil de la Coopération Internationale (HCCI) place chacune des sphères du système tridimensionnel de manière inclusive. Les actions portées dans une sphère spécifique ont un impact inévitable sur la globalité des enjeux (HCCI, 2006). Selon Stoppa (2013), la mise en application du DD est encore hétérogène allant d'une faible à une durabilité plus intense. D'autres auteurs perçoivent le DD selon différentes « nuances » de durabilité (IBM, 2006). D'après le HCCI (2006), la sphère économique prend davantage d'importance dans le concept de développement durable. Ceci se confirme par une volonté des organisations à atteindre une démarche économiquement rentable. Au cœur des prises de décisions, cette sphère domine dans la société actuelle. Selon la vision adoptée dans

le DD, les sphères n'ont pas la même importance. La figure 1.2 montre que chaque sphère du DD peut prendre une place différente selon la priorité qu'on lui accorde.



**Légende :** Environnement / Social / Économie

**Figure 1.2** Perceptions divergentes des sphères du DD (tiré de : HCCI, 2006, p. 15)

Le développement durable apparaît alors comme la résultante de trois constats. Le modèle de croissance économique et de développement est mis en échec depuis plusieurs années. Les problèmes de réchauffement climatique s'accroissent conjointement avec ce modèle. Avec la mondialisation, les pays sont davantage interdépendants, favorisant l'émergence de relations complexes entre états. Face aux conséquences générées par ces trois constats, la prise de conscience des effets de dégradation de l'environnement devient planétaire et intergénérationnelle. La mise en place d'un modèle de développement durable sous-entend une approche où la paix, les droits humains, la démocratie et les équités sociales et économiques conjuguent avec la protection de l'environnement. (Khazri, 2011)

Le DD est souvent utilisé comme un outil marketing, responsable du *greenwashing*, par de nombreuses entreprises ou par les médias qui ne garantissent pas toujours son respect (Salvetti et autres, 2009). Pourtant, les industries de construction militaire ne peuvent ignorer le DD. Même si les programmes d'armement et le développement durable apparaissent comme antinomiques à première vue, ces entreprises assurent la sécurité et la stabilité d'un pays (Salvetti et autres, 2009).

Elles doivent alors considérer les normes environnementales, les attentes de l'opinion publique et l'évolution continue de la réglementation selon le contexte géopolitique national et international. Pour cela, elles ont développé des concepts novateurs en recherche et en développement tout en s'appuyant sur une démarche de RSE (MEDDE, 2014).

### **1.3 Interactions entre l'armement et le développement durable**

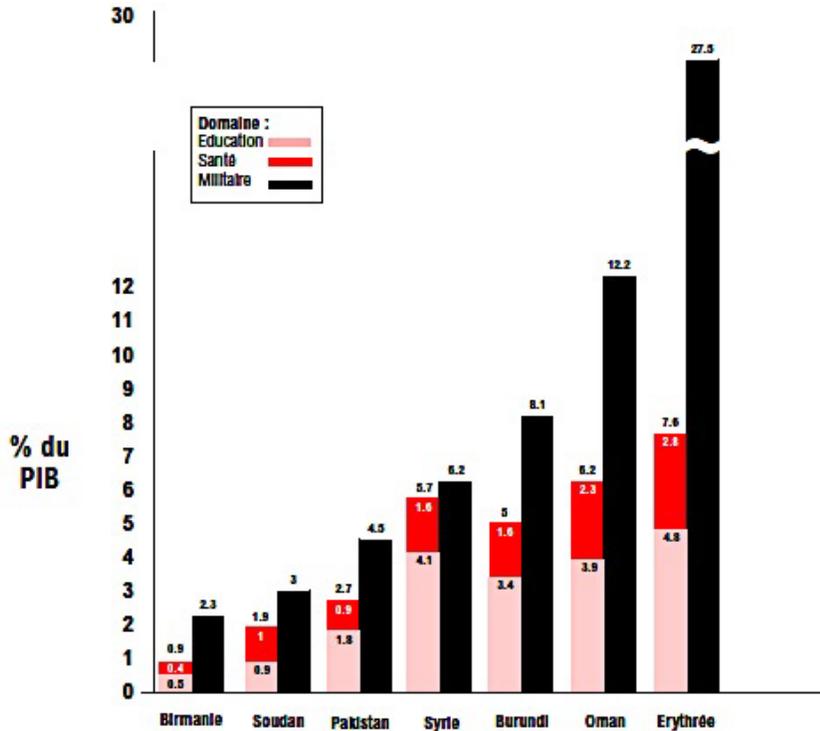
L'armement et le DD possèdent de nombreuses interactions qui les rendent indissociables. Les sections suivantes s'intéressent à comprendre ces relations réciproques qui exercent des liens forts l'un envers l'autre.

#### **1.3.1 Interactions entre l'armement et le social**

Ayant pour objectif principal d'assurer la sécurité des citoyens, l'armement est généralement bien perçu. Toutefois, il peut être fortement critiqué par l'opinion sociale. La base militaire de Valcartier, au Québec, a subi de fortes pressions en 2012 de la part des citoyens à la suite d'une contamination au trichloréthylène (TCE) des eaux de la commune Shannon (Boiral et autres, 2004). Actuellement, la contamination s'étend au-delà de quatre kilomètres menaçant les affluents du bassin hydrographique de la rivière Saint-Charles, source de réserve d'eau potable de plusieurs municipalités (Boiral et Verna, 2004). Dans la rivière Jacques-Cartier, la présence d'obus constitue une menace pour les activités récréotouristiques situées à proximité de la base militaire.

Dans la plupart des pays développés, les industries d'armement représentent un poids économique considérable avec la création de dizaines de milliers d'emplois dans les secteurs de la recherche, du développement et de la fabrication (Salvetti et autres, 2009).

Dans les pays en voie de développement, l'armement militaire regroupe davantage de dépenses que l'éducation ou le système de santé. La figure 1.3 présente les sept pays les plus en difficultés en matière d'inégalité financière.



**Figure 1.3** Représentation des pays en développement dépensant plus pour l'armement que pour l'éducation ou les soins de santé (tiré de : PNUD, 2003)

### 1.3.2 Interactions entre l'armement et l'économie

Pour défendre un pays, l'armement militaire doit réaliser le plus souvent des dépenses. Après la guerre froide des années 1990, celles-ci augmentent avec le refus des États-Unis de ratifier le Traité d'interdiction complète des essais nucléaires. En 2002 et 2003, les dépenses militaires mondiales augmentent de 18 % atteignant 956 milliards de dollars. Ce chiffre atteint les 1 739 milliards de dollars américains en 2013, soit 2,5 % du PIB mondial en 2012 (EMSST, 2014). Les États-Unis représentent près de la moitié des coûts de la défense mondiale (Willett, 2005). Le président de la Banque mondiale James Wolfensohn pense qu'il existe un certain déséquilibre fondamental entre les 900 milliards de dollars dépensés par le monde en matière de défense et les 325 milliards de dollars utilisés pour le soutien aux agriculteurs. Seulement 60 milliards seraient consacrés à l'aide humanitaire accordée aux pays en déficit (Oxfam International et autres, 2004).

La tendance suivie par les dépenses militaires mondiales s'explique, d'après l'EMSST (2014), par une intensification de la concurrence sur les marchés mondiaux, les restrictions budgétaires de certains

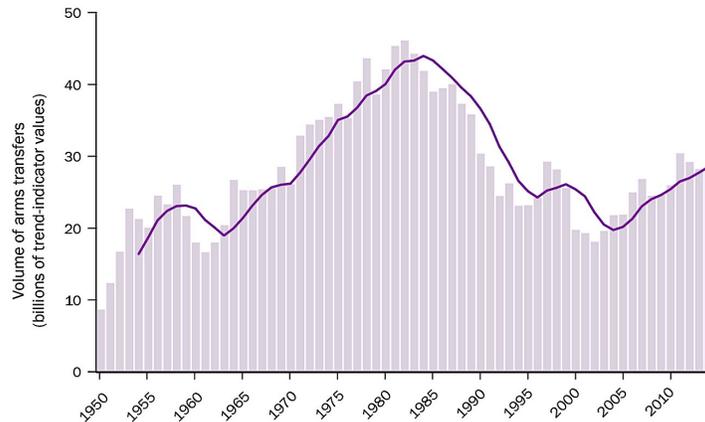
gouvernements ou le soutien de ces derniers aux industries d'armement, hors des zones de marché. Le tableau 1.1 présente les augmentations significatives des dépenses militaires au cours de la période 2008-2012.

**Tableau 1.1 Augmentations des dépenses militaires mondiales 2008-2012** (tiré de : EMSST, 2014)

Zones géographiques mondiales	Pourcentage d'augmentation des dépenses militaires
AFRIQUE	92 %
ASIE	92 %
EUROPE ORIENTALE	129 %
AMÉRIQUE DU SUD	93 %
MOYEN-ORIENT	82 %
OCÉANIE	70 %

L'armement comprend l'importation et l'exportation de systèmes militaires. Les importateurs comme les exportateurs d'armes doivent s'assurer que les transferts ne compromettent pas le DD (Oxfam International et autres, 2004). Pour l'exportation, le *Traité sur le Commerce des Armes* contrôle les flux de marchandises entre usagers. En 2002, les membres du Conseil de Sécurité de l'Organisation des Nations Unies (ONU), à savoir la Chine, la France, la Russie, le Royaume-Uni et les États-Unis, figuraient parmi les cinq plus grands exportateurs d'armes dans le monde, soit 88 % des exportations d'armes (Oxfam International et autres, 2004). Les pratiques commerciales très rentables se réalisent dans un cadre souvent réglementé par les politiques en place (EMSST, 2014). Toutefois, cette réglementation n'est pas toujours respectée, d'autant plus dans le cas de conflits avec des groupes terroristes. À cet égard, l'Union européenne (UE) a élaboré une procédure sur le commerce illégal des armes à feu civiles avec la *Directive Armes à Feu 2008/51/CE* qui établit les règles dans le cas d'échange ou de vente d'armes au sein de l'Europe. Au-delà de l'espace Schengen, les États n'ayant pas ratifié le protocole de l'Union ne sont pas soumis aux mêmes directives. C'est particulièrement le cas des États islamiques dont la politique instable ne contrôle pas toujours les effets néfastes du blanchiment des armes au détriment des populations victimes du terrorisme. Le financement illégal et l'enrôlement au travers des réseaux sociaux participent à accroître le terrorisme mondial (Commission européenne, 2015).

De 1950 à 1980, le marché des armes croît en raison du contexte géopolitique de la guerre froide. Il s'agit de la course aux armements. Puis, dès 1980, le désarmement diminue significativement la croissance du marché d'armes après la chute du régime soviétique. La récente croissance depuis 2005 s'explique par la volonté des gouvernements à combattre le terrorisme (EMSST, 2014). La figure 1.4 montre l'évolution du volume d'armes transférées dans le monde depuis 1950.



**Figure 1.4 Évolution du marché international d'armes depuis 1950** (tiré de : EMSST, 2014)

Toutefois, ces transferts d'armes peuvent influencer négativement la croissance économique, le progrès social et le respect de l'environnement en cas de mauvais contrôles. Le coût financier ne doit pas se faire au détriment de l'amélioration sociale. Les transferts d'armes doivent avoir un impact faible sur la croissance et sur l'environnement. L'objectif est de maintenir la sécurité humaine actuelle sans compromettre les capacités à protéger les générations futures (Oxfam International et autres, 2004). Selon une étude réalisée entre 1972 et 1988 sur 125 nations, les dépenses militaires ont souvent lieu au détriment de dépenses consacrées au développement durable accentuant le ralentissement économique (Hewitt, 1991). Dorsouma et Bouchard (2006) admettent que les nouveaux conflits armés, localisés dans les pays en voie de développement, compromettent la croissance économique et favorisent davantage la condition précaire du pays.

Inclure le DD dans les politiques d'armement génère, selon Salvetti et autres (2009), un réel attrait financier. Mais, l'armement doit se développer en respectant l'environnement.

### 1.3.3 Interactions entre l'armement et l'environnement

Le conflit a toujours existé au sein des civilisations humaines. Source de nombreuses guerres, il a su profiter de son environnement pour exister. Ainsi, les plus grands stratèges de l'histoire ont su s'y intéresser en exploitant à moindre coût les ressources naturelles avec audace (Boulanger, 2010). Il a été alors possible de façonner des armes de combat et des stratégies pour vaincre l'adversaire. Brûler la terre pour diminuer les capacités tactiques de l'adversaire, contaminer les réserves ou détourner les cours d'eau sont trois exemples parmi d'autres témoignant de l'emploi de l'environnement comme un outil stratégique militaire (Boiral et autres, 2004; Boulanger, 2010). Qu'il soit dans l'objectif de se défendre ou d'attaquer, l'environnement est utilisé à de nombreuses fins. Plus récemment, lors de la Seconde Guerre mondiale, l'aviation britannique détruisait les barrages et les stations d'épuration pour déstabiliser l'adversaire allemand. Cette manœuvre est reprise par l'armée serbe pour atteindre la population civile croate de Split. Durant la guerre du Vietnam, les Américains ont utilisé l'herbicide « Agent Orange » sur

les forêts pour poursuivre les soldats vietnamiens (Khazri, 2011). Plus tard, en 1991, le régime de Saddam Hussein vise les sites d'exploitation pétrolière comme cible militaire privilégiée afin de perturber le fonctionnement des usines de traitement d'eau de la coalition (Boulanger, 2010). Les exemples historiques du rôle joué par l'environnement dans les conflits armés sont multiples et continuent d'être présents dans l'actualité.

Toutefois, l'environnement n'est pas uniquement un acteur responsable du préjudice causé aux populations. Victime des conséquences de la guerre, il est fragilisé selon l'intensité de l'affrontement. Les guerres modernes ont des impacts environnementaux à long terme dépassant les dommages visibles et immédiats des interventions militaires (Boiral et autres, 2004). Selon Boulanger (2010), les armées agissent par de profonds changements sur les écosystèmes. Cette influence se manifeste par des défrichements pour la création de bases militaires et de moyens de transport. Le Mur de l'Atlantique, édifié entre 1941 et 1944, participe à l'érosion marine du littoral franco-espagnol. Aussi, la fabrication et la dégradation du matériel militaire renvoient à des notions de dégradation dans l'environnement et de risques chimiques. Les munitions, les carburants, les systèmes d'armes et les agents chimiques employés comme explosifs concentrent la majorité des métaux lourds, des solvants et des oxydes de métaux. Au-delà de leurs effets immédiats ou retardés sur l'environnement, ces produits et ces substances constituent un facteur additionnel dans la disparition d'espèces végétales et animales (Boulanger, 2010). Suite à l'emploi de défoliants lors de la guerre du Vietnam, de nombreux sols sont devenus hydromorphiques, déstabilisant le système agricole local. La maîtrise des conditions climatiques à des fins militaires n'est pas récente. En 1946, l'armée américaine prolonge la mousson vietnamienne grâce à des fusées d'iodure d'argent et de plomb. Enfin, le risque écologique peut être prépondérant en cas d'utilisation d'armes bactériologiques, nucléaires ou chimiques. Ce risque est d'autant plus important que les sites industriels sont souvent la cible d'attaques terroristes (Boulanger, 2010). Ainsi, les conséquences des actions militaires ont des impacts sur l'environnement, à savoir la contamination des sols et du réseau hydrique, la perturbation des cycles agricoles, des écosystèmes et des ressources naturelles. La guerre reste toutefois une des causes parmi d'autres de la dégradation de l'environnement.

L'environnement est aussi un facteur à l'origine des conflits armés. Une raréfaction, une pénurie ou une privation des ressources naturelles sont des éléments initiant la plupart du temps des conflits (Boulanger, 2010). Les tensions liées au partage des eaux (nappes phréatiques) israélo-palestiniennes sont un exemple parmi d'autres (Boiral et autres, 2004). Boulanger (2010) pense que le manque de ressource en eau a provoqué l'exode de plusieurs millions de personnes dans le monde à la fin XX<sup>e</sup> siècle. Selon un rapport du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) (2009), l'exploitation des ressources naturelles des vingt dernières années a occasionné l'émergence d'environ dix-huit conflits violents dans le monde. Au contraire, moins de 40 % de tous les conflits internes ont un lien direct avec les ressources naturelles d'un territoire au cours des soixante dernières années (Khazri, 2011). Les changements climatiques peuvent, par ailleurs, générer des difficultés dans l'accès à l'eau potable, la

sécurité alimentaire et la protection des populations. Selon le Pentagone, d'ici vingt ans, les impacts de ces changements constitueraient une menace plus importante pour la sécurité internationale que les actes terroristes (Kempf, 2004; Townsend et Harris, 2004). L'environnement apparaît sous trois aspects. Il est à la fois la victime, l'arme et la raison du conflit.

Face aux conséquences directes et indirectes sur l'environnement, une prise de conscience s'est exercée à l'échelle internationale. Préservation de l'environnement et consolidation de la paix sont devenues dès lors indissociables depuis l'évolution de la réglementation internationale. De nombreux traités encadrent l'utilisation de l'environnement dans le cadre militaire. La *Convention Environmental Modification Techniques* (ENMOD) de 1976, adoptée par les Nations Unies, interdit l'usage à des fins stratégiques de méthodes modifiant l'environnement (Salveti et autres, 2009; UN, 2015). À l'échelle européenne, l'Agence Européenne de Défense (AED) contribue à prendre en compte l'environnement dans les différents projets de coopération liés à l'armement de la conception jusqu'au démantèlement des systèmes d'armes (Salveti et autres, 2009). Chaque pays européen devient ainsi responsable de ses programmes d'armement. La France l'a largement compris en adoptant le principe de précaution dans sa Constitution. Par le classement Natura 2000 des espèces, l'élaboration de la loi Grenelle 1 et du projet de loi Grenelle 2, la défense française sait qu'elle doit inclure le paramètre environnemental dans le fonctionnement de ses opérations (Salveti et autres, 2009).

Qu'elles soient contraintes par la réglementation internationale et nationale, ou qu'elles désirent un changement dans leurs politiques, les armées modernes adoptent depuis quelques décennies une stratégie de développement durable. La Suisse, la Suède et le Canada deviennent les précurseurs de la mise en place d'un plan de DD au sein des ministères de la Défense. Adopté en 1997 par le gouvernement canadien, ce plan est mis à jour tous les trois ans et intègre une démarche environnementale basée sur la norme ISO 14 001 (Boulangier, 2010). L'Allemagne prend en compte le recyclage et le traitement des matériaux dès la conception des programmes d'armement. L'éco-conception des systèmes militaires est une démarche qui a également séduit la Suisse. Cet engouement incite les États-Unis à créer l'Institut de Police Environnemental de l'Armée (AEPI) dont la mission est d'instaurer des règlements au ministère de la Défense (Federal Register, 2000; Chaix, 2006). Ainsi, la défense et l'environnement apparaissent comme deux domaines en interaction. Selon Salvetti et autres (2009), l'atteinte importante à l'environnement deviendra un motif d'intervention militaire au cours des prochaines années. La politique des armées modernes se doit d'être en phase avec les modes d'action et les moyens employés.

Pour ce faire, la défense de chaque pays passe par les industries d'armement. Soumises à des réglementations semblables au secteur civil, ces entreprises doivent mettre en place des processus de conception, de production, d'entretien et de démantèlement respectant les principes du DD (Salveti et autres, 2009). Par ailleurs, en garantissant une gouvernance incluant une bonne gestion environnementale, une maîtrise des risques et un développement du capital humain, ces industries

suscitent l'intérêt d'investisseurs. Par leurs performances environnementales, sociales et économiques, ces entreprises d'armement participent à l'équilibre financier d'un pays.

Une des conditions nécessaires au DD est la paix, car :

« La paix, le développement et la protection de l'environnement sont interdépendants et indissociables » (Nations Unies, 1992, principe 25).

« La guerre exerce une action intrinsèquement destructrice sur le développement durable. Les États doivent donc respecter le droit international relatif à la protection de l'environnement en temps de conflit armé et participer à son développement » (Nations Unies, 1992, principe 24). (Khazri, 2011).

La recherche de compromis entre les besoins des forces armées et le respect des contraintes du DD doit être au cœur des réflexions (Salvetti et autres, 2009).

Les liens forts existants entre l'armement et le développement durable sont des éléments connus plus localement au sein des pays et des entreprises de construction de matériels militaires. La section suivante s'intéresse à comprendre comment ces interactions agissent en France, au Canada et ailleurs dans le monde au niveau de ces deux échelles spatiales.

## **2. LE DÉVELOPPEMENT DURABLE AU SEIN DES ENTREPRISES MILITAIRES MONDIALES**

Ce second chapitre a pour objectif principal de définir et décrire les différents enjeux du développement durable au sein des entreprises militaires. Pour ce faire, une revue de littérature sur la place du DD dans ces entreprises est effectuée et présentée. Les trois composantes du développement durable, à savoir le social, l'économique et l'environnement sont étudiées.

### **2.1 Le développement durable en France**

La France fait partie des grandes puissances mondiales en matière d'armement. Claire et précise, sa politique de défense exerce une influence directe sur les entreprises militaires navales. Le développement durable devient de plus en plus une préoccupation de ce secteur en pleine expansion.

#### **2.1.1 Vers une stratégie axée sur le DD**

Intégré dans la politique du gouvernement français de 2015 à 2020, le ministère de la Défense française émet, en 2012, ses choix en matière de DD avec l'élaboration de la Stratégie de Développement Durable de la Défense (S3D) (France, 2012a; France, 2015a). Celle-ci repose sur les enjeux sociaux, économiques et environnementaux à travers la mise en application de neuf objectifs, dont l'annexe 1 présente chacun d'eux. Déclinés en choix stratégiques, ils peuvent être suivis par de multiples indicateurs.

Parmi les objectifs adoptés par la Défense nationale, le modèle français opte pour une consommation et une production durable. Cette volonté de changer passe, tout d'abord, par une réduction des impacts environnementaux du matériel militaire durant et après leurs services. En effet, l'utilisation et l'entretien de l'armement s'étend sur de longues périodes allant de quelques à plusieurs dizaines d'années. Les contraintes environnementales et les limites opérationnelles doivent favoriser une gestion efficace des équipements de défense. Pour agir adéquatement, la Défense nationale opte pour un allongement de la durée de vie du matériel. Ceci passe par une bonne gestion de sa fin de vie. Le démantèlement devient alors une option à considérer. La réduction des impacts environnementaux passe également par une vision différente de la conception du matériel futur. En maîtrisant les impacts des opérations d'armement sur l'environnement, chaque entreprise de construction militaire inclut la dimension environnementale dans le cycle de vie des équipements. La prise en compte de cet aspect revêt d'une importance à la fois opérationnelle, juridique, mais aussi financière. Cette stratégie de réduction a pour intérêt de stimuler également le tissu économique des Petites et Moyennes Entreprises (PME) et des Entreprises de Taille Intermédiaire (ETI). Source d'innovation, de croissance et d'emplois, elles détiennent les bases indispensables pour soutenir la Base Industrielle et Technologique de la Défense française (BITD). Par ailleurs, ces entreprises s'intéressent de plus en plus à être exemplaire par l'achat de matériels de construction responsables. En conciliant performances sociales, économiques et environnementales, elles contribuent à une économie plus stable et plus durable. La valorisation et le recyclage de leurs

déchets au travers de leurs activités sont un autre exemple qui redéfinit leur mode de production. (France, 2012b)

Cette volonté de changer est possible grâce à l'acquisition et au partage des connaissances. La Défense navale atteint un autre objectif, à savoir celui d'instruire et de former son personnel tout au long de sa carrière. La formation professionnelle qualifiante devient alors un levier de performance bénéfique tant à l'institution qu'au personnel militaire. De plus en plus, les formations militaires intègrent les problématiques du concept de développement durable. Chacun peut, dès lors, jouer un rôle à son échelle. La reconversion fait également partie de la politique des industries militaires navales. L'analyse, l'anticipation et la préparation aux évolutions politiques, industrielles et sociales des salariés sont aussi un défi que la S3D souhaite atteindre au travers des formations professionnelles. En préparant l'avenir par le biais de partenariats, de recherche et d'innovation, chaque entreprise militaire via la Direction Générale des Armements (DGA) s'assure d'un futur accessible. (France, 2012b)

Le ministère opte pour cela pour une politique de gouvernance basée sur le respect des principes de DD par l'ensemble du corps militaire. Chaque niveau hiérarchique doit s'approprier, par le comportement et l'état d'esprit, les bases du DD. Pour ce faire, le ministère souhaite favoriser une intégration de ces actions dans le tissu local économique, politique, environnemental et associatif. La création de démarches coopératives avec les acteurs locaux, tels que les maires ou les préfets, permet d'intégrer le DD au cœur des différents échelons administratifs. La communication et la concertation au sein et entre les secteurs militaires et civils sont nécessaires dans l'atteinte de ce choix stratégique. (France, 2012b)

Un des facteurs clés du DD est, selon le ministère de la Défense, d'être attentif aux changements climatiques et à la consommation d'énergie. Actuellement, pour répondre à ces besoins, l'ensemble du ministère et de ses infrastructures utilise les énergies fossiles à plus de 85 %. L'adaptation pour l'accès aux ressources, la maîtrise des consommations et la réduction des impacts climatiques sont les clés essentielles face aux nécessités militaires. Le ministère choisit alors d'approfondir ses connaissances en terme de consommation énergétique et d'empreinte carbone. Il décide également, via sa politique, de sécuriser les approvisionnements et de maîtriser les émissions de gaz à effet de serre (GES). (France, 2012b)

Pour le ministère de la Défense, le déplacement et le transport des infrastructures et du personnel militaire sont importants. Celui-ci agit par l'adoption de modes de transport faiblement consommateurs d'énergie et émetteurs de polluants. Par exemple, le choix de transport en commun ou la mise en place de télétravail apportent un gain à la fois économique, social et aussi environnemental. (France, 2012b)

Un autre objectif de la Défense française est de conserver et de gérer durablement la biodiversité et les ressources naturelles. Parmi ces dernières, la préservation de la ressource en eau va de pair avec la

construction de navires militaires. Il est possible d'agir sur le milieu environnant en limitant les pollutions marines. (France, 2012b)

L'objectif précédent est complémentaire à une prévention et à une gestion des risques. En effet, une gestion efficace des ressources naturelles contribue à une bonne gestion des risques environnementaux. Toutefois, la santé publique est un axe d'intérêt pour le ministère. La gestion de crises vise aussi les crises sanitaires et technologiques, directement liées aux citoyens. Dans ce cas, le monde hospitalier militaire doit permettre de veiller à la santé du personnel militaire et civil. Par ailleurs, la gestion des risques sous-entend une certaine maîtrise des risques environnementaux, des installations industrielles et technologiques. (France, 2012b)

La population, qu'elle soit civile ou militaire, demeure au centre des préoccupations du ministère. En protégeant celle-ci, il est alors possible d'accroître la démographie, de favoriser l'immigration et de participer à l'inclusion sociale. Pour cela, la stratégie de défense française a décidé de dynamiser l'accès aux emplois militaires, de garantir un emploi stable et une mobilité encadrée. L'accessibilité se définit par la féminisation de la profession, par la possibilité de travailler malgré une situation de handicap et par une égalité des chances pour tous. Les actions de solidarité facilitent l'insertion et la cohésion sociale au sein de la communauté de Défense. (France, 2012b)

Enfin, la France aspire à résoudre les défis internationaux en matière de DD et de pauvreté dans le monde. Pour y arriver, elle veut mettre en œuvre des actions civilo-militaires qui dynamisent le tissu économique local. La population peut ainsi bénéficier sereinement de ses infrastructures. Elle souhaite aussi veiller à faire partie des instances internationales et jouer un rôle dans la prévention de conflits internationaux. (France, 2012b)

La sécurité de l'Homme et de son environnement sont des éléments sur lesquels le ministère de la Défense désire agir. D'un niveau national à un niveau international, il souhaite intervenir autant sur son rôle sociétal que sur le rôle social qu'il peut apporter. Il inclut également le poids économique de ses décisions et exerce une certaine responsabilité environnementale. Par sa Stratégie, le ministère vise à renforcer la performance énergétique et la maîtrise des consommations, l'insertion sociale et professionnelle, un accès des PME et ETI aux équipements militaires, une intégration des enjeux du DD pour chaque personne et une préservation de la biodiversité locale. (France, 2012b)

### **2.1.2 L'industrie navale française**

Le monde de l'entreprise a largement compris cette politique et tente d'appliquer ces choix stratégiques. L'industrie navale militaire française fait partie d'un large tissu industriel et technologique européen. Vers la fin des années 1950, la France élabore une politique afin de constituer une Base Industrielle et Technologique de Défense. Celle-ci est orientée vers la recherche de l'autonomie stratégique et technique. De 1990 à 2000, l'industrie de défense française subit de profondes modifications avec la

privatisation du secteur et l'émergence de groupes concurrentiels (EMSST, 2015a). Structurée au sein d'organisations professionnelles, telles que le Conseil des Industries de DÉfense (CIDEF) ou le Groupement Industriel des Constructions et Armements Navals (GICAN), l'industrie navale française sait se démarquer sur le marché mondial (Sammeth et Moura, 2012). Toutefois, les restrictions budgétaires liées à la crise économique actuelle ralentissent les commandes de ces entreprises. Initialement militaires, de nombreuses entreprises se sont reconverties vers le secteur civil en diversifiant leur clientèle (EMSST, 2015a). Les industries militaires de construction navale sont également actives dans ce domaine. Attractives, elles rassemblent de nombreux acteurs impliqués dans la construction, l'équipement, la réparation et la transformation de navires. Compétitives, riches d'un savoir-faire dans l'élaboration de navires complexes de haute technologie, elles savent répondre à la demande de leurs clients (ADEME, 2011).

Dans ce cadre, l'unique industrie de construction militaire navale française, DCNS France, fait concurrence à l'allemand ThyssenKrupp Marine Systems et à l'espagnol Navantia (Sammeth et Moura, 2012). Cette entreprise fait l'objet d'une étude de cas afin de mettre en application un outil de durabilité présenté dans ce document à la section 5.1. Comme la plupart des groupes européens de défense navale, DCNS est une société privée dont le capital est détenu par trois actionnaires principaux, soit à 65 % par l'État français, à 35 % par le groupe d'électronique Thalès et par quelques membres parmi les 13 130 collaborateurs (EMSST, 2015b). Leader de l'armement naval français, ce groupe reste un expert reconnu à l'international pour ses compétences en matière de constructions navales et d'innovations énergétiques (EMSST, 2015b). Avec plusieurs sites dans l'hexagone, cette entreprise s'est spécialisée dans différents domaines, tel que la construction de sous-marins. Pour atteindre ses objectifs de croissance et répondre aux besoins de ses clients, DCNS a su maîtriser trois secteurs d'activité, à savoir la conception, la réalisation et l'entretien de bâtiments de défense navals pour les marines françaises et étrangères (DCNS, 2014a). Ainsi, le groupe, selon les sites français, construit des Frégates Européennes Multi-Missions (FREMM), des Bâtiments de Projection et de Commandement (BPC) ou encore le porte-avion Charles-de-Gaulle. Le groupe réalise l'ensemble des opérations par la mise en place de contrats globaux. Forte de cette expérience, le groupe a élargi ses champs d'objectifs et de croissance en développant le nucléaire civil (DCNS, 2014a).

Connu mondialement pour la qualité de ses produits et de ses services, le groupe français est représenté dans une dizaine de pays au travers de filiales industrielles. Engagé depuis 1631, la France demeure le cœur de la conception et de la construction navale militaire du groupe (DCNS, 2014a).

### **2.1.3 L'industrie navale française au cœur de la dimension sociale**

Au niveau européen, les grandes entreprises navales EADS, *British Aerospace* (BAE) et Finmeccanica emploient environ 282 000 personnes. La part consacrée à la défense navale représente en moyenne 91 000 emplois pour BAE, 37 000 postes pour Finmeccanica, 30 000 emplois pour EADS et enfin 12 500

professions pour DCNS (Sammeth et Moura, 2012). Le domaine de la défense française est au cœur de la société française. Les grands groupes, dont DCNS, se sont engagés à jouer un rôle sociétal fondamental autour de la communauté humaine de la construction de navires à la prise de commandement (France, 2015a).

Plus de 40 000 emplois sont en place en 2014 dans le secteur de l'industrie navale. Par ses activités internationales, DCNS génère des milliers d'emplois. Soucieux des enjeux de Responsabilité Sociétale des Entreprises, le groupe adhère aux principes du Pacte Mondial des Nations Unies (PMNU) (DCNS, 2014a). L'entreprise souhaite garantir l'équité et l'évolution professionnelle de ses salariés avec 40 % de jeunes diplômés et 4,5 % de la masse salariale dédiée à la formation. La diversité et l'égalité entre les hommes et les femmes sont aussi des éléments importants, notamment avec 25 % de femmes dans l'entreprise (DCNS, 2015). Dans un milieu de travail qui respecte la Santé et la Sécurité des Travailleurs (SST), le groupe a baissé ses accidents avec arrêt de travail de 28 % et les accidents de 20 % en 2013. Le groupe élargit ses responsabilités avec la mise en place de groupes de travail sur la pénibilité, des formations SST et la qualité de vie au travail (DCNS, 2014b). DCNS travaille avec de nombreuses entreprises, les deux tiers de ses fournisseurs sont des PME et des ETI. Cette industrie navale a mis en place un plan d'action visant à assurer un traitement équitable entre les entreprises, à les aider dans leur développement et à travailler sur des technologies innovantes. L'entreprise s'assure que ses fournisseurs et ses sous-traitants respectent les mêmes engagements qu'elle en matière de RSE par le biais d'un acte d'engagement (DCNS, 2014b).

#### **2.1.4 L'industrie navale française au cœur de la dimension économique**

Sur la scène internationale, la France est le quatrième pays exportateur de matériels de guerre militaires tout secteurs confondus derrière les États-Unis, le Royaume-Uni et la Russie. Située au 19<sup>e</sup> rang mondial, l'entreprise française navale DCNS réalise un chiffre d'affaires de 3,1 milliards d'euros en 2014 (EMSST, 2015a). Grâce à ses savoir-faire de qualité et son entente partenariale stratégique, elle compte faire progresser ce chiffre avec un gain de performance de 30 % en trois ans pour un accroissement des bénéfices de 50 à 100 % à l'horizon 2030 (DCNS, 2014c).

DCNS, riche d'une synergie entre ses activités, doit toutefois faire face à ses concurrents. Ce domaine reste presque équitablement réparti dans le monde entre les États-Unis (35 %), l'Europe (30 %), l'Asie (25 %) et les autres pays concurrentiels (10 %) (DCNS, 2014c). Pour y parvenir, DCNS se développe à l'international. En 2014, l'entreprise a assuré la livraison de la FREMM Mohammed-VI à la Marine Royale du Maroc. De nombreux contrats ont été signés, avec l'Égypte pour lui fournir quatre corvettes et une FREMM. D'autres contrats ont été négociés avec la Malaisie et l'Arabie Saoudite. Cette internationalisation est un levier de croissance important. Pour le pérenniser, elle renforce sa performance opérationnelle par le biais de la maîtrise des délais et des coûts. En 2014, DCNS a obtenu le certificat qualité, sécurité, environnement de l'AFNOR pour le management intégré Qualité Sécurité Environnement

(QSE), ainsi qu'un certificat pour la certification AQAP 2 110 (DCNS, 2015). Cette certification correspond à l'association de la norme de qualité ISO 9 001 et de certaines spécificités propres aux activités de Défense. Le nouvel objectif de DCNS est d'impliquer ses fournisseurs et ses collaborateurs dans cette démarche par la mise en place d'un plan de renforcement de compétitivité (DCNS, 2015).

### **2.1.5 L'industrie navale française au cœur de la dimension environnementale**

En 2007, le ministère de la Défense définit quatre objectifs couvrant les sujets environnementaux interarmées au travers d'un plan d'action. Tout d'abord, il vise à intégrer la dimension écologique dans les équipements de défense. Il s'agit, par exemple, de remplacer le cadmium ou le chrome, éléments polluants, dans les futurs équipements de défense (France, 2012c). Il s'intéresse également à l'autonomie des bâtiments militaires. Actuellement, le gouvernement français dirige 42 programmes d'armement dit éco-conçus axés sur la limitation du bruit et du rejet de CO<sub>2</sub>, l'identification et la traçabilité des substances dangereuses, la gestion intégrée des déchets solides, l'épuration biologique des eaux usées, la réduction des déchets à bord, etc. En 2012, le ministère assure la fin de vie des 80 navires dotés d'un passeport vert grâce à l'amélioration des équipements en matière d'autonomie et de consommation énergétique (France, 2012c). Préserver la biodiversité marine, démanteler les matériels militaires dans le respect de l'environnement, dépolluer les sites industriels et résultants de l'activité de guerre sont autant d'objectifs que le ministère souhaite atteindre.

L'entreprise DCNS sait prendre appui sur cette politique en maîtrisant les risques industriels et en réduisant l'impact environnemental à la source. Avec un système de management QSE efficace, le groupe français a pu réduire de moitié ses émissions de GES au cours des quatre dernières années. Certifié ISO 14 001 en 2008, elle a su développer une démarche d'éco-conception de ses navires (DCNS, 2014d).

Convaincu que la mer est l'avenir de la planète, le groupe français se hisse au sommet de son secteur d'activité en développant de nouvelles expertises et de nouveaux marchés dans le domaine énergétique. Reconnue pour ses engagements dans la démarche du développement durable et la recherche de solutions énergétiques moins polluantes, l'entreprise ajoute à sa politique un enjeu stratégique moteur pour les générations futures. Fidèle à celle-ci, elle n'en est pas moins motrice dans la recherche de technologies novatrices dans les énergies marines (EMSST, 2015b). Elle réalise des hydroliennes, des éoliennes flottantes, des centrales à Énergie Thermique des Mers (ETM) et des houlomotrices. Par exemple, en 2013, l'entreprise française a su s'associer avec le constructeur irlandais d'hydroliennes OpenHydro et élargir ainsi son marché (EMSST, 2015b).

La France possède de nombreux atouts en matière de construction militaire navale. En appliquant sa politique par des actions qui touchent à la fois l'économie, le social et l'environnement, elle assure une durabilité dans ses exportations et une certaine compétitivité.

## **2.2 Le développement durable au Canada**

Au-delà de l'Atlantique, la France fait face à un pays concurrentiel de taille. Le Canada possède une puissance navale qui n'est plus à démontrer. Par la mise en place d'une stratégie efficace, il souhaite ainsi démontrer son rôle en matière d'intendance environnementale. Elle est suivie par les nombreuses entreprises de construction navale.

### **2.2.1 Vers une stratégie axée sur le DD**

En 2008, le gouvernement du Canada adopte sa Stratégie Environnementale de la Défense (SED). Celle-ci a pour but le passage d'exigences environnementales à l'intégration et à l'application par des actions concrètes de pratiques écologiques et responsables. La SED, par ses quatre choix stratégiques, va au-delà des politiques gouvernementales et de la législation. Elle espère ainsi améliorer son rendement environnemental. L'annexe 2 présente, selon les choix stratégiques adoptés par le gouvernement, les actions à mettre en œuvre au cours des prochaines décennies. (Canada, 2014)

Tout d'abord, les forces militaires doivent gérer leurs activités d'approvisionnements et de services auprès des entreprises de construction militaire. Pour atteindre cet objectif, elle compte intégrer les principes du DD dans son processus d'approvisionnement de la conception à l'élimination. Elle désire aussi s'assurer que les transactions immobilières respectent les pratiques environnementales. La Défense canadienne veut également adapter et améliorer ses services et ses activités opérationnelles tout en considérant complètement leurs empreintes écologiques. Elle applique déjà ce plan d'action avec la transformation d'une caserne militaire en quartier résidentiel à Edmonton en Alberta. (Canada, 2014)

Ensuite, la SED intervient dans la protection des biens militaires. Progressivement, l'armée canadienne a acquis de l'équipement, des immeubles, des terrains et des bases militaires. En gérant efficacement et durablement ces biens, la Défense canadienne a pour objectif de réduire la consommation des ressources nécessaires à leur maintien. Pour cela, elle s'intéresse à utiliser l'équipement électrique sur l'ensemble de son cycle de vie en vue de diminuer la production de déchets. Aussi, la recherche et l'utilisation de nouvelles sources d'énergie deviennent un axe important dans la consommation de la ressource. À titre d'exemple, le pôle Recherche et Développement du ministère de la Défense canadienne examine des techniques de génération d'électricité afin de concevoir des camps d'entraînements durables et écoresponsables. La gestion des biens passe également par la construction, la rénovation et la démolition d'installations dont l'impact environnemental est réduit. L'intérêt est donc de réduire les effets des établissements militaires sur l'environnement. (Canada, 2014)

Par ailleurs, la Défense est soucieuse d'une répartition équitable et utile des ressources. Pour y parvenir, elle optimise son utilisation de l'énergie et réduit sa dépendance en énergies fossiles. Elle s'assure également que son personnel et ses partenaires utilisent de manière responsable la ressource en eau potable. Le gouvernement pense qu'une prise de conscience doit s'établir et que chacun doit modifier son

comportement. Ce changement doit toucher aussi les déchets solides générés lors des opérations. La réduction, la réutilisation et le recyclage sont alors des éléments indispensables dans la diminution des déchets militaires. (Canada, 2014)

Enfin, la protection de l'environnement et la sécurité du personnel sous-entendent une gestion adéquate des produits et des substances chimiques. La SED canadienne prévoit une réduction de l'utilisation de ces matières et une manipulation encadrée de l'achat à l'élimination. Ces produits sont essentiellement le pétrole, les huiles, les lubrifiants et les hydrocarbures halogénés. En cas de mauvaise gestion, ils peuvent détruire la couche d'ozone, provoquer de lourdes pollutions et ainsi avoir un impact sur la santé humaine et sur l'environnement. (Canada, 2014)

### **2.2.2 L'industrie navale canadienne**

Conjointement à la SED, l'industrie navale canadienne fait partie d'une Stratégie Nationale d'Approvisionnement en matière de Construction Navale (SNACN). Son but est de modifier la construction navale et d'adopter une nouvelle approche stratégique de défense qui serait efficace à long terme. Les navires militaires du Canada sont alors remplacés et sont conçus pour être plus durables. En plus de générer des retombées économiques régionales dans le monde de l'industrie, le savoir-faire canadien devient reconnu mondialement (Canada, 2011; Shadwick, 2012). Avec la hausse du budget alloué au ministère de la Défense, le Canada occupe actuellement la treizième place parmi les quinze puissances militaires mondiales (Castonguay, 2010).

L'industrie canadienne de construction navale et maritime, civile et militaire, est représentée par 31 chantiers situés dans huit provinces. La construction des navires correspond à une masse d'environ 85 000 tonnes de ports en lourd (Maison, 2012). Les chantiers navals canadiens ont remporté à plusieurs reprises des prix d'excellence en matière de conception et de construction de navires de guerre (Canada, 2009). Selon ce même auteur, l'industrie canadienne possède une expérience forte dans ces deux domaines. Elle s'est aussi spécialisée dans la réparation et l'entretien des bâtiments militaires. À l'image de la France, l'industrie canadienne se tourne vers un marché à forte valeur ajoutée dont les ressources technologiques font appel à tous les domaines de pointe. Cette industrie génère une demande importante pour la fabrication d'appareils de navigation, de communication, de robotique et d'imagerie radar. Pour ce faire, les entreprises font appel à de nombreux sous-traitants. Les entreprises de construction travaillent en étroite collaboration avec la Marine Royale Canadienne (MRC), mais également avec les Forces navales des États-Unis (Canada, 2009).

L'industrie navale militaire canadienne est majoritairement représentée par trois compagnies. La première est le groupe québécois *Davie Yards*. Entrepreneur pour la MRC et les marines étrangères, cette entreprise s'occupe de construire et de moderniser la flotte de combat du pays, en particulier des corvettes, des frégates et des navires auxiliaires (Davie, 2013a). Réputée pour son expertise, elle conçoit des navires sur mesure selon les besoins de ses clients. En proposant des solutions clés en main, le

groupe assure un service d'entretien de la flotte à vie. Pour réussir ce pari, l'entreprise optimise et modernise ses bâtiments de surface alliant efficacité, sécurité et intégration de systèmes liés au cycle de vie du produit. Du porte-avion au dôme de sonar pour destroyers, l'entreprise innove avec des composants durables et les plus écologiques possible (Davie, 2013a).

La seconde, l'entreprise *Irving Shipbuilding Inc.* (ISI), suit un profil semblable. Situé dans la province du Nouveau-Brunswick, le groupe s'est engagé dans la construction d'équipements militaires depuis 120 ans. Il construit également des frégates et des navires de défense de patrouille et côtiers. L'entreprise a su gagner sa réputation grâce aux remorquages et à l'escorte des navires (Irving, 2015a). Ses méthodes de construction tiennent compte de la santé et de la sécurité de ses travailleurs. En concurrence directe avec l'industrie québécoise, ce groupe canadien conjugue le respect de l'environnement et l'emploi local (Irving, 2015a). Certifiée par la norme ISO 9 001 en 2008 pour la qualité de ses produits, l'ingénierie du groupe met tous ses atouts en oeuvre pour concevoir et moderniser ses navires (Irving, 2015b). Elle a, depuis longtemps, adopté une approche d'amélioration continue de ses procédés industriels pour satisfaire au mieux ses clients. Dans son entente avec le gouvernement canadien, l'entreprise *ISI* compte construire une vingtaine de navires pour la MRC, soit un coût de 25 milliards de dollars canadiens (Irving, 2015c).

Enfin, la troisième plus grande industrie de construction militaire navale correspond à l'entreprise *Vancouver Shipyards Co.* située à Vancouver (Colombie-Britannique). Généraliste dans la construction de tout type de navire, elle fait partie de deux programmes en partenariat avec la Marine Royale Canadienne, à savoir le HMC FELEX et le *Canadian Navy's Victoria-Class* (VISSC). Le premier a pour ambition de moderniser des frégates de patrouille alors que le second s'intéresse à la mise en service de sous-marins. Cette entreprise, par la diversité de ses produits, s'est construite une réputation d'envergure. (Seaspan Shipyards, 2015c)

### **2.2.3 L'industrie navale canadienne au centre de la dimension sociale**

Le gouvernement actuel souhaite dynamiser l'industrie navale avec la mise en place d'un plan d'action dans l'Ouest canadien. Ceci a pour intérêt de créer des emplois et stimuler la croissance de la Colombie-Britannique. Le ministère de cette province estime que le plan d'action économique du Canada apportera entre 3 000 et 5 000 emplois (Canada, 2012). La création d'un centre de formation permet de doter la région d'outils d'enseignement dans le domaine maritime. Les travailleurs sont formés afin d'acquérir des compétences à la fois techniques, de gestion et de leadership (Canada, 2012).

En assurant la qualité et la durabilité de ses produits, l'entreprise de construction *Davie* s'accorde pour préserver l'emploi de ses salariés, garantir une relation permanente avec ses clients et s'engager dans la communauté locale (Davie, 2013b). Ces principes se matérialisent par plusieurs actions à la figure 2.1. Dans la portion sociale de la figure, *Davie* s'engage à favoriser un milieu de travail sécuritaire, stimulant et enrichissant. La formation et la santé des employés sont également une devise importante dans cet axe.

L'entreprise *ISI*, quant à elle, s'engage à agir sur la santé, la sécurité et l'excellence en matière d'emploi. Son objectif est d'atteindre un nombre d'accidents nuls sur ses chantiers. Cette volonté a été approchée avec l'atteinte de 1,4 million d'heures/personnes travaillées sans accident et sans perte de temps (Irving, 2015c). La responsabilité sociale de l'entreprise se manifeste par un renforcement et le bien-être de la communauté local. Elle agit au travers de dons de bienfaisance, de commandites ou de bourses d'études et n'hésite pas à reconnaître les efforts des employés dévoués par la remise de prix d'excellence (Irving, 2015d).

La compagnie *Seaspan Shipyards* souhaite contribuer au développement social avec la mise en place de cotisations pour assurer une retraite aux employés. Sans être quantifiables, elles constituent des répercussions sur les individus, les communautés et leur environnement. La société privée de construction navale agit au travers d'actions humanitaires dans la communauté locale. Vecteur de changement dans la société, l'entreprise canadienne fait de nombreux investissements auprès de la jeune génération afin de permettre une amélioration de leur qualité de vie. Elle insuffle un certain leadership envers la communauté maritime et la communauté des affaires. À titre d'exemple, en juillet 2007, le groupe *Seaspan Shipyards* s'est associé en partenariat avec l'organisation caritative *World Wildlife Fund* (WWF) Canada afin de démontrer son engagement dans la lutte pour l'environnement. Cette entente contribue à élever le niveau de gestion environnementale et sociale au sein de la compagnie et de la communauté. De plus, la compagnie a longtemps été un partisan de l'organisation sociale *United Way* qui oeuvre pour fournir un soutien fiable aux communautés. (Meyers Norris Penny, 2011)

#### **2.2.4 L'industrie navale canadienne au centre de la dimension économique**

Entre 2000 et 2009, le gouvernement canadien a octroyé 49 % de ses dépenses, soit 19,2 milliards de dollars canadiens, dans le domaine militaire. Cette croissance a été rapide pour le ministère de la Défense plaçant ainsi le Canada comme l'un des pays les plus militarisés du monde (Castonguay, 2010). Ainsi, au cours des deux et trois prochaines décennies, le Canada va profiter de l'explosion du marché naval. Le gouvernement, par des accords bilatéraux avec d'autres pays, a prévu la construction d'une trentaine de bâtiments de premier rang et une centaine de navires de second rang pour assurer sa défense. Ainsi, quinze frégates et contre-torpilleurs, six à huit Navires de Patrouille Extracôtiers pour l'Arctique (NPEA) et trois navires de soutien interarmées seront construits (Castonguay, 2010). Ce marché, estimé à environ 35 milliards de dollars canadiens suscite l'intérêt des constructeurs locaux. Les entreprises *Irving Shipbuilding* (Nouvelle-Écosse) et *Vancouver Shipyards* (Colombie-Britannique) seraient potentiellement les clients les plus intéressants pour la marine nationale (CESM, 2012). D'après le ministre des Travaux publics et des Services gouvernementaux canadiens, l'objectif de ce plan de construction et de rénovation est de dynamiser les chantiers navals des différentes provinces. Cela se traduit par la création d'emplois équitablement redistribués dans les industries de pointe canadienne (Mer et Marine, 2010).

Les retombées industrielles régionales sont d'ailleurs un objectif soutenu par la compagnie *Vancouver Shipyards*. Le 14 février 2015, l'entreprise signe un accord-cadre avec le gouvernement canadien pour construire de nouveaux navires. Elle s'accorde à entreprendre des activités commerciales de qualité avec ses fournisseurs potentiels. Les accords entre l'entreprise et ses clients deviennent alors un facteur clé pour le constructeur naval. Pour réussir, elle évalue le risque commercial, les forces de l'entreprise, la possibilité de poursuites judiciaires, etc. (Seaspan Shipyards, 2015a). Elle a toutefois compris les besoins et les exigences de ses parties prenantes avec la réussite de ses certifications en sécurité par la norme sur la santé et la sécurité au travail OHSAS 18 001 et la norme de qualité ISO 9 001.

### **2.2.5 L'industrie navale canadienne au centre de la dimension environnementale**

La qualité prévaut aussi en environnement avec une préservation des écosystèmes marins, une réduction dans la consommation des ressources et une utilisation raisonnée de l'énergie. Engagées, les entreprises canadiennes de construction navale s'investissent activement dans la sauvegarde du patrimoine écologique et dans le maintien des ressources à venir.

La compagnie *Davie* a adopté une politique de responsabilité basée sur la gestion des risques physiques du personnel, mais aussi des risques environnementaux. Conscient du lien indissociable entre l'environnement et la prospérité économique du groupe, *Davie Incorporation* s'est fixé en 2013 des objectifs afin de diminuer sa consommation énergétique de 10 %. Ce gain permet dès lors d'investir dans de nouvelles technologies (Davie, 2013b). La politique environnementale de l'entreprise agit selon neuf actions retrouvées dans la figure 2.1. Dans la partie Environnement, il est possible d'apercevoir que le groupe *Davie* s'engage activement dans la sensibilisation environnementale en lien avec les normes en vigueur. Elle met, par des actions et des équipements, les outils à disposition des employés pour protéger l'environnement. En plus de porter un intérêt aux pollutions et à leurs maîtrises, elle sait remettre en question ses stratégies de gestion et ses procédures d'urgence environnementale.

L'entreprise *ISI* est aussi proactive sur la performance environnementale. Ceci se manifeste par une application de la législation et un rendement croissant dans l'atteinte des objectifs environnementaux. Pour ce faire, elle tente d'éliminer les risques susceptibles de nuire à l'Homme et à son habitat. Ses services respectent, selon sa politique, la responsabilité sociale et écologique d'entreprise (Irving, 2015e).

L'entreprise *Seaspan Shipyards* comprend la nécessité de protéger l'environnement. Pour cela, elle prend de nombreuses initiatives sous les conseils du WWF Canada afin de devenir écoresponsable et durable. Parmi celles-ci, elle agit dans des zones écologiquement sensibles en participant au grand nettoyage de deux rives canadiennes de la Colombie-Britannique. Elle préserve aussi l'habitat des poissons en pilotant un programme sur l'écoulement pluvial et le rejet de substances nocives dans l'environnement marin (Seaspan Shipyards, 2015b). Son action ne se limite pas uniquement à l'enlèvement d'espèces

envahissantes le long de l'estuaire maritime de Vancouver; elle met aussi en place, par exemple, des mesures compensatoires pour l'habitat du saumon sur la rivière Mackay. Reconnue pour ses initiatives « vertes » par la communauté locale (Ville de Vancouver), son effort de sensibilisation et son implication active lui ont d'ailleurs valu la certification ISO 14 001. La compagnie utilise un système de gestion de l'environnement dont l'objectif est de réduire les impacts écologiques. Pour l'atteindre, elle n'hésite pas à sensibiliser la communauté locale de son action à diminuer la consommation des ressources et à réduire les déchets (Seaspan Shipyards, 2015b). Elle invite également ses employés à prendre part aux journées pour la Terre. L'entreprise s'implique aussi dans la réduction des émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). En effet, elle organise une semaine où les employés se déplacent pour leur travail en vélo. (Meyers Norris Penny, 2011)

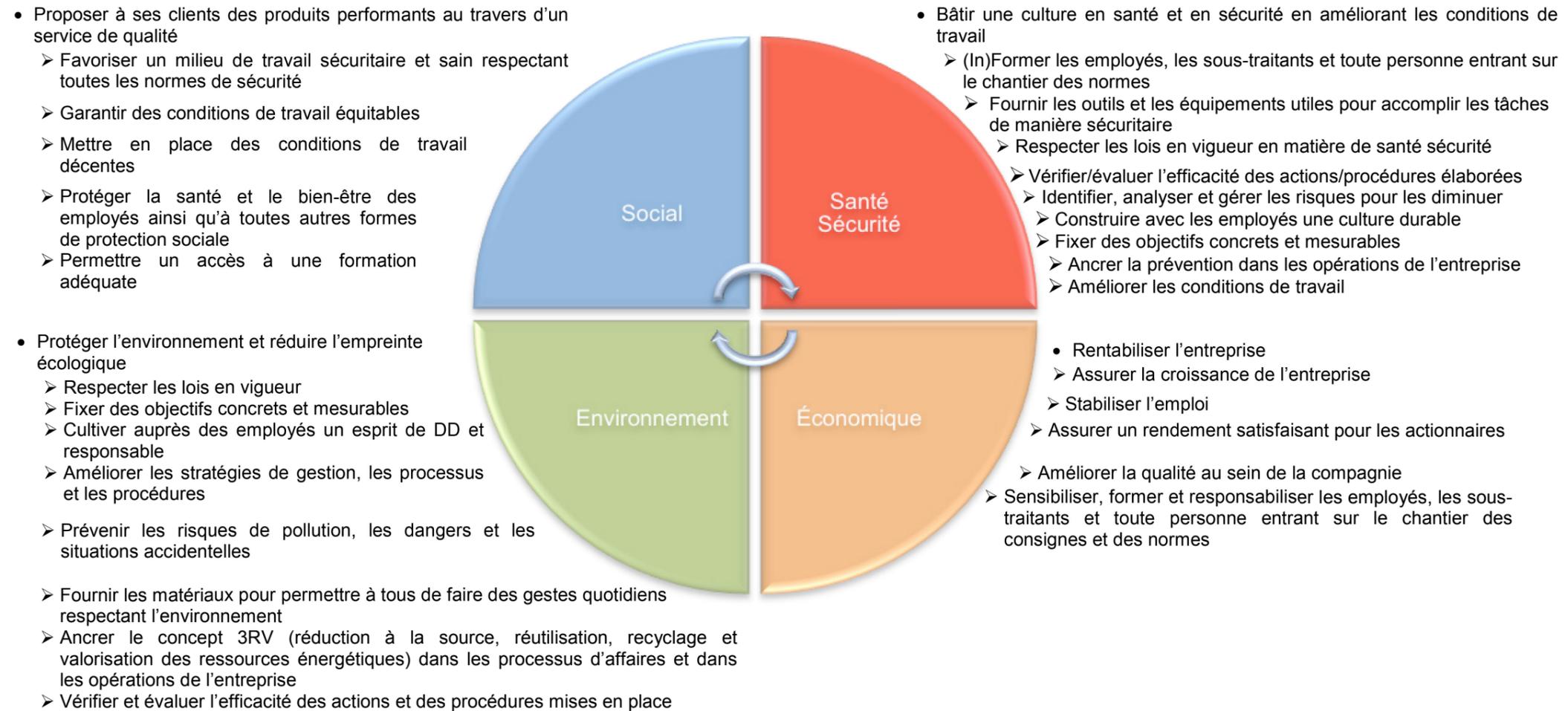


Figure 2.1 Politique de gouvernance de l'entreprise Davie (adapté de : Davie, 2013b, p.1)

### 2.3 Le développement durable ailleurs dans le monde

Les industries françaises et canadiennes, par leur essor économique et leurs pratiques concrètes en DD, font partie des principaux pôles d'excellence en matière de construction militaire navale. En fonctionnement réciproque avec leurs principaux clients, à savoir les ministères de la Défense française et canadienne, ces entreprises conjuguent progrès, innovation et savoir-faire. Toutefois, elles font partie d'un marché économique plus large et doivent composer avec d'autres concurrents.

Les États-Unis, leader de l'armement naval militaire, détiennent la majorité du marché économique mondiale dans ce domaine. Ce pays dénombre une dizaine de porte-avions, neuf porte-aéronefs, vingt transports d'assaut et 57 sous-marins nucléaires d'attaque (Sheldon-Duplaix, 2012). Cinquième entreprise de défense mondiale, *General Dynamics Corporation* demeure l'industrie de référence américaine dont la réputation n'est plus à faire. Implanté dans onze pays, ce géant de l'armement est le principal fournisseur du gouvernement des États-Unis. Avant-gardiste dans la conception de navires, le groupe a développé des sous-marins d'attaque électriques et des navires des plus développés. Son champ d'expertise est riche et varié. En réalisant des bâtiments à technologie faiblement énergivore, l'entreprise devient écologiquement responsable. En matière d'éthique, elle s'appuie sur des valeurs d'honnêteté, de confiance, d'humanité, de création et d'unité avec et entre les différentes parties prenantes. Respectueuse de l'environnement au travers de leur champ d'action, la compagnie internationale réalise un chiffre d'affaires conséquent. (EMSST, 2015c)

La Corée du Sud est également un concurrent des pays européens et américains avec l'entreprise *Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering* (DSME). Spécialisée dans la construction de navires de guerre et unique promoteur national de sous-marins, *DSME* affiche une recette économique de 9,67 milliards d'euros en 2013. À l'image de son concurrent américain, l'entreprise coréenne a construit un sous-marin diesel-électrique à grande autonomie. Socialement et écologiquement responsable auprès de ses 30 000 employés, elle a su diversifier son activité maritime. (EMSST, 2015d)

L'Arsenal de la Marine de Rio de Janeiro (AMRJ) apparaît comme l'unique constructeur naval du pays. Totalement nationalisée, l'entreprise brésilienne construit, répare et garantit la maintenance de ses navires. Son futur plan d'équipement évalué à 93 milliards d'euros dynamise ses relations avec d'autres entreprises étrangères. En faisant appel à des sous-traitants locaux et par la mise en place de partenariats avec les plus gros concurrents, l'objectif stratégique du groupe espère être atteint au cours des trente prochaines années. (EMSST, 2015e)

Le Royaume-Uni, par la compagnie *BAE Systems*, est représenté dans plus de cent pays. Le constructeur anglais propose un large spectre de produits et de services. Il concentre 27 % de son chiffre d'affaires dans l'armement naval et aérien. Il réalise de nombreux bâtiments de surface, des sous-marins et des porte-avions. (EMSST, 2015f)

Selon la politique de Défense adoptée par chaque pays, le domaine militaire naval peut devenir une priorité nécessaire à la sécurité d'une nation. Cette volonté stratégique se témoigne par la production de navires de guerre. Pour cela, les industries de construction navale s'adaptent selon les besoins de leurs clients et l'évolution du marché international. Par le respect des dimensions sociales, économiques et environnementales, les nombreuses compagnies maritimes deviennent responsables de leurs actions. Leur intégration du concept de DD favorise leur essor et garantit un développement stable.

La section suivante s'intéresse à comprendre l'un des outils les plus utilisés pour mettre en place une politique de développement durable au sein des entreprises. Ainsi, l'ACV est présenté en premier lieu, puis les éléments ayant un impact sur l'environnement sont exposés. Enfin, dans un troisième temps, la méthodologie d'évaluation de ces conséquences poursuit le cheminement de compréhension vers la mise en place d'un outil d'aide à la décision au chapitre 4.

### **3. ÉCO-CONCEPTION ET ANALYSE DE CYCLE DE VIE**

Soumises aux exigences de la réglementation ou désireuses de mettre en application leur politique de développement durable, les entreprises utilisent de nombreuses méthodes efficaces pour respecter l'environnement. Parmi celles-ci, l'éco-conception via l'ACV apporte un gain aux industries. Ce chapitre décrit cette méthode et explique son rôle.

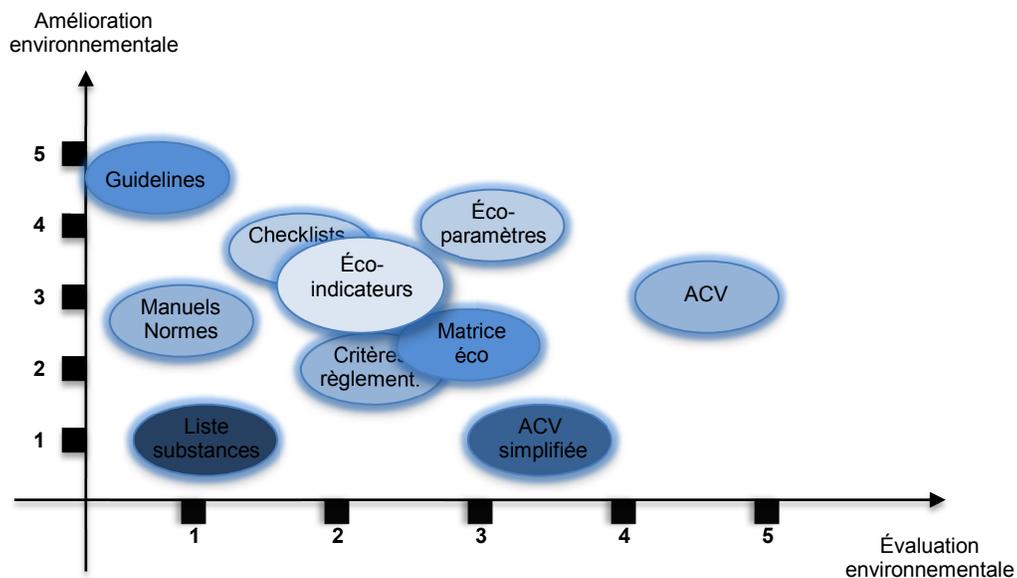
#### **3.1 Éco-concevoir un produit**

L'éco-conception vise à améliorer la qualité environnementale d'un produit. Pour ce faire, elle doit intégrer les « contraintes environnementales dès la conception et le développement du produit » (ISO 14 062, 2003; UVED, 2012). En adoptant la démarche d'éco-conception, les entreprises ont la possibilité de réduire voire de résoudre leurs problèmes environnementaux existants, mais également d'apporter des solutions innovantes (Prinçaud, 2011). Selon un rapport de l'ONU suite au Sommet Mondial pour le DD en 2002, la « conception des produits, tant dans leur fabrication que dans leur mode de consommation, doit être un des axes prioritaires pour la protection de l'environnement » (Prinçaud, 2011). En 2001, Tischner ajoute que la « réflexion sur le cycle de vie du produit dans le processus de conception est une partie importante de la méthodologie pour établir un processus d'éco-conception » (Prinçaud, 2011).

Éco-concevoir un produit a pour objectif de fabriquer un produit dont les fonctionnalités, la qualité, les performances et les prix sont identiques au produit d'origine tout en diminuant les impacts environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie (Aissani, 2015). Cette démarche joue un rôle fondamental dans la politique de développement durable d'une entreprise. En effet, cette dernière ne peut prétendre être vertueuse en matière de DD si elle fournit des produits très « impactants » pour l'environnement (UVED, 2012). Pour cela, une entreprise utilise l'éco-conception comme une réponse au durcissement du contexte réglementaire. Bien souvent jugé comme un outil marketing, il aide les différentes parties prenantes à prendre conscience des problèmes environnementaux (Aissani, 2015).

Pour parvenir à diminuer les impacts environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie du produit, l'éco-conception recourt à trois approches. La première est l'approche cycle de vie. Les différentes étapes, de l'extraction des matières premières jusqu'à la gestion de fin de vie, ont pour intérêt d'éviter tout transfert de pollution entre les phases du cycle de vie. La seconde correspond à l'approche multicritères. Dans ce cas de figure, plusieurs critères environnementaux, tels que la consommation de matières premières, la production de déchets, etc., sont considérés. Enfin, la troisième approche dite multicomposante intègre l'ensemble des composants du produit. Par exemple, un produit se voit étudié avec les différents emballages et consommables nécessaires à son développement. Cette approche inclut aussi les pièces de rechange, les éléments de communication utiles à la promotion du produit (UVED, 2012).

Malgré la volonté de mettre en place un processus multicritère dans une démarche d'éco-conception, les entreprises font souvent l'objet de contraintes financières, temporelles ou tout simplement de difficultés dans la recherche de simplicité. Celles-ci s'expliquent par le fait qu'on s'intéresse essentiellement à un nombre limité de critères. Parmi les nombreux outils d'éco-conception développés, deux grandes catégories aux actions différentes selon leur intégration des aspects environnementaux peuvent être émises dans le cas de la phase de conception (Prinçaud, 2011). Ainsi, les outils d'évaluations établissent un profil environnemental du produit en vue d'en améliorer ses performances écologiques (Aissani, 2015). Par cet état des lieux, il est possible de connaître approximativement les conséquences d'une politique, d'un programme, d'un plan de gestion ou d'un projet et de cibler les éléments les plus impactants du produit sur l'environnement (Melquiot, 2003). À titre d'exemple, l'ACV simplifiée ou complète et le bilan produit sont les outils les plus performants en terme d'évaluation environnementale (Bellini et Janin, 2011; Prinçaud, 2011). Par ailleurs, la deuxième catégorie est celle des outils de préconisation dont l'objectif est d'aider le concepteur dans la recherche de solutions d'éco-conception suite à l'évaluation environnementale (Aissani, 2015). Cette volonté de faire « progresser » le produit vers un bonus écologique doit se traduire par une connaissance des éléments les plus impactants afin d'aider au mieux les concepteurs. Ces outils d'aide à la décision sont la plupart du temps des normes, des guides, des listes et des lignes directrices (Bellini et Janin, 2011; Prinçaud, 2011). La figure 3.1 représente l'ensemble des catégories d'outils d'éco-conception définis à l'heure actuelle.

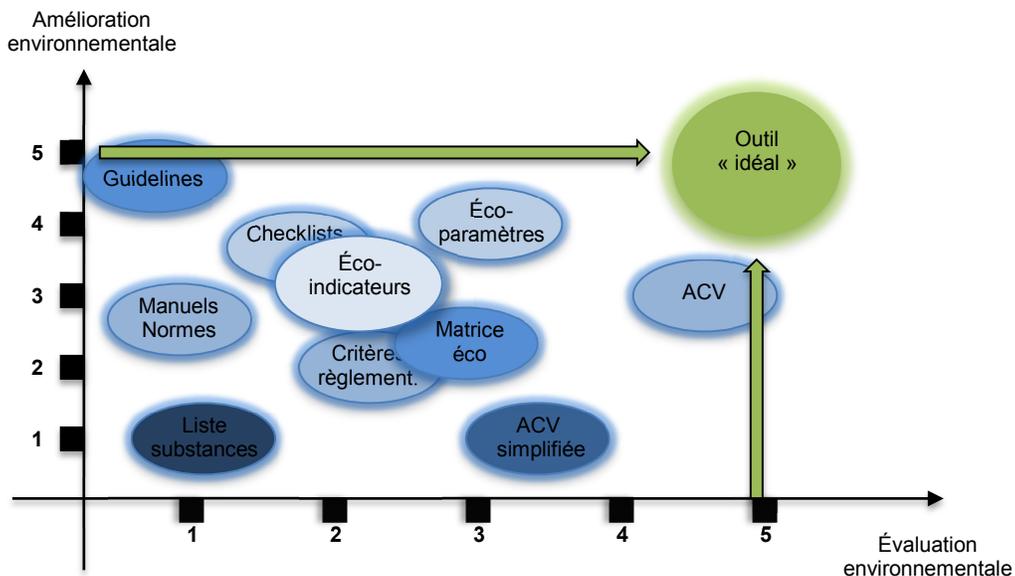


**Figure 3.1 Classement d'outils d'éco-conception selon leur niveau d'évaluation et de préconisation** (inspiré de : Bellini et Janin, 2011, p. 4)

Cette figure sous-entend également qu'il n'existe pas d'outil unique à chaque étape du processus de conception pour pouvoir faire réellement de l'éco-conception, et ce dès l'avant-projet. Les outils les plus

complets, regroupant l'ensemble de chaque sphère, sont en manque. En effet, actuellement, ils permettent de réaliser une évaluation encore précoce ou trop tardive lors du processus de conception. En intégrant en amont de la conception les contraintes environnementales potentielles, ce qui n'est pas représenté par la figure 3.1, le concepteur du produit s'offre plus de chances pour considérer toutes les phases de son projet (Prinçaud, 2011).

La création d'un outil unique requiert de la patience, du temps et pose certaines difficultés qui n'entrent pas dans le cadre de la rédaction du présent document. Toutefois, il est possible de combiner plusieurs sphères et d'allier au mieux l'évaluation et l'amélioration environnementale. Ainsi, la figure 3.2 présente l'emplacement d'un outil d'éco-conception à l'image de l'ACV. Cet outil, présenté plus précisément au chapitre 4 et à l'annexe 3 de ce document, se base sur l'approche cycle de vie.



**Figure 3.2** Emplacement d'un outil d'écoconception « idéal » par rapport aux outils existants actuellement (inspiré de : Le Pochat, 2005, p. 86)

En utilisant l'ACV comme source initiale pour la création de cet outil (chapitre 4), il est possible de faire émerger des stratégies d'éco-conception dans le cas de réalisation d'un navire militaire. La section suivante s'intéresse à présenter l'ACV tant en matière méthodologique que technique dans le but d'apporter de la pertinence à l'outil développé.

### 3.2 Analyser le cycle de vie d'un produit

Par le passé, la prise en compte de l'environnement s'est réalisée soit par l'impact écologique (déchets, pollutions, consommation d'énergie), soit par secteur d'activités (industries, transports). Jugée trop fragmentée, cette approche ne permettait pas d'observer les efforts à réaliser en matière

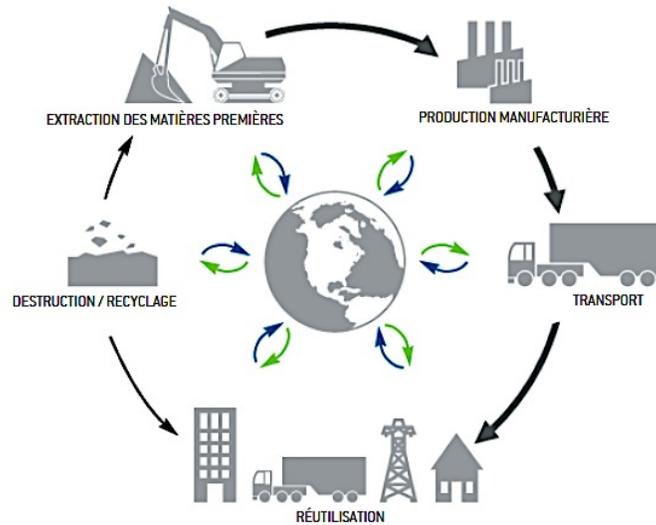
d'environnement. En effet, la diminution d'impact modifiait les autres caractéristiques du système étudié sans qu'une évaluation pertinente de ces modifications soit réalisée. À titre d'exemple, un changement de matériau diminuait la consommation énergétique d'un système, mais modifiait la recyclabilité finale du produit. La valorisation du déchet ultime diminuait la mise en décharge, mais affectait la qualité atmosphérique, témoignant ainsi de modifications environnementales perpétuelles au sein du système étudié. Pour concrétiser les résultats par des actions, une nouvelle approche est apparue au début des années 1990. La méthode basée sur l'analyse de plusieurs critères, prenant en considération l'ensemble des étapes du cycle de vie des produits, a permis de dresser le bilan écologique ou éco-bilan des différents systèmes étudiés. (ADEME, 2005a)

Initialement à but marketing, cette approche expérimentale s'est concrétisée au sein des entreprises du secteur primaire au secteur tertiaire avec le développement de la normalisation internationale ISO 14 040 axé sur l'ACV et l'éco-bilan. Harmonisée depuis 1997, la pratique de cette approche a rapidement généré des résultats fiables et robustes (ADEME, 2005a). L'ACV cible les parties du cycle de vie d'un produit ayant le plus d'effets environnementaux et propose des pistes d'amélioration en vue de réduire l'impact écologique global du système étudié (Thériault, 2011).

Ainsi, en théorie, la norme ISO 14 044 définit l'analyse de cycle de vie comme un outil qui :

*« (...) traite les aspects environnementaux et les impacts environnementaux potentiels (...) tout au long du cycle de vie d'un produit, de l'acquisition des matières premières à sa production, son utilisation, son traitement en fin de vie, son recyclage et sa mise au rebut (...) » (ISO, 2006a).*

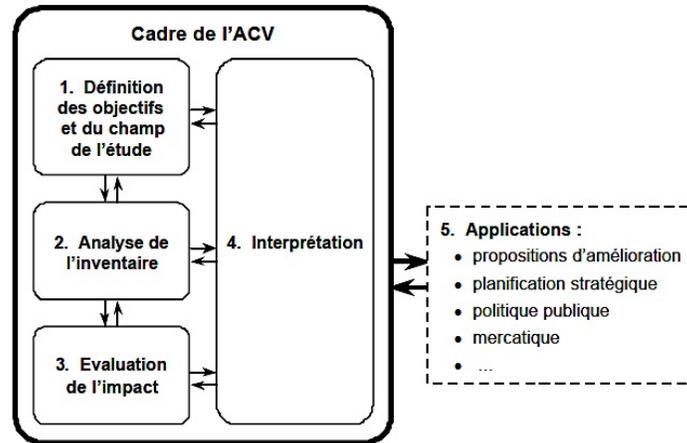
La pensée cycle de vie recense, au travers de cinq étapes clés, toute la vie du produit considéré selon la norme de l'ISO 14 044. La figure 3.3 présente chacune de ces phases. La première étape s'intéresse à l'extraction des matières premières alors que la seconde s'occupe des procédés de fabrications des composants semi-finis, de leurs assemblages et de leurs finitions en produit final (Moreau, 2009). Ce dernier est alors transporté puis utilisé et entretenu par l'Homme. Traité lorsqu'il est hors d'usage, le produit devient un déchet dont les matériaux sont recyclés. Les éléments non valorisables et non recyclés constituent des déchets ultimes qui sont détruits et nécessitent d'être remplacés. Selon Moreau (2009), les produits facilement recyclables sont réintroduits dans la boucle du cycle de vie en tant que matière première. Il s'agit, par exemple, de produits composés à base d'aluminium.



**Figure 3.3 Les différentes étapes du cycle de vie des produits** (tiré de : Moreau, 2009)

Ces étapes sont reprises dans le cadre de l'ACV qui s'intéresse à expliquer pour chaque phase les flux de matières et d'énergie. L'objectif est de réduire le plus possible les pertes d'énergie et de diminuer les émissions de GES. Cette méthode d'analyse permet ainsi de comptabiliser les impacts environnementaux quantifiables d'un produit, d'un système tout au long de son cycle de vie, soit de sa naissance à sa fin de vie (*From Cradle to Gate*) (Vincent, 2014). La notion de produit s'élargit également au bien, au service voire au procédé (ADEME, 2005a). Cette analyse prend en considération toutes les activités qui entrent en jeu, à savoir la fabrication, l'utilisation, le transport, l'élimination du produit et d'autres étapes jugées nécessaires à l'établissement de l'ACV (Actu-environnement, 2015). Illustrée comme une succession d'étapes, cette méthode apparaît comme une aide décisionnelle simple pouvant se complexifier selon le flux de données (Abrassart, 2011; Vincent, 2014).

Construite en quatre étapes et intuitivement par une cinquième, à la figure 3.4, une ACV définit, dans un premier temps, les objectifs et le champ d'étude. Dans un second temps, les flux de matières et d'énergie du système sont inventoriés et sont associés aux étapes du cycle de vie selon l'unité fonctionnelle retenue (Figure 3.3). Analysé, cet Inventaire du Cycle de Vie (ICV) évalue les flux de matières en impacts potentiels sur l'Homme et son environnement. Par la suite, les résultats obtenus sont interprétés selon les objectifs initiaux de l'étude. Enfin, l'ACV par la robustesse de ses données et leurs fiabilités propose un large choix d'applications. Celles-ci passent par une aide à la prise de décision au sein des entreprises et des organisations, une volonté d'amélioration des produits ou encore un respect de la réglementation. (ADEME, 2005a; Vincent, 2014).



(rq : les applications ne rentrent pas dans le champ d'application des normes)

**Figure 3.4 Étapes d'une analyse de cycle de vie** (tiré de : ISO, 2006a, p.8)

L'ACV est une méthode quantitative multicritère. En effet, elle cible les éléments hypothétiques contributeurs d'impacts environnementaux négatifs abordés dès la conception du produit (Actu - environnement, 2015a).

En posant un cadre solide pour la prise de décision, l'ACV est un outil des plus abouti. Cet instrument performant est employé à diverses fins. L'ACV a de multiples applications. Elle sert essentiellement à :

1. Comparer les impacts environnementaux de plusieurs produits en vue de faire un choix stratégique éclairé.
2. Guider les entreprises dans leurs choix en réalisant une étude d'éco-conception de leurs produits.
3. Cibler les éléments importants du cycle de vie d'un produit existant dans l'objectif d'en améliorer ses impacts sur l'environnement.
4. Aider les gouvernements et les organisations dans la création et le développement de normes (étiquetage, ...)

Son utilisation actuelle au sein des démarches de développement durable, en particulier orientées sur les produits, séduit de nombreuses entreprises soucieuses de répondre aux exigences réglementaires nationales (ADEME, 2005a). Adopter l'approche cycle de vie des produits permet aux entreprises de relever les principaux défis environnementaux auxquels la planète doit faire face. Ceux-ci sont une bonne gestion des ressources naturelles, une meilleure consommation de l'énergie et une adaptation maîtrisée du changement climatique (Moreau, 2009).

### 3.3 Les étapes clés de l'ACV

Les étapes de l'analyse de cycle de vie sont décrites dans cette partie afin de poser le cadre et les enjeux essentiels à la compréhension de l'outil présenté à la section 4 de ce document.

### **3.3.1 Objectifs et champ de l'étude**

Cette première étape fixe les bases utiles à l'ACV et son périmètre, particulièrement les paramètres pouvant influencer les résultats de l'étude. Les objectifs doivent s'intéresser au but et aux raisons de l'étude. Le public concerné doit également être inclus à ce premier élément. Quant au champ d'étude, la nature du produit ou du service étudié est mentionnée. Il fait également appel aux fonctions principales et secondaires du système. À titre d'exemple, la fonction première d'une bouteille de plastique est de posséder un contenant alors que sa fonction seconde est liée à sa portabilité pratique. Par ailleurs, le champ d'étude fait référence à l'Unité Fonctionnelle (UF) du système étudié. Celle-ci renvoie à la notion de quantification de la fonction du produit. Ainsi, la bouteille de plastique a pour UF : « contient 1,5 L de boisson ». Enfin, le champ s'intéresse également au flux de référence. Il représente la quantité de produit utile pour remplir l'UF. Dans l'exemple, le flux de référence est de deux bouteilles en considérant qu'une bouteille de plastique contient un volume de 0,75 Litres. Il est à noter que le système doit définir des limites d'étude, soit les processus qui sont inclus dans l'étude. (Vincent, 2014; Aissani, 2015)

### **3.3.2 Inventaire du cycle de vie**

Selon Frischknecht et autres (2005), cette étape recueille toutes les données de base utiles pour tout le processus dans les frontières du système. Elles correspondent principalement aux flux élémentaires en lien direct avec les écosystèmes et sont exprimées sous la forme de quantités d'émissions à l'environnement. L'ICV recense plusieurs centaines de substances. Les flux économiques doivent être transcrits pour être à l'échelle de l'UF via le flux de référence. Des bases de données existent actuellement, telles qu' Ecoinvent, pour répertorier ces flux élémentaires. (Vincent, 2014; Aissani, 2015)

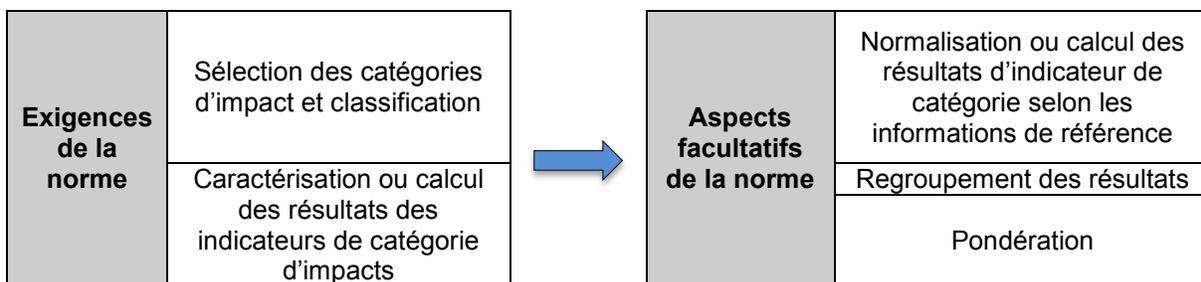
### **3.3.3 Évaluation de l'impact du cycle de vie**

L'évaluation de l'impact du cycle de vie a pour but de traduire les données recueillies lors de l'ICV en impacts environnementaux (Guinée et autres, 2002). Considérant le grand nombre de substances recueillies dans l'ICV, l'interprétation devient difficile. Pour ce faire, des catégories d'impacts sont définies. Celles-ci correspondent à des effets potentiels. En effet, le système étudié possède de nombreuses interactions avec son environnement, ce qui complexifie la valeur réelle des impacts environnementaux du produit. Par exemple, de nombreuses ACV ne considèrent pas les effets synergiques et antagonistes entre les polluants, de même que les caractéristiques du milieu local, les effets de cinétique, etc. (ADEME, 2005a). Par la dépendance forte entre les conséquences réelles des impacts et leur milieu récepteur, l'aspect « potentiel » du calcul d'impacts locaux est plus prononcé que celui des impacts d'ordre globaux. En effet, les conséquences sont peu dépendantes du milieu récepteur dans ce dernier cas. Par exemple, l'effet d'eutrophisation sur le milieu environnant aura plus d'importance que l'effet de serre qui est un impact plus global (ADEME, 2005a). Les impacts potentiels du cycle de vie d'une ACV sont évalués sous la forme d'une masse en Kilogrammes d'équivalents CO<sub>2</sub> dans le cas de l'effet de serre et d'ions hydrogène (H<sup>+</sup>) pour l'acidification, etc. (Thériault, 2011). Combinée à ces impacts, une ACV

présente également des flux physiques utiles à l'évaluation. Ainsi, des Mégajoules d'énergies non renouvelables ou encore des masses de déchets banals sont calculés (ADEME, 2005a).

Il importe de souligner qu'un choix réalisé lors de chaque phase de l'ACV peut avoir des conséquences sur l'ensemble des résultats. Exigée par la norme ISO 14 044, une étape de caractérisation doit être réalisée au détriment des étapes facultatives de normalisation et de pondération (ISO, 2006b). La figure 3.5 présente les éléments utiles à la phase d'évaluation de l'impact de l'ACV. Tout d'abord, un ensemble de catégories d'impacts doit être sélectionné. Cette sélection doit mettre un cadre à l'évaluation des impacts et doit se réaliser en lien avec les objectifs de l'étude. Il est à noter qu'une catégorie d'impacts correspond à un impact écologique, tel que les changements climatiques, la toxicité humaine ou encore un impact sur la santé humaine, sur les écosystèmes et les ressources terrestres. Ensuite, l'étape de caractérisation quantifie en une unité identique l'importance des impacts environnementaux potentiels au sein de leur catégorie d'impacts. Par ailleurs, certaines étapes de l'évaluation de l'ACV sont facultatives. La normalisation est rattachée à la norme ISO 14 044 et facilite la compréhension de l'importance des résultats d'indicateurs associés au système étudié. Par comparaison entre ces derniers et certaines informations de référence, les entreprises peuvent dès lors connaître leur position environnementale pour le produit et pour la catégorie d'impacts considérée.

Par la suite, les résultats de la caractérisation peuvent être au besoin regroupés dans un ou plusieurs ensembles. Par exemple, celui-ci pourrait être l'ensemble « impacts globaux, nationaux, régionaux et locaux » (ISO, 2006b). Enfin, la pondération a pour but de définir l'importance relative d'un impact environnemental ou catégorie d'impacts par rapport à toutes les catégories d'impacts (Baumann and Tillman, 2004)



**Figure 3.5 Aspects exigés et facultatifs lors de l'évaluation de l'impact de l'ACV selon l'ISO 14 044** (inspiré de : ISO, 2006b, p. 16)

### 3.3.4 Interprétation

Cette phase de l'ACV consiste à expliquer les résultats précédents de l'évaluation des impacts du cycle de vie afin de présenter les résultats de l'étude en lien avec les objectifs fixés. La phase d'interprétation peut permettre de comparer des scénarios, de faire apparaître des phases du cycle de vie plus ou moins

impactantes et de cibler les effets les plus néfastes à l'environnement. Aussi, elle a pour objectif de faire ressortir des recommandations sur l'utilisation du système étudié. (Éco3e, 2015)

### **3.4 Méthodologie d'évaluation des impacts du cycle de vie**

Plusieurs méthodes existent pour évaluer les impacts du cycle de vie d'un produit. Il convient de comprendre certaines d'entre elles afin de mieux cerner les enjeux de l'ACV.

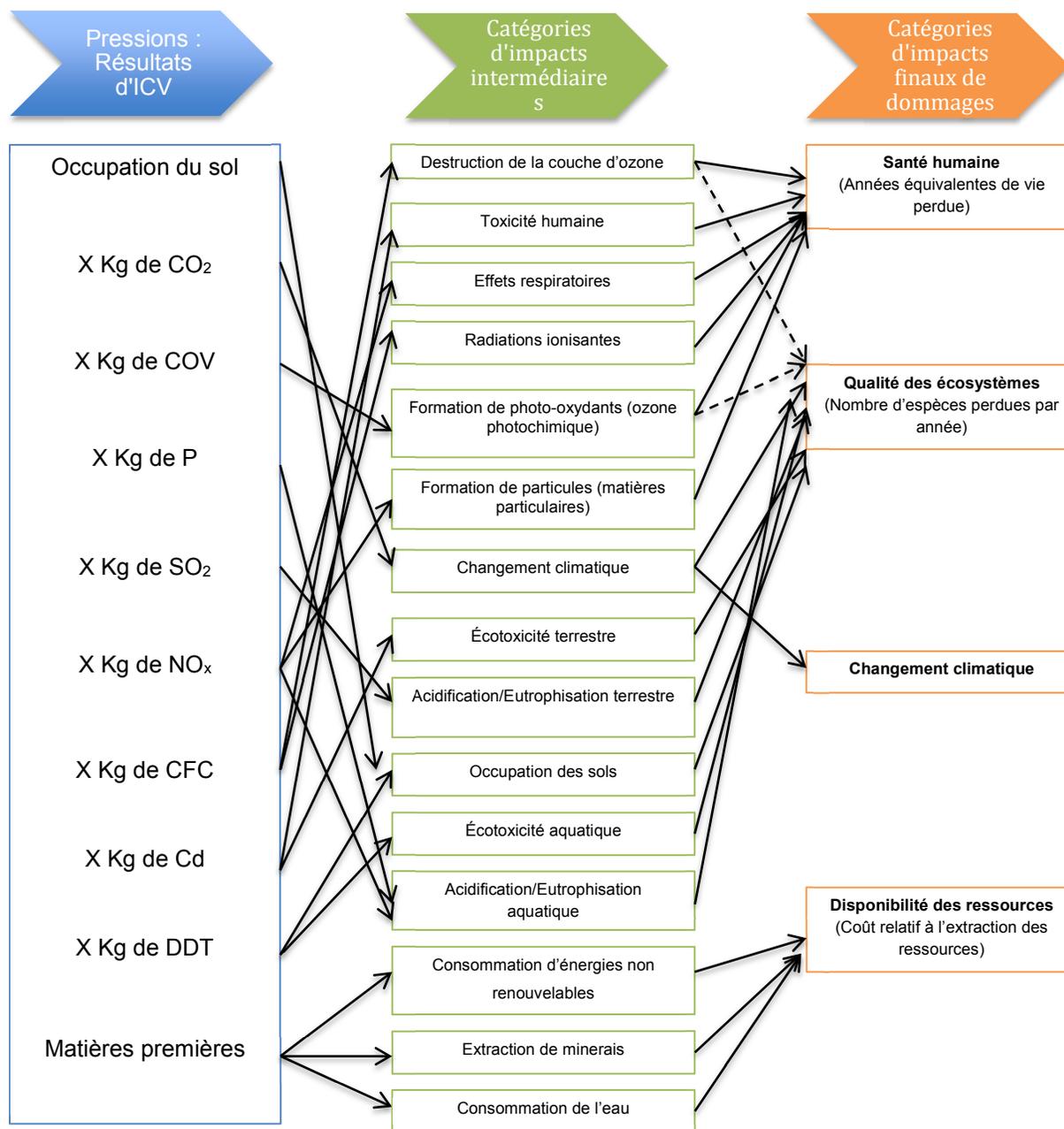
#### **3.4.1 Méthodes d'évaluation des impacts du cycle de vie**

Pour réaliser une évaluation des impacts d'une ACV, certaines méthodes existent. Celles-ci reposent sur l'ICV puisqu'elles transposent leurs données en impacts potentiels sur l'environnement (Godard, 2008).

Chaque méthode possède plusieurs catégories d'impact reposant sur des modélisations scientifiques qui modélisent l'interaction entre une substance de l'émission jusqu'à l'impact potentiel sur l'environnement. En comprenant le lien de cause à effet, chaque méthode d'évaluation décrit les conséquences qui pèsent sur l'environnement. Ainsi, il est possible d'estimer la contribution d'un produit par rapport à l'effet de serre, au travers de l'impact « changement climatique », à partir d'une émission de X Kilogrammes (Kg) de substances traduits en équivalent CO<sub>2</sub> (ORÉE, 2015)

Le devenir d'une substance peut impacter dans de nombreux domaines (impacts intermédiaires) et se retrouver dans des catégories de dommages à une échelle plus large que sont les impacts finaux. La figure 3.6 illustre la conséquence environnementale qu'une émission de substances peut provoquer à différents niveaux. Ceci correspond également aux trois méthodologies d'évaluation des impacts, c'est-à-dire à la méthodologie intermédiaire ou *mid-point*, à la méthodologie de dommages ou *end-point* et à la méthodologie hybride combinant les deux dernières. Pour comprendre l'intérêt de la figure 3.4, un exemple peut être proposé. En effet, suite à une activité industrielle, il est émis dans l'air une certaine quantité en Kg de CO<sub>2</sub>. Ce résultat est attribué à la catégorie d'impact « Changement climatique ». La contribution potentielle de l'émission de dioxyde de carbone à cette catégorie d'impact est définie à l'aide d'un facteur de caractérisation. Considéré à ce stade comme un impact intermédiaire, il est possible de traduire cette contribution potentielle en CO<sub>2</sub> en dommages potentiels finaux sur la qualité des écosystèmes et sur la santé humaine. (Aissani et autres, 2012)

La méthodologie hybride, telle que présentée ci-dessous, démontre qu'un résultat d'ICV peut correspondre à plusieurs catégories d'impacts, elles-mêmes réparties en plusieurs catégories de dommages.



**Figure 3.6 Relations entre les résultats de l'ICV avec les catégories d'impacts intermédiaires et les catégories de dommages** (modifié de : Jolliet et autres, 2010, p.12)

Trois méthodes différentes existent pour l'ACV hybride. Le tableau 3.1 présente ces méthodes et leur orientation avec leurs avantages et leurs inconvénients. Le premier modèle, soit la méthode EIO, apporte des avantages certains comme d'éviter le double comptage des données et la mise en place d'un cadre d'étude bien défini. Le second modèle, à savoir la méthode de Bullard (1988), traite l'ACV à l'aide de l'ACV EIO. L'avantage de cette méthode simple repose sur la bonne prise en compte des étapes d'utilisation et de fin de vie, pas toujours prise en compte par la méthode EIO. Enfin, le modèle hybride

intégré reprend le deuxième modèle et propose une étude complète du système à l'étude. Toutefois, ce modèle complet peut être difficile d'utilisation et contraint ses utilisateurs à faire preuve de patience.

**Tableau 3.1 Avantages et inconvénients d'une ACV hybride** (inspiré de : Thériault, 2011, p. 11)

Modèles	Avantages	Inconvénients	Références liées
ACV EIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Évite le double comptage</li> <li>•Cadre d'étude clairement défini</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Difficile à mettre en place (désagrégation des domaines demandant des données monétaires ou flux physiques)</li> <li>•Utilisation et fin de vie ajoutées manuellement, non intégrées dans le modèle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Joshi, 1999</li> </ul>
Bullard	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Facile d'utilisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Double comptage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Bullard et Sebald, 1988</li> <li>•Jespersen et Munksgaard, 2001</li> <li>•Munksgaard et autres, 2001</li> </ul>
Hybride intégré	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cadre d'étude bien défini, incluant l'ensemble du cycle de vie</li> <li>•Évite le double comptage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Difficile d'utilisation</li> <li>•Demande beaucoup de données et de temps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Suh et Huppés, 2000</li> </ul>

La méthodologie d'ACV hybride est très intéressante pour le contenu qu'elle apporte. Par les résultats qu'elle prend en compte, soit les impacts directs et indirects d'un produit, elle constitue une base solide dans la création d'outils de durabilité.

### 3.4.2 Méthodes d'évaluation des impacts dans un contexte international

La mondialisation et l'essor des marchés économiques ont provoqué une délocalisation et une dislocation des étapes de fabrication des navires de guerre. La plupart des compagnies sous-traitent dans les pays émergents comme l'Inde, la Chine, le Vietnam ou la Corée. Certains auteurs, tels que Steinberger et autres (2009), pensent que l'ACV doit s'adapter selon ce contexte. Toutefois, une grande partie des méthodes actuelles d'évaluation des impacts ont été développées pour des pays industrialisés de type européens, nord américains ou japonais. Cependant, la sous-partie 3.2 de ce document soulève l'idée que les impacts du cycle de vie d'un produit sont influencés par la localisation et le type de milieu récepteur où des émissions nocives ont lieu dans l'environnement.

Ainsi, de nouveaux modèles de caractérisation et d'évaluation d'impacts doivent être conçus et développés pour répondre au contexte international et assurer une analyse générale de l'impact du cycle de vie (Jolliet et autres, 2010). Par exemple, dans le cas d'une émission d'une substance X dans un milieu récepteur, le taux d'impacts sur la santé humaine sera plus fort en Europe qu'au Canada, car la densité de population est davantage marquée pour un milieu récepteur différent (Steinberger et autres, 2009).

### **3.4.3 Complexité du choix d'une méthode d'évaluation des impacts et de catégories d'impact**

L'utilisation de l'ACV requiert un nombre réduit d'indicateurs générant de nombreux résultats. Pour arriver à cet objectif, l'emploi de modèles concentrant les divers flux dans un seul indicateur de synthèse est préconisé. Mais, ces méthodes ont des origines différentes et n'ont pas la même fiabilité (ADEME, 2005b). Quand un modèle d'évaluation d'impact est inexistant ou lorsqu'il est jugé peu fiable pour l'exploitation de données, un bilan matière / énergie est calculé pour témoigner de l'apport d'un flux dans le système étudié.

De plus, il est noté que les résultats mesurés ne sont pas toujours fiables étant donné la prise en compte d'un nombre important de facteurs. Aussi, un indicateur, à savoir une évaluation d'un impact, ne garantit pas constamment la pertinence de l'indicateur vis-à-vis d'un impact en particulier. À titre d'exemple, un indicateur « gaz émis dans l'air » ne caractérise pas directement un impact pour la santé humaine (ADEME, 2005b).

Les méthodes d'évaluation des impacts du cycle de vie reposent sur un concept d'ACV encore relativement jeune datant des années 1990. En effet, lors d'un atelier coordonné par la Société de Toxicité Environnemental et Chimique (SETAC), la phase d'évaluation de l'impact du cycle de vie s'est inscrite dans le cadre méthodologique de l'ACV (Hauschild et autres, 2009). Novatrice et en plein essor, cette étape du cycle de vie comporte ainsi certaines limites.

L'analyse de cycle de vie apporte une vision globale des impacts générés par les produits selon différentes méthodes d'évaluation. Elle fournit des bases utiles dans la prise de décision des politiques industrielles ou publiques. Cet outil grandissant, bien qu'attrayant tant en terme de construction qu'en terme d'application, est soumis à certaines limites (ADEME, 2005a). La complexité des résultats et l'orientation des actions sont deux exemples qui témoignent des difficultés générées par l'ACV. Toutefois, elle propose la possibilité de quantifier les points faibles que possède un système et d'améliorer la contribution d'un produit à son environnement (ADEME, 2005a). Source motrice, l'ACV est utilisée dans la conception de l'outil de durabilité proposé dans la section 4 de ce document. Dans le chapitre suivant, les objectifs et le champ d'étude de cet outil sont exposés afin de poser le cadre méthodologique d'un instrument d'aide à la décision pour les entreprises militaires navales. Par l'ICV et l'évaluation des impacts du cycle de vie, des stratégies d'éco-conception en accord avec la réglementation sont proposées pour toute entreprise désireuse d'œuvrer dans la construction de navires éco-conçus.

## **4. OUTIL DE DURABILITÉ APPLIQUÉ AUX NAVIRES MILITAIRES**

Au cours du chapitre 3, il a été possible de comprendre le rôle exercé par l'ACV pour chaque phase du cycle de vie. Afin de la mettre en pratique dans une démarche d'éco-conception, le chapitre 4 s'intéresse à présenter un outil d'aide à la décision dans le domaine navale militaire. En s'appuyant sur les pratiques de l'ACV, il est possible de définir les actions à entreprendre pour concevoir des navires durables respectueux de leur environnement. Cet outil est présenté à l'annexe 3 de cet essai.

### **4.1 Objectifs**

La mise en place d'un outil d'éco-conception sous-entend la définition des objectifs et du cadre d'étude du système étudié. Cette étape préliminaire informe également des enjeux auxquels doit faire face toute entreprise de construction de navires militaires.

#### **4.1.1 Objectifs de l'outil**

Cet essai a pour objectif principal d'élaborer un outil d'aide à la décision en vue d'optimiser les projets de construction de navires militaires en France et au Canada. Cet outil est un moyen de communication efficace pour toutes les parties prenantes, de l'entreprise de construction navale militaire en passant par le gouvernement. Dans le cas de l'élaboration d'un nouveau navire, il s'avère être un outil d'aide, d'informations et de collaboration pour favoriser l'amélioration continue. L'intérêt est d'ailleurs de maximiser les chances de réussite de toutes les entreprises de construction navale militaire dans leur projet de développement de navires. GreenInShip est un outil essentiel dans le domaine de l'éco-conception navale. Par son interface dynamique, il permet de visualiser en peu de temps l'ensemble des données d'ACV, des stratégies à adopter et le gain en terme de réduction d'impacts. Grâce à cet outil, il est possible à toute entreprise de réaliser les efforts nécessaires pour passer d'un type de navire à un autre selon les stratégies d'éco-conception. L'outil GreenInShip apporte bien plus qu'une analyse de cycle de vie. Il considère la réglementation par des seuils, ouvre le champ d'interprétations de l'ACV. L'imbrication de plusieurs onglets et de calculs automatisés le rend fonctionnel et pratique à tout utilisateur novice. GreenInShip va plus loin que l'analyse de cycle de vie; il éco-conçoit et s'intègre parfaitement dans les futures démarches de construction de navires militaires.

L'outil a été créé à partir de sources pertinentes. Il considère la législation française et canadienne en matière de construction navale, d'émissions de pollution et d'environnement. L'outil, avec son manuel, guide son utilisateur vers une prise de décision dans une volonté de concevoir et de repenser les navires de guerre actuels. Disponible auprès de son créateur aux adresses suivantes : Pierre.Meyer-Bisch(@)USherbrooke.ca et pmeyerbisch(@)gmail.com, il s'adresse à des spécialistes en éco-conception. Son étendue peut aller du domaine militaire au domaine civil et s'adapter à tout type navire. Conçu sous le logiciel Excel de *Microsoft*, il peut être utilisé à une fréquence régulière dépendamment des besoins de l'utilisateur. Évolutif et modulable, il est à noter que cet outil n'est pas universel.

#### 4.1.2 Objectifs de l'entreprise

Face aux contraintes réglementaires, aux politiques actuelles, cet outil permet l'amélioration des émissions environnementales des navires. Il s'adapte aux objectifs de l'entreprise de construction militaire navale. Ainsi, par un code couleur, quatre objectifs sont proposés pour celle-ci. La figure 4.1 présente le lien existant entre ce code couleur et le projet de l'entreprise.

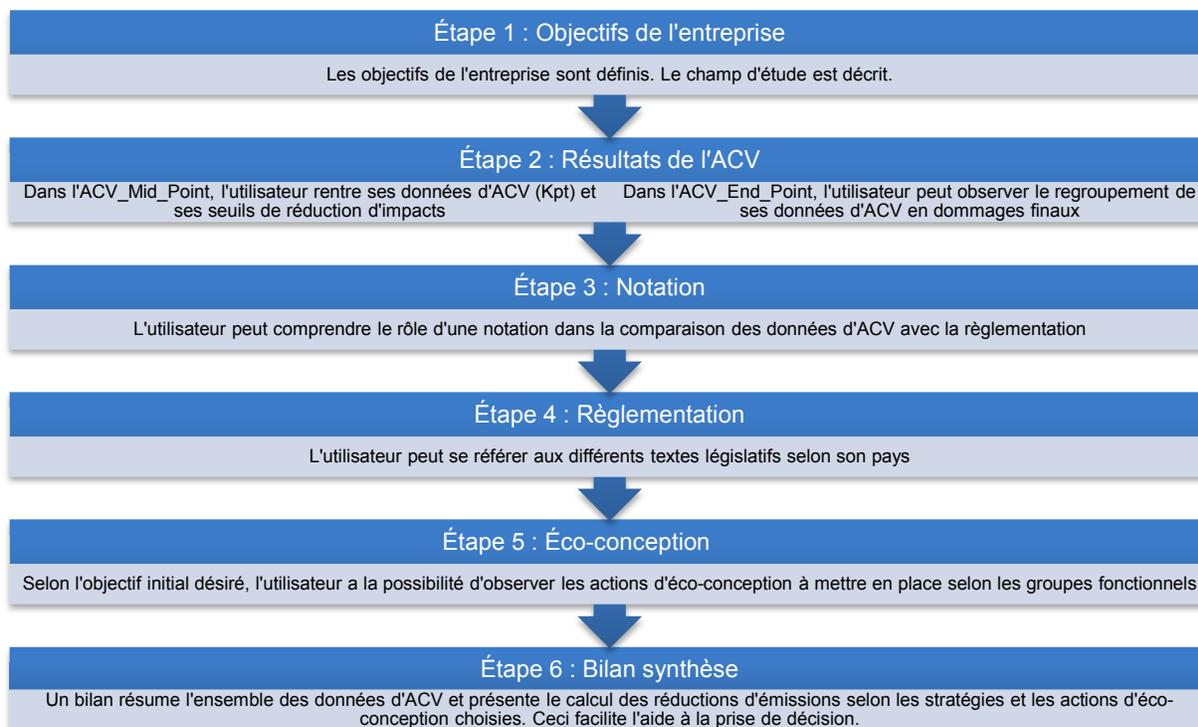
Code couleur	Objectifs du projet et de l'entreprise :	Explications
	Concevoir et réaliser :	
	1) un navire simple	Le client n'intègre pas l'environnement au sein de ses priorités et dépasse les délais accordés par la réglementation.
	2) un navire de type standard	Le client ne désire pas faire d'efforts particuliers pour l'environnement, mais respecte les législations en vigueur. Le navire est économe en énergie.
	3) un navire de type volontariste	Le client désire faire un léger changement de comportement dans l'environnement, répond et devance les législations en vigueur. Le navire est propre et durable.
	4) un navire éco-conçu	Le client désire impacter le moins possible sur l'environnement, et ce de façon plus globale. Il anticipe dans l'avenir la réglementation par la mise en place d'une politique à long terme de type proactive. Il s'agit d'un navire « intelligent ».

**Figure 4.1 Objectifs de l'entreprise dans la conception et la réalisation de navires militaires**

En alliant les besoins du client avec les contraintes réglementaires, l'entreprise de construction navale a la possibilité de répondre à l'ensemble de ses objectifs stratégiques annuels. L'outil présenté promeut une évaluation de la performance du navire en terme de durabilité, de la conception jusqu'à la fin de vie du bateau. En fournissant les résultats de ses ACV, les concepteurs de navire pourront, dans un premier temps, comparer leurs résultats avec la législation puis constater, dans un second temps, que des pistes d'actions et des stratégies d'éco-conception répondent aux attentes de leurs objectifs initiaux. L'outil fournit des recommandations aux différentes parties prenantes, afin de faire évoluer les navires vers des navires éco-conçus et exemplaires pour d'autres projets du domaine.

#### 4.2 Démarche méthodologique

La méthodologie est présentée dans cette partie afin de comprendre le fonctionnement de l'outil de durabilité. L'outil GreenInShip prend la structure de plusieurs onglets interactifs assurant à tout utilisateur la possibilité de naviguer à son aise d'un onglet à un autre. Il est possible de les visualiser au travers de la figure 4.2.



**Figure 4.2 Étapes d'élaboration de l'outil GreenInShip**

La page d'accueil dite « Modalités d'utilisation » présente les différents onglets de l'outil. L'utilisateur est invité à en suivre l'ordre pour une meilleure compréhension. Une partie « Projet » doit être remplie par l'utilisateur avec le numéro du projet, les noms du projet, de l'organisme, du responsable de projet et des gestionnaires en environnement. Il est possible d'écrire des commentaires sur l'évolution du projet en cours. Par ailleurs, pour comprendre globalement l'intérêt et les cibles de cet outil, un sommaire interactif a été créé en glissant le curseur sur le mot « Sommaire ». La possibilité de comprendre chaque mot au travers d'un onglet lexicale, mais aussi de contacter le réalisateur de cet outil est visible dès l'onglet de présentation.

Le premier onglet, dénommé « Objectifs », reprend sommairement le champ d'étude de l'outil. Celui-ci est sensiblement identique à la partie 4.1.2 de ce chapitre avec la définition de l'unité fonctionnelle. Les objectifs de l'entreprise soulèvent certaines questions. Afin d'y répondre, quatre propositions sont formulées auxquelles sont associées un code couleur. Ces propositions correspondent aux objectifs de l'entreprise (partie 4.1.1 de ce chapitre). En glissant le curseur sur chaque objectif, il est possible pour l'utilisateur de voir apparaître la description de la proposition.

Le second onglet « ACV » est subdivisé en deux parties, à savoir les onglets « ACV\_Mid\_Point » et « ACV\_End\_Point ». Dans le premier cas, l'utilisateur a la possibilité d'écrire ses résultats d'ACV dans chaque case vide. Il est à noter que les résultats doivent être dans la même unité et correspondent aux

émissions par catégories d'impacts intermédiaires pour tous les groupes fonctionnels cités dans la partie suivante 4.3. Ainsi, pour chaque phase d'ACV, l'utilisateur a la possibilité d'intégrer ses données pour chaque groupe fonctionnel selon 11 catégories d'impacts intermédiaires. L'utilisateur n'a que cet onglet à compléter, car l'outil est entièrement automatisé. Dans le second cas, l'onglet « ACV\_End\_Point » reprend ses résultats et les regroupe selon quatre catégories plus larges. Ce regroupement facilite l'interprétation des résultats. Celles-ci correspondent à des catégories d'impacts finaux. Ce regroupement est expliqué ci-après dans la partie 4.4 de ce chapitre. Ces deux onglets d'ACV ont pour rôle d'alimenter en données, via des formules, les autres onglets et d'arriver à proposer des stratégies d'éco-conception.

Le troisième onglet « Notation » est en cours de construction dans l'outil GreenInShip. La difficulté de comparaison entre les valeurs de l'ACV et celles de la réglementation repose sur la conversion en une même unité.

Le quatrième onglet « Réglementation » reprend, pour chaque objectif de l'entreprise, les grands aspects législatifs internationaux. Considérés comme des accords entre les différents pays, ils concernent aussi bien la France que le Canada. Ainsi, pour les phases d'utilisation et de fin de vie, ces aspects sont décrits selon une échelle internationale et européenne.

Le cinquième onglet « Éco-conception » de l'outil compare les résultats notés de l'ACV avec ceux de la réglementation. Pour chaque type de navire et selon les différents groupes fonctionnels, la comparaison aboutit par un « oui » ou un « non ». Par automatisation, l'outil réfère, par une croix, à la stratégie et aux actions d'éco-conception adéquates afin de valider l'affirmation. En cas de réponse négative, aucune croix n'apparaît dans les propositions d'éco-conception. Ainsi, pour chaque type de navire et pour chaque groupe fonctionnel, une compatibilité entre les valeurs de l'ACV et celles de la législation du pays se caractérise par une proposition stratégique et des actions à mettre en place par l'entreprise.

Le sixième onglet « Bilan Synthèse » apparaît comme une matrice de calcul automatisé et synthétise l'ensemble des résultats précédents. Pour chaque objectif initial et donc chaque type de navire, des stratégies et les actions préconisées dans le cinquième onglet « Éco-conception » sont décrites. Il est à noter qu'un navire éco-conçu bénéficie des stratégies d'éco-conception des navires standard et volontaristes. À chaque action d'éco-conception, la valeur de l'impact en KiloPoint est déterminée. Pour les quatre grandes catégories d'impacts, à savoir la santé humaine, la qualité des écosystèmes, le changement du climat et l'épuisement des ressources, des valeurs de réduction des impacts pour chaque navire et à chaque phase de l'ACV sont calculés automatiquement. Ainsi, l'utilisateur peut observer, selon son objectif initial d'entreprise, comment chaque stratégie d'éco-conception diminue les impacts de l'ACV initiale. Il est alors en mesure de décider des actions à mettre en place.

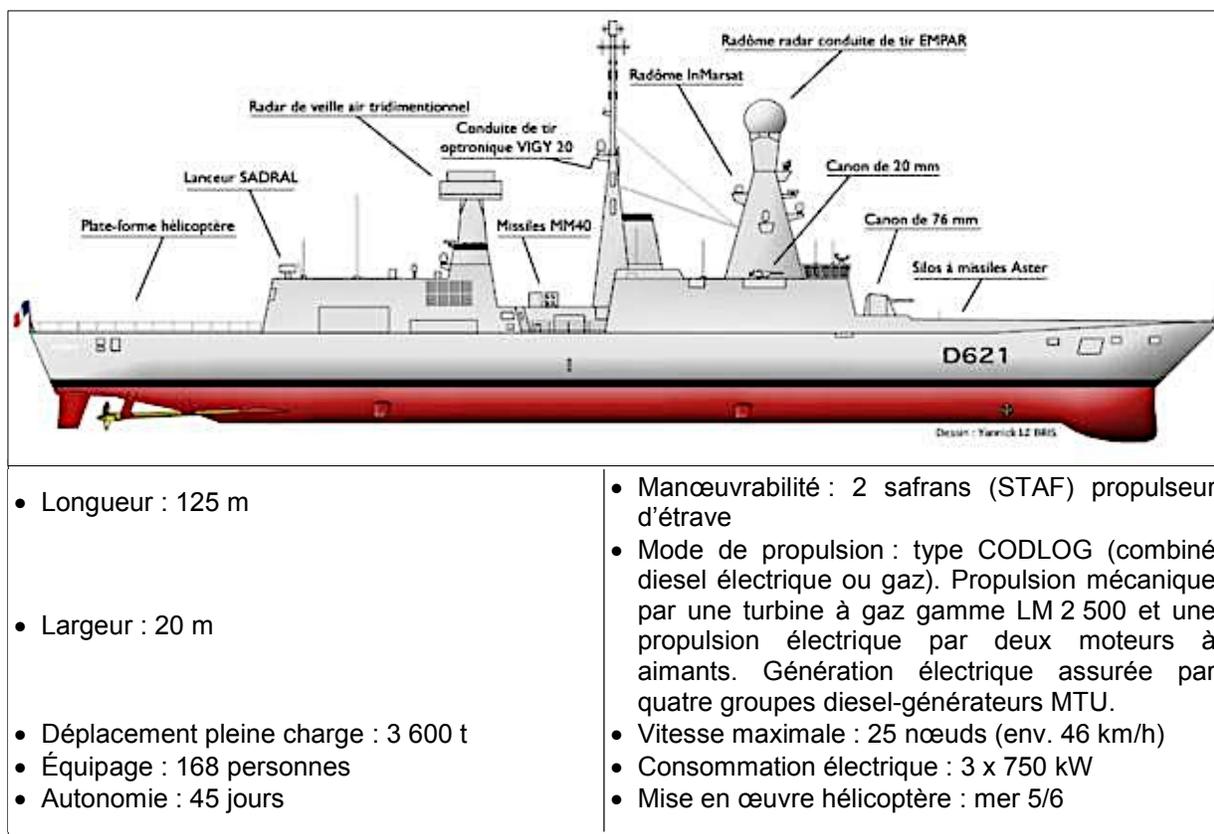
Enfin, l'outil GreenInShip se termine par les onglets « Contact » et « Lexique ». Dans l'onglet « Contact », l'utilisateur peut connaître les coordonnées du réalisateur de cet outil. L'onglet « Lexique » permet

d'obtenir une explication des éléments les plus importants pour la compréhension de l'outil. En cliquant sur la première lettre du mot recherché, ce glossaire renvoie directement aux mots de la lettre considérée. Pour finir, un onglet « Références » décrit l'ensemble des ouvrages et des documents utiles à la construction et à la réalisation de l'outil.

### **4.3 Champ d'étude**

L'intégration des objectifs de l'entreprise passe par le champ d'étude. Celui-ci doit être défini pour mettre en contexte tout utilisateur dans l'application de l'outil. Pour répondre aux exigences de la norme ISO 14 040, le champ d'étude doit être défini de manière claire et explicite. Ainsi, il regroupe entre autres les fonctions du système, l'unité fonctionnelle, le système de produits étudiés et ses limites. Les règles d'affectation, les types d'impacts et leurs méthodologies d'évaluation sont également pris en considération. Enfin, les exigences portant sur les données, les hypothèses, les limitations et les exigences initiales de qualité des données sont des éléments incontournables du champ d'étude.

Selon la norme ISO 14 041, l'unité fonctionnelle identifie la performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence. Dans le cadre de cette étude, l'UF correspond au produit « frégate militaire » dont les caractéristiques techniques sont décrites à la figure 4.3. Il est à noter que le terme « frégate » défini en français réfère au « destroyer » pour les Anglo-saxons. D'une longueur d'environ 130 mètres et d'un tonnage situé entre 2 000 et 7 000 tonnes pour un équipage de 100 à 200 personnes, ce navire assure la protection et du soutien en cas de conflit armé du pays considéré. Ce bâtiment de surface possède les dimensions, les armes et les équipements pour naviguer en haute mer quel que soit les conditions, d'attaquer et de se défendre contre d'autres navires, des sous-marins et des avions ou éventuellement des cibles terrestres. Son champ d'action peut-être isolé ou au sein d'autres forces navales. Sa contribution dans un conflit aéronaval l'oblige à posséder un système radar augmentant sa furtivité. Initialement développé pour la Marine française, ce type de frégate a fait l'objet de programmes d'exportation vers l'ensemble des pays partenaires. (DCNS, 2012)



**Figure 4.3** Caractéristiques techniques d'une frégate militaire (tiré de : Borer, 2015, p. 1)

L'UF doit donc évaluer certaines fonctionnalités du navire. Tout d'abord, la frégate doit avoir la capacité d'effectuer des missions d'attaque et de défense. Les critères de performances militaires, de disponibilité fonctionnelle et du nombre de personnes à bord sont essentiels pour atteindre cette première fonctionnalité. La performance militaire passe par un système de combat développé et invulnérable. Le navire doit donc retenir les chocs, les envahissements par l'eau ou le feu et posséder la capacité d'être opérationnel en cas de dysfonctionnement d'une ou plusieurs fonctions. Pour ce faire, le navire doit posséder un système radar, acoustique, infrarouge et magnétique optimal. Avec une grande disponibilité en mer ou à quai, le navire assure à la flotte militaire une possibilité d'action rapide. Par ailleurs, le nombre de personnes embarquées influence sur le type de mission militaire engagée, la nature des armements et les besoins de commandement du navire. (DCNS, 2012)

Ensuite, la frégate doit pouvoir se déplacer efficacement et rapidement. Cette capacité de déplacement dépend des critères de charge, de vitesse maximale et de transit, d'autonomie et de performance. Plus explicitement, la charge déplacée du navire correspond au poids du navire et de son embarquement assurant un fonctionnement normal du bateau. La vitesse de ce dernier peut être de deux types, à savoir la vitesse de transit qui permet à la frégate de rallier un point à un autre et la vitesse instantanée qui caractérise la rapidité d'intervention du navire en cas de conflit. D'une part, ce bâtiment de surface doit

pouvoir être autonome, c'est-à-dire pouvoir optimiser le temps et la distance parcourue entre deux ravitaillements en biens consommables. D'autre part, la frégate doit avoir des performances dynamiques en mer, soit une certaine stabilité et une facilité dans la manœuvrabilité lors des opérations militaires. (DCNS, 2012)

Enfin, la frégate doit avoir une durée de vie suffisamment longue pour assurer son rôle sur le long terme. Cette dernière fonctionnalité est une donnée essentielle à considérer dès la conception du navire. (DCNS, 2012)

Ainsi, l'UF du produit considéré dans le cadre de cette étude se définit de la manière suivante :

Une frégate est un navire caractérisé par ses performances militaires. Conçue pour assurer X jours opérationnels en mer ou à quai pour une année selon sa durée de vie définie, la frégate possède une autonomie ayant un rayon d'action d'Y milles nautiques ou de Z mesures de temps entre deux ravitaillements. Elle possède un équipage de W personnes embarquées et doit permettre un déplacement de T tonnes en charge. Avec une vitesse maximale de  $V_1$  nœuds et une vitesse de transit  $V_2$  nœuds, la frégate doit être manœuvrable et assurer une certaine stabilité en mer.

L'UF prend en compte les divers impacts environnementaux du navire et les différents groupes fonctionnels du produit étudié. Il permet de connaître l'influence d'une fonctionnalité du produit sur tel ou tel impact environnemental. Aussi, il permet de visualiser les résultats des choix d'éco-conception sur l'évolution des performances du navire.

L'outil GreenInShip se base sur l'analyse des impacts environnementaux de la frégate, mais ne prend pas en compte l'armement du navire et des critères socio-économiques. Pour cerner les éléments ayant une influence en terme d'impacts, le navire doit être divisé en groupes fonctionnels globaux. En s'appuyant sur les grands éléments communs à tout les navires militaires, il est possible de définir cinq classes, soit la structure du navire, la machinerie, l'espace de vie, les éléments de navigabilité et de logistique. En associant celles-ci avec les fonctionnalités de l'UF, le navire est découpé en cinq groupes fonctionnels selon la figure 4.4.

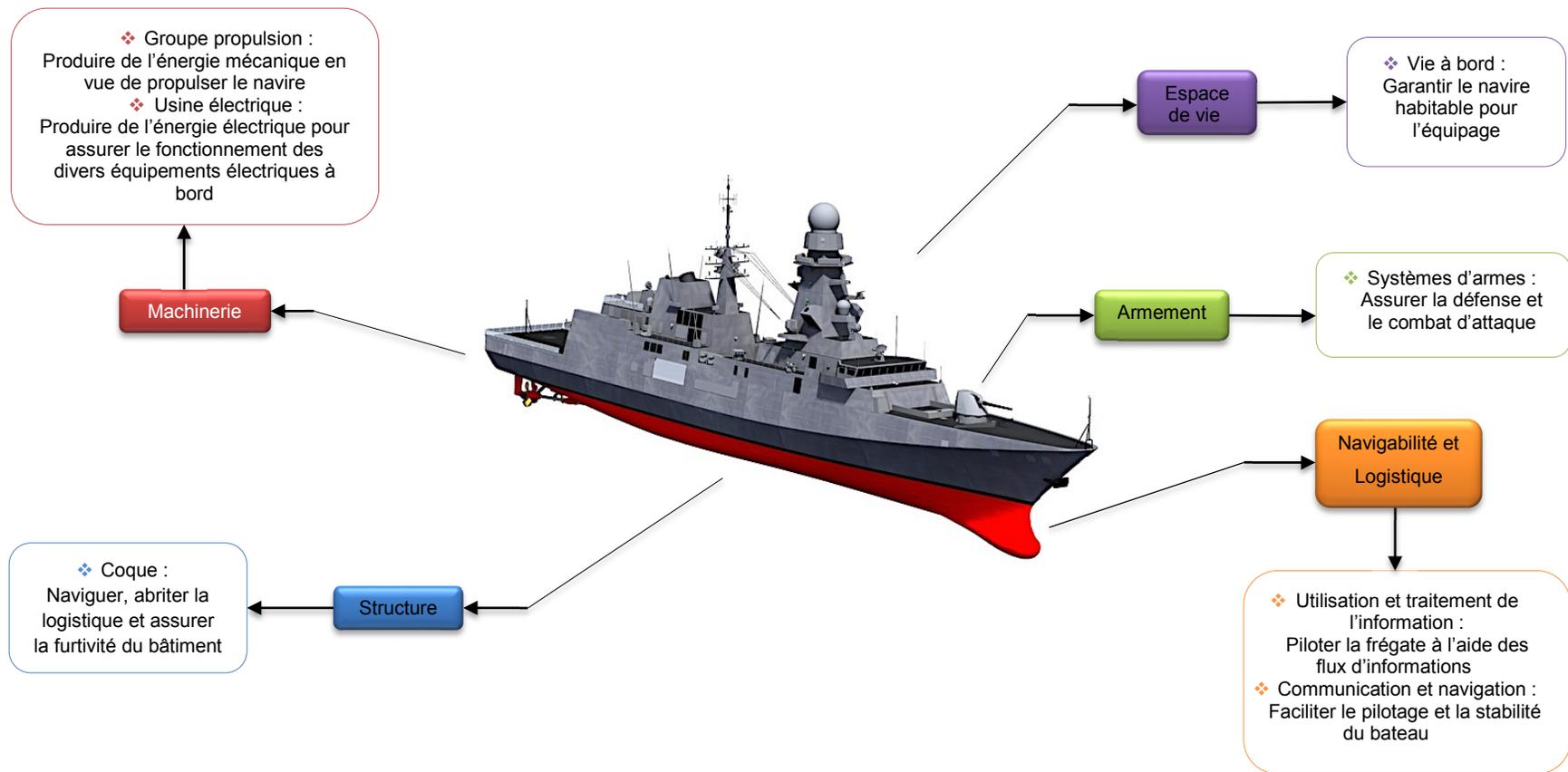


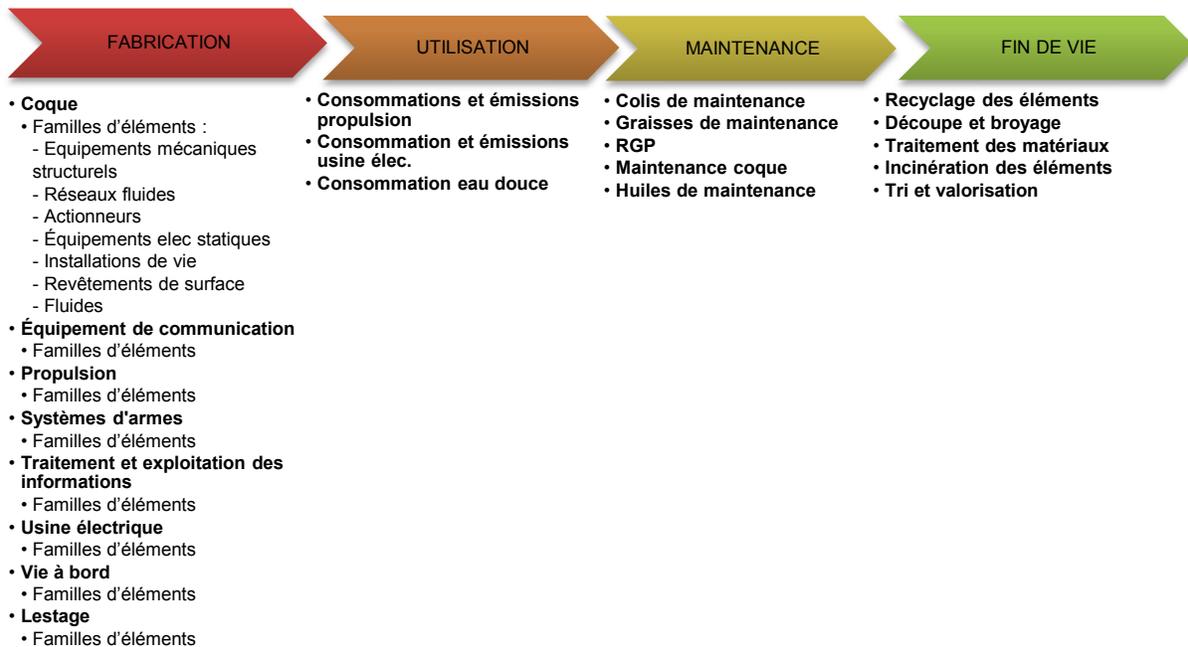
Figure 4.4 Répartition de la frégate en cinq groupes fonctionnels selon l'UF (adapté de : Secret Difa, 2012, p. 1)

Une frégate est un système complexe comportant de nombreux composants. Pour structurer plus facilement et simplifier l'acquisition des données, il a fallu trouver des éléments caractéristiques propres à la frégate. Des familles d'éléments ont ainsi pu être définies. Les données liées aux composants d'une même famille peuvent être traitées de manière analogue, quelque soit le groupe fonctionnel. Le tableau 4.1 présente ces différentes familles d'éléments.

**Tableau 4.1 Famille d'éléments d'une frégate**

Numéro	Familles d'éléments
1	Équipements mécaniques structurels
2	Moteurs diesels
3	Réseaux fluides
4	Actionneurs électriques et hydrauliques
5	Équipements mécaniques statiques
6	Réseaux câbles
7	Matériel électronique
8	Installations de vie
9	Revêtement de surface
10	Fluides

Le champ d'étude tient également compte des différentes phases du cycle de vie d'une frégate. Ainsi, il sera retrouvé les phases de fabrication, d'utilisation, de maintenance et de fin de vie. La figure 4.5 présente l'arbre des processus du cycle de vie d'une frégate. La phase de fabrication se base sur les données collectées pour chaque groupe fonctionnel selon les différentes familles d'éléments qui le composent. En phase d'utilisation, l'arbre des processus est composé du groupe de propulsion, de l'usine électrique et de la vie à bord. Cette étape de l'ACV se caractérise également par les données de consommation et d'émission du groupe de propulsion, de l'usine électrique et de la consommation d'eau douce (vie à bord). En phase de maintenance, différents paramètres sont pris en compte, tels que le colis de maintenance, le RGP, la maintenance de la coque, les huiles et les graisses de maintenance. Enfin, la phase de fin de vie comprend le recyclage des éléments, leurs découpes ou leurs broyages, leurs traitements, leurs incinérations et leur tri ou leurs valorisations.



**Figure 4.5 Structuration fonctionnelle ou arbre des processus du cycle de vie d'une frégate**

Il est à noter que toutes composantes fonctionnelles d'un navire s'étendent au-delà de la précédente figure. L'ACV peut s'exercer à une échelle plus petite ou plus macroscopique selon les besoins du client. Ainsi, chaque élément du navire devient sujet à l'analyse de cycle de vie.

#### 4.4 Analyse du cycle de vie

L'analyse du cycle de vie de l'outil GreenInShip s'appuie sur la recherche d'indicateurs environnementaux. Pour chaque groupe fonctionnel du navire considéré, il est possible de faire ressortir l'ensemble des impacts du cycle de vie.

##### 4.4.1 Choix des indicateurs de l'outil de durabilité

L'analyse de la littérature a permis de définir un certain nombre de critères d'évaluation pour l'outil de durabilité GreenInShip. Tous ces indicateurs ont dû franchir une étape d'évaluation nécessaire à la réalisation du projet. Pour assurer la qualité des données récoltées, ils ont dû respecter les exigences décrites au tableau 4.2. Toutefois, pour des raisons de confidentialité liées aux activités des entreprises, tous les indicateurs n'ont pu être récoltés. En effet, pour certains indicateurs non spécifiques, les références littéraires ont été manquantes. Il n'a pas été possible de vérifier leur adéquation avec les seuils réglementaires. Ainsi, les indicateurs manquants ont été grisés dans l'outil en raison de l'absence d'informations, que ce soit l'unité ou la valeur seuil. Le monde scientifique s'accorde de plus en plus pour apporter des indicateurs fiables dont l'emploi dans les analyses de cycle de vie est courant.

**Tableau 4.2 Critères de sélection des indicateurs de durabilité** (adapté de : Sustainable Measures, 2010, p. 1)

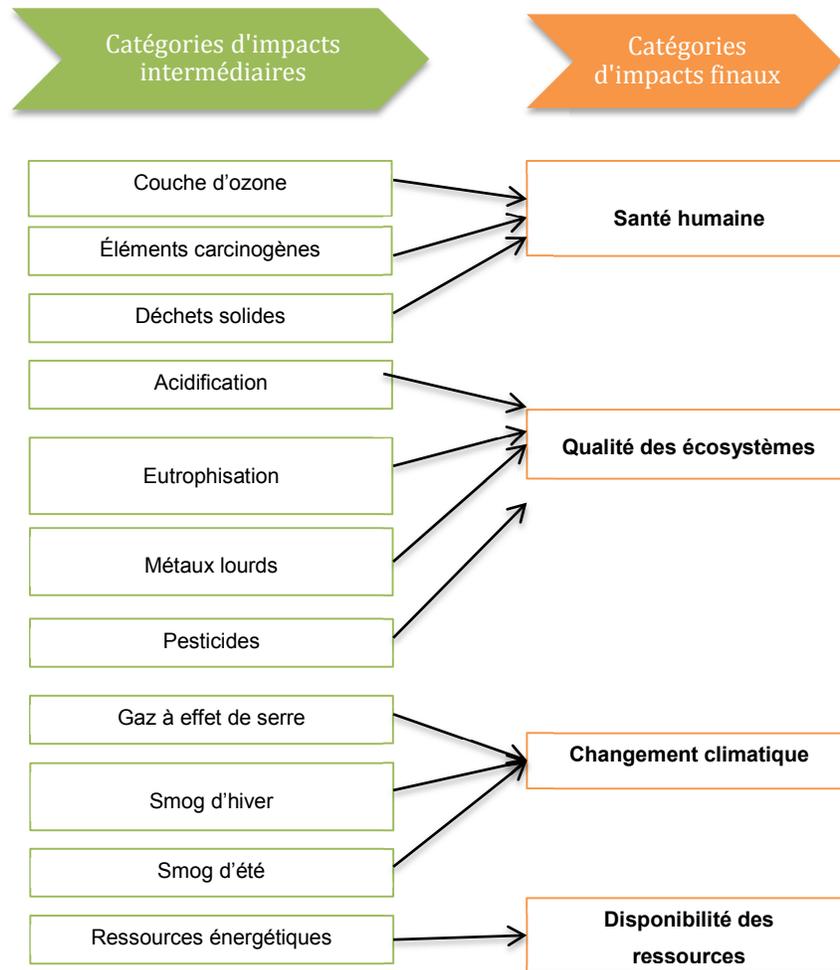
Critères	Explications
Accessibilité et communication	L'indicateur facilite l'accès à des données en tout temps. Il doit être d'actualité.
Compréhension	L'indicateur facilite l'analyse des données et leur exploitation.
Mesurable	L'indicateur doit pouvoir être reproductible et appartenir à une même unité de mesure. Il doit être mesurable qualitativement et quantitativement.
Pertinence	L'indicateur est lié directement au sujet d'analyse. La littérature valide cet indicateur comme une source fiable. Le thème de l'éco-conception environnemental doit être pleinement pris en compte.
Spatial et temporel	L'indicateur doit être défini dans un cadre spatio-temporel clair et défini. Il doit appartenir à l'unité fonctionnelle.
Spécifique	L'indicateur s'appuie sur des références documentaires scientifiques et techniques vérifiables. Il doit se baser sur des revues scientifiques, des données d'organismes et d'entreprises.

#### 4.4.2 Impacts finaux du cycle de vie

Chaque phase du cycle de vie du navire est analysée dans le second onglet « ACV ». En reprenant l'ensemble des résultats de l'ACV de la frégate, il est possible de quantifier ces émissions ainsi que les extractions de matières premières nécessaires à la réalisation du produit final. Les indicateurs d'entrée rendent compte des éléments intrants au cycle de vie. En visualisant les impacts sur l'environnement, qu'ils soient terrestres, aquatiques, atmosphériques, sonores ou visuels, l'utilisateur a une idée des phases du navire les plus impactantes. Pour chaque phase, les groupes fonctionnels sont associés à des indicateurs ou catégories d'impacts. Ceux-ci correspondent à des dommages intermédiaires. En effet, dans le processus expliqué dans la partie 3.4.1 et au travers de la figure 3.6, ces catégories d'impacts doivent être rassemblées d'après l'étape de regroupement des résultats. La figure 4.6 rend compte de ce regroupement et donc du passage de 11 catégories d'impacts intermédiaires en quatre catégories d'impacts finaux. Ces grands dommages sont détaillés plus explicitement au travers du tableau 4.3. Elles s'appuient, entre autre, sur les catégories d'impacts définis par Jolliet et autres (2010).

**Tableau 4.3 Significations des différentes catégories d'impacts** (tiré de : EI-99, 2000, p. 7)

Catégories de dommages	Définitions
Santé humaine	Les êtres humains actuels et des futures générations devraient être exemptés de maladies, d'handicaps ou de décès prématurés
Qualité des écosystèmes	Les espèces vivantes ne devraient pas subir les changements évolutifs de leurs populations et de leurs répartitions géographiques
Changement climatique	Les êtres humains sont soumis à des déplacements de population en raison du caractère inéluctable de réchauffement climatique
Disponibilité des ressources	Ce qui est offert par la nature est essentiel à la société humaine et doit être disponible pour les générations futures



**Figure 4.6** Étape de regroupement des catégories d'impacts intermédiaires en catégories de dommages pour l'outil GreenInShip

Dans la partie droite de l'onglet « ACV\_Mid\_Point », il est possible pour chaque phase d'observer les résultats de l'ACV du navire considéré. Chaque graphique présente, par groupes fonctionnels, les valeurs d'émissions de chaque indicateur en KiloPoint. Cette unité se base sur le logiciel « Éco-indicateur 99 » redéfini aussi par la norme ISO 14 044. Toutefois, l'utilisateur pourrait employer une autre unité de base dont la plus connue est l'équivalent en CO<sub>2</sub>. Cette dernière unité n'est pas encore intégrée à l'outil. Pour que GreenInShip fonctionne, la qualité des données de l'ACV du navire doit être correctement collectée. Pour cela, la stabilité du modèle étudié a été préalablement bien définie.

L'inventaire est une technique de collecte qui a dû être réalisée par l'utilisateur au préalable. Il en est de même pour la nature des choix et des hypothèses relatives à l'ACV, tels que l'établissement des frontières du système, le choix des sources de données, etc., qui conditionnent la qualité des résultats attendus.

#### 4.5 Système de notation

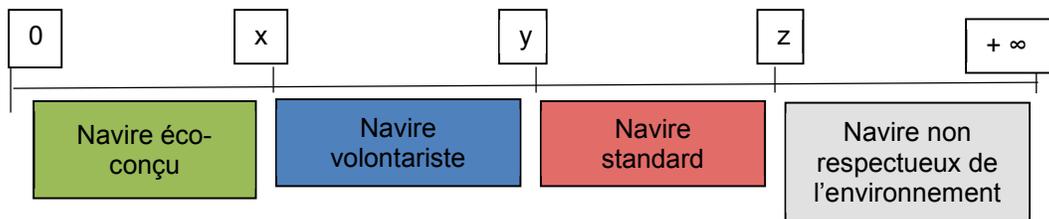
Pour pouvoir classer les quatre types de navires, il faut mettre en place un système de notation. Celle-ci est déterminée en prenant comme valeur de référence la réglementation s'appliquant aux navires et à leurs composants. Il faut, tout d'abord, considérer le fait que l'outil vise à comparer des catégories d'impacts pour chaque groupe fonctionnel du navire. Les différentes catégories d'impacts n'ayant pas la même unité, tous les résultats de l'ACV ont été ramenées en Kilopoint (Kpt) par un coefficient de normalisation des impacts. Ceci permet de les comparer.

Les limites de l'outil GreenInShip apparaissent dès le début de la cotation, car comme il a été expliqué précédemment, le point de référence est la réglementation. Celle-ci est exprimée en diverses unités spécifiques à chaque catégorie d'impact. Ainsi, l'impact sur la couche d'ozone est mesuré en équivalent d'oxyde d'azote (NO<sub>x</sub>) et de dioxyde de soufre (SO<sub>x</sub>) alors que la toxicité des sols est évaluée en partie par millions d'éléments toxiques. Ces unités sont largement différentes de l'unité d'équivalent CO<sub>2</sub> ou KiloPoint. De plus, il est difficile de connaître les valeurs seuils de la réglementation pour chaque groupe fonctionnel. On ne peut que difficilement déterminer si une valeur en Kpt répond à une réglementation exprimée en kilogrammes d'équivalent CO<sub>2</sub>.

La normalisation des résultats peut alors être jugée comme arbitraire et ne donne pas de visibilité crédible vis-à-vis de la réglementation. Il n'est pas possible de faire équivaloir 1 Kilogramme équivalent CO<sub>2</sub> (kg éq. CO<sub>2</sub>) à 0,5 Kpt. Pour ce faire, il serait intéressant d'exporter les valeurs de la réglementation et appliquer les coefficients de normalisation des impacts sur chaque valeur de la réglementation correspondante, selon la même méthode de calcul d'impact utilisée dans l'ACV.

Dans le cas où une telle cotation n'est pas applicable à l'outil, une simulation par grande catégorie d'impacts est présentée à la figure 4.7.

Catégories d'impacts : Santé humaine / Qualité des écosystèmes / Changement du climat /  
Épuisement des ressources



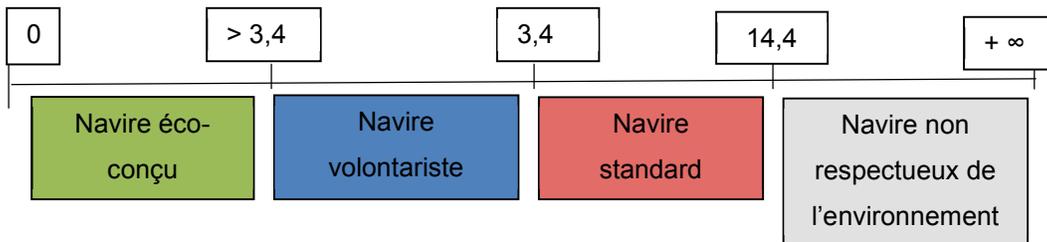
**Figure 4.7 Exemple d'échelle de cotation par type de navire et par catégorie d'impacts**

Les valeurs de x, y et z sont différentes pour chaque catégorie d'impact, car elles dépendent de la réglementation. De plus, pour obtenir une première vision assez précise du type de navire, chaque catégorie d'impact fournit des résultats pour chaque groupe fonctionnel puis devient plus globale pour

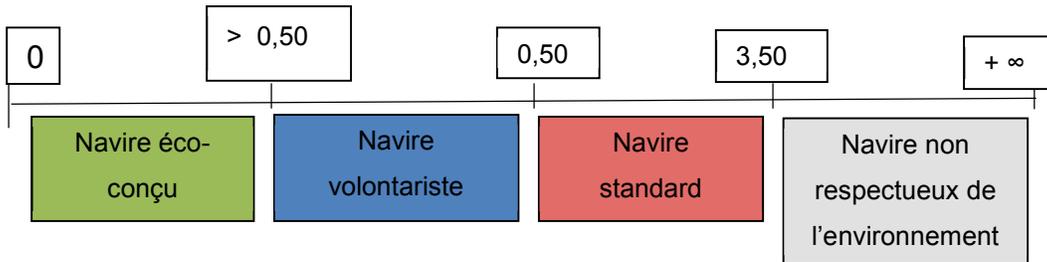
donner une évaluation par phase du cycle de vie puis un résultat global du navire. Pour éviter le problème de conversion de la réglementation, il aurait été intéressant de concevoir un outil s'appuyant sur le même principe que l'ACV, mais en laissant les résultats avec les unités propres à chaque catégorie d'impacts. Il en découlerait des résultats fiables par rapport à la réglementation. Chaque catégorie d'impacts aurait eu une échelle sur le même principe que précédemment. Toutefois, il n'est pas possible de réaliser de comparaison entre les catégories. Le résultat global du navire aurait été plus approximatif.

À titre d'exemple, la figure 4.8 reprend cette méthodologie dans le cas du groupe fonctionnel « propulsion » lié à la machinerie du navire. La fonction principale est ici de l'énergie mécanique en vue de propulser le navire. La catégorie d'impacts intermédiaires correspond au GES. L'étude des NO<sub>x</sub> et des SO<sub>x</sub> a permis d'établir les échelles de notation suivantes.

Catégories d'impacts : Gaz à effet de serre (GES) - cas des NO<sub>x</sub>



Catégories d'impacts : Gaz à effet de serre (GES) - cas des SO<sub>x</sub>



**Figure 4.8** Échelle de notation pour les NO<sub>x</sub> et les SO<sub>x</sub> selon le type de navire pour la catégorie d'impacts des GES

Ainsi, l'élaboration d'un système de notation dans un tel outil apparaît comme difficile. En effet, GreenInShip ne s'appuie pas uniquement sur la comparaison comme le fait l'ACV, mais sur la détermination du type de navire basé sur de la réglementation et non uniquement sur une comparaison sans valeurs réglementaires.

Il existe trois techniques, selon la littérature, pour pondérer et noter les résultats d'ACV. La première consiste à monétariser les critères. Un coût monétaire est apporté à la perte d'un point d'acidification.

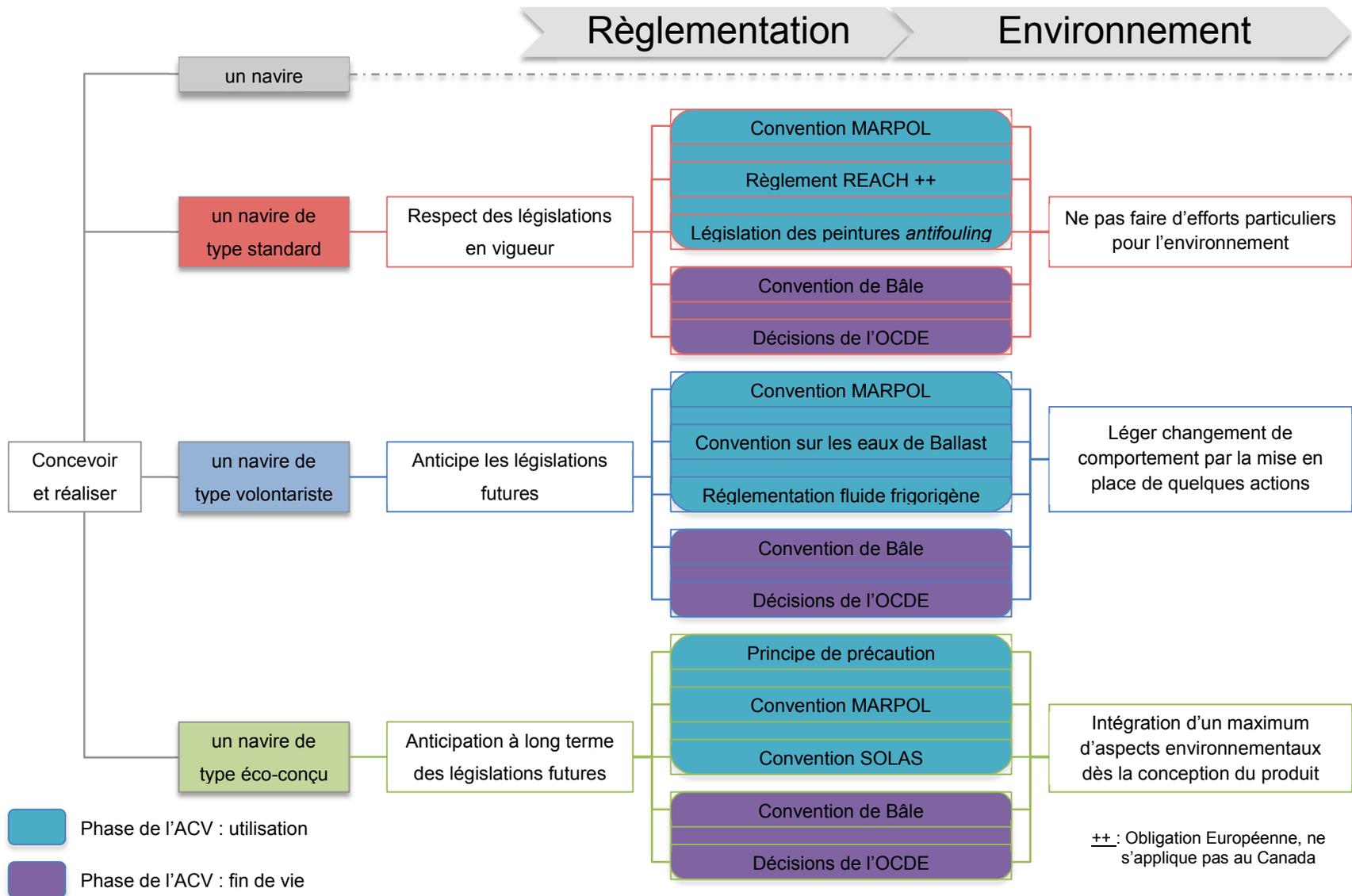
La seconde a pour objectif de déterminer la distance entre une valeur standard donnée, déterminée par le monde scientifique, et la valeur obtenue de l'ACV. Une comparaison est élaborée, telle que spécifiée précédemment, entre tous les critères considérés. Enfin, une dernière technique vise à faire appel à des experts dans le but de proposer une pondération.

#### **4.6 Législation et réglementation internationales du secteur naval**

Cette partie met en lien les impacts du cycle de vie du navire avec la législation européenne et canadienne. Elle rend compte de la mise en place de règlements au sein des entreprises de construction militaires navales.

L'intégration d'une démarche d'éco-conception par ces industries suit trois forces motrices. Tout d'abord, la pression réglementaire se durcit de plus en plus obligeant les groupes de construction de navires à se conformer à la législation. Ensuite, la demande des clients tend de plus en plus vers un produit respectueux de l'environnement leur garantissant une meilleure image de même que pour le constructeur. Enfin, il existe une volonté d'entreprendre une démarche de plus en plus active vis-à-vis des préoccupations environnementales.

Selon les objectifs définis par l'entreprise et les besoins du client décrit dans la section 4.1.2, il est possible d'émettre trois catégories d'aspects réglementaires. La législation passe d'abord par le respect des règlements en vigueur, à savoir MARPOL 73/78, REACH et la loi sur les peintures *antifouling*. Cette réglementation vise essentiellement les navires de type standard. Ensuite, la législation future peut dans un second niveau être anticipée. Elle concerne l'interdiction des rejets en mer des eaux polluées et particulièrement pour les navires de type volontariste. Enfin, la réglementation peut être largement anticipée par le biais d'une démarche proactive qui intègre « zéro émissions » dans l'eau et dans l'air. La législation se base alors sur le principe de précaution. Cette approche cible essentiellement les navires de type éco-conçu. Il convient d'aborder dans les sections suivantes chaque catégorie législative. Il est à noter que la législation est à intégrer dès la phase de conception du navire. Les textes réglementaires s'appliquent dès lors pour les phases d'utilisation et de fin de vie du navire, visible à la figure 4.9. Enfin, la réglementation proposée dans cette section fait partie d'une législation plus exhaustive. Les exemples les plus connus sont interprétés.



**Figure 4.9** Obligations réglementaires selon les objectifs de l'entreprise et les phases du cycle de vie (adapté de : Prinçaud, 2011, p. 98)

#### 4.6.1 Pour un respect des législations en vigueur

Les frégates de type standard sont soumises, pour respecter la législation, à divers textes réglementaires. La convention internationale MARPOL, dénommée *MARine POLLution*, s'intéresse aux rejets de déchets, aux eaux usées et aux émissions de GES dans l'atmosphère. Un navire réalisé pour accueillir une forte capacité de stockage de matériels peut augmenter son autonomie lors d'opérations armées spéciales. En effet, la *Convention MARPOL* couvre et ne limite pas les capacités énergétiques du navire (MARPOL, 1997).

En ce qui a trait aux eaux usées, cette convention a pour but de prévenir les pollutions par les navires. Toutes les sources de polluants susceptibles d'être émises par les bâtiments de surface et leurs cargaisons sont décrites dans ce texte législatif. À ce titre, l'annexe II présente une classification des substances liquides selon le type de pollution qu'elles peuvent provoquer. Ce système de classement se base sur les profils de dangers des substances chimiques pour l'homme et pour l'environnement marin. L'annexe IV définit les règles relatives à la prévention de la pollution par les eaux usées des navires.

En matière de déchets solides, cette convention stipule que les déchets et les effluents de diverses natures produits à bord doivent être stockés plus ou moins longtemps selon la distance à la côte du navire. Elle prend donc en considération la vie à bord (Jaskierowicz et autres, 2003). D'ailleurs, l'annexe V réfère aux Règles relatives à la prévention de la pollution par les ordures des navires. Quant aux émissions de GES, les gaz d'échappement des navires de type standard émettent de nombreux composés polluants, dont des particules, responsables de l'effet de serre. Le tableau 4.4 reprend les seuils limites d'émissions à ne pas dépasser d'après l'annexe VI. Ainsi, les règles relatives à la prévention de la pollution de l'atmosphère par les navires limitent les émissions de  $\text{NO}_x$  jusqu'à  $14,4 \text{ g.kWh}^{-1}$  en 2008. Cette valeur est réduite à 80 % pour 2016 selon Blosseville et Remoué (2008). En ce qui concerne les taux d'émissions de  $\text{SO}_x$ , cette annexe permet le rejet de 0,1 % en accord avec la directive 2005/33/EC de l'Union européenne et des États-Unis (Claudepierre, 2010).

**Tableau 4.4 Valeurs des émissions limites de  $\text{NO}_x$  et de  $\text{SO}_x$  pour une frégate de type standard selon la *Convention MARPOL* (tiré de : MARPOL, 1997)**

Type de polluants	Teneur selon la réglementation
$\text{NO}_x$	Après le 1 <sup>er</sup> janvier 2011, les teneurs sont de :
	14,4 $\text{g.kWh}^{-1}$ pour des moteurs inférieurs à 130 tours/min
	$44 \cdot n^{-0,23} \text{ g.kWh}^{-1}$ , où 2000 tours/min $> n \geq$ à 130 tours/min
	7,7 $\text{g.kWh}^{-1}$ pour $n \geq$ 2000 tours/min
$\text{SO}_x$ (hors zone de contrôle des émissions)	3,50 % m/m
$\text{SO}_x$ (dans les zones de contrôle des émissions)	1,00 % m/m

La législation ne cible pas uniquement les déchets et les émissions de polluants. L'emploi de substances nocives pour l'environnement a fait l'objet de la création d'un règlement en 2007. Le règlement *Registration, Evaluation, Autorisation of CHemicals* (REACH) vise à améliorer le niveau de protection de la santé humaine et de l'environnement. Il s'intéresse également à améliorer la connaissance des risques liés à l'utilisation de substances chimiques. Au cours de la phase de construction du navire, de nombreux produits chimiques sont employés. Leurs résidus peuvent se retrouver dès leur rejet initial sur le lieu de fabrication du navire, mais aussi tout au long de l'utilisation du navire. Par exemple, les peintures *antifouling*, employées comme biocide contre les indésirables parasites des coques de navires, possèdent des produits chimiques agressifs pour la flore marine. La réglementation vise à limiter leur usage. La convention Internationale sur le contrôle des systèmes anti salissures nuisibles aux coques de navires, adoptée en 2001, interdit les composés organostanniques dans ces peintures depuis 2008. Intégré dans la directive 2002/62/CE relative à la limitation de la mise sur le marché et à l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses, la convention de 2001 vise essentiellement le tributylétain (TBT) à disparaître du marché (IMO, 2008).

#### **4.6.2 Vers une anticipation des législations à venir**

Les navires de type volontariste, également soumis aux règlements des navires standard, anticipent la réglementation. Ils intègrent le rejet en mer des eaux usées en adoptant les seuils réglementaires de la *Convention MARPOL*. Celle-ci réfère à deux types de pollutions.

La pollution par les eaux hydrocarbonées ou eaux de cale provient du rejet de substances d'hydrocarbures et d'huiles dans la mer. En effet, les machines de propulsion du navire délivrent des eaux de sorties nocives pour l'environnement. Ces eaux doivent être collectées, stockées puis traitées. Les rejets des eaux de cale en mer sont gérés par la résolution Comité de la protection du milieu marin MEPC.107, adopté par l'Organisation Maritime Internationale (OMI) en 2003, qui vise à prévenir la pollution par les hydrocarbures. Cette norme, encore en vigueur, limite à 15 parties par million (ppm) leur teneur dans le cas d'un rejet en mer. En cas d'excès, ces eaux doivent être traitées avant leur évacuation en mer (OMI, 2003). L'approbation de l'OMI sur chaque navire passe par un système de contrôle continu en hydrocarbures suite au traitement des eaux de cale (OMI, 2009).

La pollution par les eaux usées, grises et noires est également soumise à cette obligation réglementaire. L'OMI a fixé des critères de pureté pour le rejet de ces eaux renforçant ainsi les performances des systèmes de traitement des eaux à bord des navires (Nicholls, 2008). La problématique du traitement de ces eaux sur les navires militaires est encore récente. La plupart des navires actuels ne comportent pas d'installations pour traiter les eaux usées à leur bord. Il faut intégrer dès la conception, en accord avec les futures réglementations, des valeurs seuils pour le rejet de micro-organismes des eaux grises et noires. Aussi, la convention sur les eaux de Ballast complète la *Convention MARPOL*, bien que non ratifiée par la France.

Enfin, la convention MARPOL renforce ses exigences réglementaires en matière de seuils limites pour les NO<sub>x</sub> et les SO<sub>x</sub>. Le tableau 4.5 traduit les valeurs de la législation.

**Tableau 4.5 Valeurs des émissions limites de NO<sub>x</sub> et de SO<sub>x</sub> pour une frégate de type volontariste selon la *Convention MARPOL* (tiré de : MARPOL, 1997)**

Type de polluants	Teneur selon la réglementation
NO <sub>x</sub>	Après le 1 <sup>er</sup> janvier 2016, les teneurs seront de :
	3,4 g.kWh <sup>-1</sup> pour des moteurs inférieurs à 130 tours/min
	9*n <sup>-0,2</sup> g.kWh <sup>-1</sup> , où 2000 tours/min > n ≥ à 130 tours/min
	2,0 g.kWh <sup>-1</sup> pour n ≥ 2000 tours/min
SO <sub>x</sub> (hors zone de contrôle des émissions)	0,50 % m/m
SO <sub>x</sub> (dans les zones de contrôle des émissions)	0,1 % m/m

Par ailleurs, le protocole de Montréal de 1987 cible une réglementation claire sur les fluides frigorigènes. Concernés par cette législation, les navires ne doivent pas utiliser de chlorofluorocarbones (CFC), de halons et de tout autre produit synthétique. Ce protocole vise aussi les importations et les exportations de produits réglementés, mais qui utilisent ces substances. Toujours d'actualité, ce protocole s'intègre encore aujourd'hui dans la lutte contre les GES. L'objectif est de diminuer l'impact sur la couche d'ozone et donc sur l'effet de serre (Actu Environnement, 2015c).

#### 4.6.3 Vers une nouvelle démarche proactive

Les industries navales désirent devancer la législation en surpassant largement les seuils réglementaires afin de construire des navires de plus en plus écologiques. Pour cette approche proactive, les entreprises s'appuient sur le principe de précaution. En effet, celui-ci s'intéresse à considérer les risques potentiels d'un produit sans avoir, avec les connaissances du moment, les certitudes scientifiques pour représenter les dangers qui y sont associés. Les industriels n'attendent pas que des mesures effectives soient mises en place pour prévenir d'un risque d'impacts irréversibles sur l'environnement marin et atmosphérique. (France, 2011)

Selon la *Convention Safety Of Life At Sea* (SOLAS), la protection de la vie humaine en mer est un enjeu important. Depuis environ 15 ans, les constructeurs militaires navals intègrent dans leurs normes de fabrication un concept de sécurité à bord des bâtiments de surface. Initialement acquis par les navires civils, cette convention a été adoptée par l'OMI en 1974. Elle a pour but d'intégrer la sécurité, la sûreté et l'exploitation des navires. (Desclèves, 2006)

La *Convention MARPOL* met en évidence une volonté d'aller plus loin avec des valeurs seuils encore plus contraignantes. Une frégate de type éco-conçu prend en considération des taux d'émissions de NO<sub>x</sub> et de SO<sub>x</sub> plus sévères au cours des prochaines années.

#### **4.6.4 Analyse réglementaire de la fin de vie des navires**

Les navires, par leur composition, constituent des risques pour l'environnement et la sécurité des personnes et des biens. La présence de composés chimiques est un facteur de risque pour l'Homme. Jusqu'à présent, la législation maritime ne prenait pas en compte la dernière partie du cycle de vie d'un navire, à savoir son démantèlement et sa destruction. Encore nébuleux dans ce domaine, la législation internationale propose un cadre réglementaire intéressant pour toute entreprise de construction maritime. Les lois suivantes ne sont toutefois pas encore toutes entrées en vigueur.

Perçu comme un ensemble de déchets, le navire est soumis à la politique de gestion des déchets. Plusieurs lois réfèrent à cette politique. Tout d'abord, la *Convention de Bâle* sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination, adoptée en mars 1989, règlemente les mouvements des déchets, assure leur gestion et leur élimination de manière la plus écologique possible. La convention définit d'ailleurs un déchet comme une « substance ou objet qu'on élimine, qu'on a l'intention d'éliminer ou qu'on est tenu d'éliminer, en vertu des dispositions du droit national ». (PNUE, 1992)

Ensuite, cette convention a laissé la place à des décisions européennes et transfrontalières basées sur l'évaluation du risque et la valorisation des déchets dans la zone de l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE). Celles-ci émettent la distinction entre un déchet dangereux, destiné à être valorisé et qui fait parti d'une liste verte, et un déchet dangereux appartenant à une liste orange et rouge. En 2001, le système de contrôle s'est vu révisé pour passer à deux listes, à savoir verte et orange. La convention entend par liste verte tous les déchets de bateaux considérés comme non dangereux et visés par la catégorie « Autres déchets contenant des métaux ». Cette dernière cible, tous les navires et autres engins flottants en voie d'être démantelé, vidés de leur cargaison et de tout matériau utile à leur fonctionnement susceptible d'être considéré comme substance ou déchet dangereux. L'Europe reprend les décisions de l'OCDE et ajoute des procédures pour mieux transférer les déchets en dehors de l'Union européenne. Abrogés, elles sont mises en pratique notamment par le règlement n°1013 (CE) de juin 2006 relatif au transfert des déchets depuis 2007. Actuellement, il apparaît comme un des seuls textes réglementaires en vigueur sur la problématique du démantèlement des navires. (PNUE, 1992)

Par ailleurs, un navire peut être qualifié de « déchet » selon les différents textes réglementaires considérés. Mais, la qualification des navires militaires en fin de vie n'est juridiquement pas très définie. Par exemple, en 2006, le Conseil d'État français désigne la coque du porte-avion « Clémenceau » comme un objet concerné par l'annexe I de la réglementation communautaire.

La notion de recyclage des navires a aussi fait l'objet de directives par l'Organisation Maritime Internationale (OMI) en 2003. Celles-ci sont orientées de sorte à aider les parties prenantes à employer les meilleures pratiques pour tenir compte du recyclage des navires, tout au long de leur cycle de vie. L'OMI désire que le constructeur anticipe, dès la conception, l'élimination par le recyclage. Il propose pour cela des outils afin de faciliter ce mouvement comme l'élaboration d'un « passeport vert » certifiant l'état de recyclabilité de tout bateau neuf. Ce document, réalisé dès la conception du navire et complété tout au long de la vie du navire, contient toutes les informations utiles à la localisation des substances dangereuses. Le constructeur devient responsable des différents matériaux dangereux à bord du navire. Tous ces éléments doivent être retirés en vue de la préparation du navire à sa destruction. (OMI, 2015)

Enfin, le démantèlement total ou partiel des navires militaires est possible grâce aux recommandations apportées par la conférence des Parties à la *Convention de Bâle* en 2002. Les institutions internationales proposent de préparer, dépolluer, démanteler le navire puis de gérer et traiter le flux de déchets par élimination ou valorisation.

La fin de vie est un sujet intéressant en raison du caractère recyclable et donc économique des matières premières. La raréfaction des ressources et le coût croissant des matières premières sont deux éléments suffisants pour encourager les constructeurs navals à intégrer la gestion en fin de vie de leurs navires dans leurs priorités.

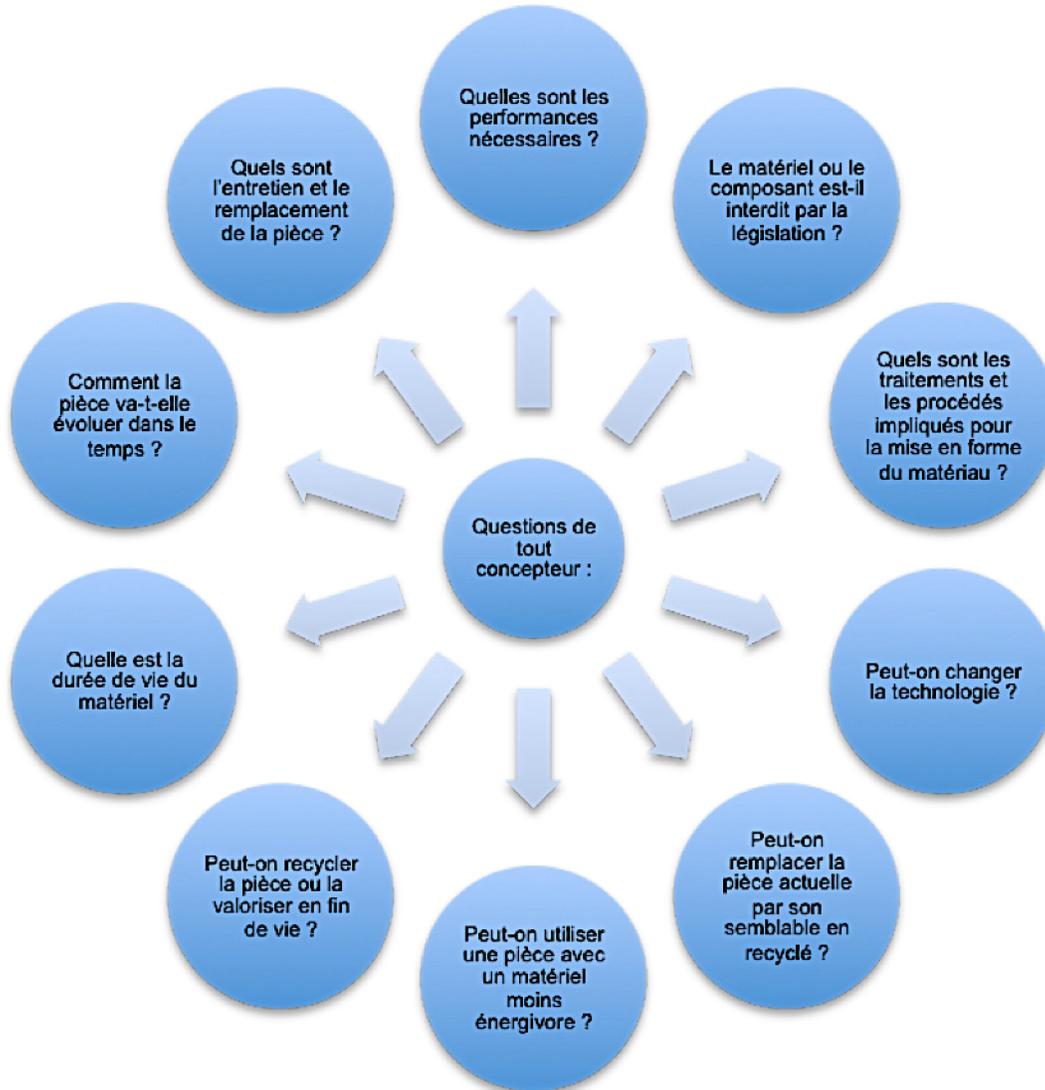
#### **4.7 Stratégies d'éco-conception**

Cette partie est la suite logique et analytique de l'évaluation des impacts du cycle de vie du navire. L'onglet « Éco-conception » doit servir à aider toute entreprise de construction militaire navale à répondre à ses objectifs. Pour ce faire, certaines pistes d'améliorations en éco-conception sont proposées et décrites dans cette partie à partir du meilleur rapport coût-efficacité. Ces éléments de réflexion et de recommandations ne doivent pas être pris comme des contraintes de conception, mais davantage comme des pistes d'amélioration des impacts environnementaux d'une frégate sur l'ensemble de son cycle de vie. Ainsi, l'outil se dévoile comme une aide à la prise de décision où chaque stratégie se base sur un calcul de réduction des impacts. À des fins de compréhension, un tableau résume chaque stratégie d'éco-conception et les actions à mettre en place pour atteindre les objectifs fixés par l'entreprise. L'annexe 4 de cet essai regroupe l'ensemble de ces tableaux et présente des exemples concrets à réaliser. La réalisation de ces illustrations repose sur une réflexion appuyée d'après un document de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (2015).

##### **4.7.1 Concevoir et réaliser un navire**

La réalisation d'un navire requiert de respecter adéquatement la réglementation et les normes de fabrication. Toutefois, certains bâtiments de surface sont conçus, entre autre, à l'écart de la réglementation du Code du travail. Les normes de construction ne sont pas toujours respectées, mais le

produit abouti est finalement réalisé. Plusieurs cas de construction de navires, notamment dans le domaine civil, passent illégalement ces critères avant leur mis à flot. Il convient dès lors pour le concepteur de navires de se poser un certain nombre d'interrogations en amont de la phase de fabrication. La figure 4.10 représente un exemple de questions dont chaque concepteur de produits devrait s'interroger s'il souhaite répondre aux exigences de son client et aux besoins de l'entreprise.



**Figure 4.10** Questionnement à apporter lors de la conception d'un produit

L'intérêt est de réduire par une approche « produit » les impacts générés par la phase de fabrication par des actions directement liées à la nature et aux quantités de matériaux employés lors des choix de conception. Par ailleurs, il est possible d'agir directement sur les outils de production grâce à la gestion durable des rejets de polluants (émissions, effluents et déchets) et par l'optimisation des procédés.

#### 4.7.2 Concevoir et réaliser un navire de type standard

Afin de répondre à l'objectif de construire une frégate de type standard, certaines stratégies à mettre en place sont proposées.

Une première stratégie à développer est de réduire la demande énergétique du navire. Face aux exigences de réduction de l'impact liées aux activités navales sur l'environnement, l'industrie maritime doit s'adapter pour répondre à la réglementation et maîtriser sa dépense énergétique (France, 2011). Cette stratégie est une réponse à l'émission des gaz d'échappement du navire. Par son activité, les moteurs de propulsion et l'usine électrique entraînent des émissions de gaz nocives pour l'environnement. Plusieurs actions sont possibles pour réduire la demande énergétique du navire. Ainsi, les aspects de motorisation, du système propulsif et l'hydrodynamisme du navire sont étudiés. Le navire tout électrique est également une option envisagée.

La réalisation de cette première stratégie repose sur l'action de réduire la consommation de carburant. Pour le moteur diesel, l'objectif est de diminuer cette demande en combustible et, par ce biais, les émissions atmosphériques polluantes. La réalisation de cette action sous-entend un certain bénéfice économique pour l'entreprise. En diminuant la consommation de carburant, celle-ci diminue dès lors ses coûts liés à l'énergie. Pour réaliser cette action, l'entreprise doit réfléchir à redimensionner les systèmes énergétiques, à redéfinir leur utilisation et à l'emploi des technologies les plus novatrices et respectueuses de l'environnement.

Le tableau 4.6 donne un ordre de grandeur dans le rendement des types de moteurs utilisés dans le domaine naval. Il est possible de constater que les moteurs diesel, gaz diesel et le système hydrogène-pile à combustible possèdent les meilleurs rendements. Il est à noter que pour un type de moteur, le rendement varie en fonction de la vitesse, de la taille du navire et du couple délivré.

**Tableau 4.6 Rendements thermiques de moteurs pour le domaine naval** (tiré de : France, 2011, p. 81)

Spécificités de réduction	Seuil visé pour un navire de type			
	Simple	Standard	Volontariste	Éco-conçu
Type de moteurs				
Diesel basse vitesse (60-250 tours/min)	0 %	48 %	51 %	54 %
Diesel moyenne vitesse (250/1000 tours/min)	0 %	43 %	46,5 %	50 %
Diesel haute vitesse (1000 tours/min)	0 %	40 %	41,5 %	43 %
Turbine à gaz (10 MW)	0 %	32 %	35,5 %	39 %
Turbine à vapeur	0 %	30 %	33,5 %	37 %

**Tableau 4.6 Rendements thermiques de moteurs pour le domaine naval** (tiré de : France, 2011, p. 81) (suite)

Spécificités de réduction	Seuil visé pour un navire de type			
	Simple	Standard	Volontariste	Éco-conçu
Type de moteurs				
Moteur gaz-diesel, moyenne vitesse	0 %	43 %	46,5 %	50 %
Turbine gaz-vapeur	0 %	40 %	43,5 %	47 %
Moteur à gaz (cycle d’Otto), moyenne vitesse	0 %	40 %	43 %	46 %
Moteur à gaz (cycle d’Otto), haute vitesse	0 %	37 %	38,5 %	40 %
Hydrogène – pile à combustible	0 %	45 %	47,5 %	50 %

Les motoristes tentent de modifier ces rendements en testant différents moteurs de dernière génération. Leurs efforts se concentrent essentiellement sur l’optimisation des éléments du moteur afin d’assurer une combustion idéale. Les chambres de combustion, les pistons, les valves électro-hydrauliques sont modifiées pour que le moteur fonctionne au meilleur rendement (Herranen et autres, 2007; Herrmann et autres, 2007; Kallio et autres, 2007). Une autre option pour réduire la consommation de carburant est un contrôle et une gestion électronique du système d’injection de gazole. Codan et Mathey (2007) et Wik et Hallback (2007) pensent qu’une modification des turbocompresseurs à vitesse variable et des turbochargeurs influence grandement le rendement des moteurs. D’autres solutions sont apparues avec le temps. On retiendra une nouvelle conception des pompes et des systèmes auxiliaires intégrant la puissance et le refroidissement des moteurs. Aussi, le couplage des machines entre elles permet d’atteindre un meilleur rendement que si les machines étaient isolées.

Cette stratégie repose aussi sur la modification complète du moteur. Ainsi, un moteur de type *isoengine* accentue le rendement thermique et électrique du navire contrairement aux moteurs plus conventionnels. La particularité de ce type de motorisation réside dans sa capacité à utiliser diverses sources de carburants allant du gaz naturel aux biocarburants gazeux. Encore au stade d’essai, les futurs navires militaires ne pourront être équipés qu’en 2024 selon Buckingham (2009). D’autres moteurs, comme les hydrojets, sont utilisés par les ravitailleurs de plateformes pétrolières ou pour des navires de transport de passagers. Boardman et autres (2005) a montré que des remorqueurs de la marine américaine équipés de moteurs hydrojets avaient davantage de rapidité, de facilité de manœuvre, de performances que s’ils n’en possédaient pas. Évoqué comme une solution moins polluante que ces concurrents, ce moteur est une source d’avenir.

Une seconde action est possible pour répondre à la réduction de la demande énergétique du navire, à savoir la redéfinition du système énergétique du produit. En agissant sur le système de propulsion du bâtiment de surface, il est possible d’agir sur la consommation en énergie du navire. Ainsi, France (2011)

pense qu'un système propulsif amélioré, tel qu'un système hydrogène-pile à combustible augmente le rendement énergétique du navire. Par ailleurs, l'emploi de technologies et d'équipements moins énergivores est également une solution parmi d'autres.

La diminution de l'énergie consommée par le navire repose également sur l'action de réduire la résistance à l'avancement du navire, c'est-à-dire à améliorer l'hydrodynamisme. Pour réduire la demande en énergie, le concepteur doit penser à réduire la résistance à l'avancement du navire. En effet, lors de missions de combat, la frégate possède un rythme variable de vitesse. Celle-ci doit pouvoir aller vite lors d'attaques et de missions de furtivité, mais aussi ralentir lors de missions locales. Ceci se traduit par une diminution de la résistance au frottement en cas de faible vitesse et une diminution de la résistance aux vagues en cas de grande vitesse.

Plusieurs pistes d'améliorations sont envisageables. Tout d'abord, il est possible de redéfinir et optimiser la forme du navire. Hollenbach et Friesch (2007) ont estimé que la consommation de carburant peut être atténuée de 7 à 25 % simplement par un redimensionnement du navire. Ensuite, il est intéressant d'utiliser des éléments hydrodynamiques, tels qu'une étrave. Cette pièce du navire prolonge la quille vers l'avant pour augmenter l'avancement du navire (CMA-CGM, 2015). Selon ce constructeur naval, la présence d'un bulbe d'étrave réduirait de moitié les émissions de CO<sub>2</sub>. L'utilisation de revêtement sur la coque du navire à l'aide de peintures *antifouling* améliore aussi sensiblement l'hydrodynamisme et donc la consommation de carburant du navire. Par exemple, l'utilisation de peinture à base de silicone diminue la rugosité de la coque du navire selon Cordier et Morand (2009).

Selon Aldred et Clare (2008), lorsqu'une surface est immergée dans un milieu naturel marin, des bio-salissures marines apparaissent. Celles-ci se composent d'organismes vivants et de micro-organismes marins et se fixent sur la surface des navires. En supplément de ralentir les performances des navires, entre autres la perte de vitesse et la manoeuvrabilité diminuée, les bio-salissures attaquent l'intégrité des structures et des matériaux par la biocorrosion. Source de déséquilibre écologique avec le déplacement d'organismes exotiques, ceux-ci accentuent la rugosité de la surface du navire, augmentent la résistance à l'avancement, dégradent les performances hydrodynamiques et augmentent la demande en ressources énergétiques (Koehl, 2007; Goldie, 2009). Avec une période de mouillage longue au port, la protection des coques des navires devient un enjeu nécessaire. L'intégration de peintures anti salissures constitue une barrière entre la surface du navire et le milieu marin. Depuis plus de cinquante ans, l'apparition de revêtements à composés métalliques a amélioré la durée de vie de ces peintures. Toutefois, la présence de tributylétain dans ces compositions a dû être restreint en 1989 par la directive européenne 89/677/CEE en raison du caractère toxique pour les organismes marins (JORF, 1989; Fay et autres, 2008).

Pour contrer l'effet nocif de ces peintures sur l'environnement marin, des solutions provenant du milieu vivant sont apparues. En effet, la pharmacognosie marine étudie depuis plusieurs années la possibilité d'extraire des substances toxiques d'algues et d'espèces peu mobiles dites sessiles en vue de produire

des substances antisalissures (Dobretsov et autres, 2006; Fay et autres, 2008; Viano, 2010). Par exemple, des revêtements anti-adhésion à base de fluoropolymères ou de silicones, favorisent la réduction de l'interaction entre la coque et les salissures marines. Bien qu'à effet partiel, pour une vitesse rapide du navire, ces revêtements sont peu durables et peu résistants.

Des peintures à base de microbulles d'air accentuent les performances de vitesse des navires d'après Buckingham (2009). Par ailleurs, de nombreuses expérimentations en laboratoire sur la lubrification à l'air des surfaces mouillées sont des voies prometteuses pour réduire la résistance, des frottements de l'eau sur la coque du navire. Matveev (2003) propose ainsi de créer une couche d'air entre l'eau et la coque du bateau. D'autres scientifiques ont relevé également le défi en mettant au point des surfaces superhydrophobes pour améliorer le glissement de l'eau sur la surface du navire. Par biomimétisme, il s'agit d'apporter le caractère hydrophobe de végétaux, comme le nénuphar, la tulipe ou encore le lotus, dans des composants de peinture (Reyssat et Quéré, 2006; Guillot et Meyer, 2008). À titre informatif, la peau des dauphins a révélé une surface lisse, source d'inspiration pour la réalisation de revêtements anti-salissures des coques de navires (Weisbuch, 2001). Une autre solution envisageable, la mise en place de bonnes pratiques dans la conduite du navire, évite le gaspillage et les pertes d'énergie.

Enfin, l'amélioration de l'hydrodynamisme passe par la redéfinition du système de propulsion. Selon Choi (2008), des hélices à pas variable en matériaux composites allègent le poids du navire. La présence d'ailerons, d'ailettes et de déflecteurs de vortex au gouvernail réduisent les turbulences et facilitent l'écoulement sous le navire. Eskola (2008) propose même de combiner plusieurs hélices à large diamètre. Le tableau 4.7 montre la diminution possible entre la résistance à l'avancement et les solutions hydrodynamiques possibles.

**Tableau 4.7 Estimation de la diminution de la résistance à l'avancement du navire selon différentes solutions hydrodynamiques** (tiré de : Choi, 2008, p. 32)

Spécificités de réduction	Seuil visé pour un navire de type			
	Simple	Standard	Volontariste	Éco-conçu
<b>Hydrodynamisme</b>				
Optimisation de la forme du navire	0 %	1 %	2,5 %	4 %
Optimisation de l'interaction entre l'hélice et le gouvernail	0 %	3 %	4,5 %	6 %
Diminution de la rugosité de surface de la coque	0 %	1 %	3,5 %	6 %
Création de microbulles d'air	0 %	1 %	2 %	3 %
Lubrification à l'air	0 %	5 %	10 %	15 %

La quatrième action pour diminuer la demande d'énergie du navire vise à réduire les pertes énergétiques.

Un navire autonome en énergie peut récupérer des sources de chaleur présentes dans le navire. Par exemple, il serait intéressant d'utiliser des pompes à chaleur ou la thermo-électricité. Un navire isolé de sources froides extérieures, équipé d'un système de ventilation adapté aux conditions climatiques ambiantes, d'un système d'éclairage « basse consommation » et d'un système « mise en veille » des équipements répond à ces critères de réduction en demande énergétique. Une frégate est alimentée par des moteurs thermiques. L'énergie perdue peut être récupérée pour produire de la vapeur d'eau destinée à la vie à bord ou encore à alimenter des turbines à gaz génératrices d'électricité (Buckingham, 2009).

La figure 4.11 résume la stratégie employée en éco-conception pour répondre à l'objectif de l'entreprise de concevoir et de réaliser un navire de type standard.

Objectifs de l'entreprise	Propositions stratégiques en éco-conception	Actions
Concevoir et réaliser un navire de type standard	Réduire la demande énergétique du navire	Réduire la consommation de carburant
		Redéfinir le système énergétique du navire
		Réduire la résistance à l'avancement du navire (améliorer l'hydrodynamisme)
		Réduire les pertes énergétiques

**Figure 4.11 Proposition stratégique d'éco-conception dans le cas de la réalisation d'un navire de type standard**

L'adoption d'une telle stratégie permet au client d'être conforme à la réglementation sans réelle volonté de réaliser un effort pour l'environnement. Mais, il est à noter qu'au cours des dix prochaines années, un navire de ce type ne sera plus conforme (Prinçaud, 2011).

#### 4.7.3 Concevoir et réaliser un navire de type volontariste

Pour répondre au choix de l'entreprise de construire un navire de type volontariste, une première stratégie vise à diminuer les émissions de GES du navire. Ces gaz, responsables en grande majorité du réchauffement climatique actuel, possèdent des taux d'émissions qui peuvent être réduits. Cela fait l'objet d'une première action, à savoir la modification de la composition des émissions d'échappement en vue de diminuer leur quantité dans l'atmosphère.

La *Convention MARPOL*, à l'annexe VI, définit des règles strictes dans l'émission de NO<sub>x</sub> et de SO<sub>x</sub>. Pour répondre à ces obligations, plusieurs pistes de solutions peuvent être considérées. Pour réduire la composition en NO<sub>x</sub> et en SO<sub>x</sub>, le choix du carburant est un critère important, car le navire doit pouvoir s'alimenter en énergie partout dans le monde. La plus utilisée demeure l'énergie issue des ressources

fossiles, à savoir le fuel. Ce dernier a une composition qui influence la quantité et la composition chimique des rejets polluants des moteurs du navire. Pour garantir leurs diminutions, il est intéressant d'étudier et de mettre au point des fuels à basse teneur en soufre (Man B&W Diesel A/S, 2005). À cette fin, la société anglaise *Chevron Fuel & Marine Marketing* (FAMM) a développé l'additif Infineum F 7 450 pour compléter le gazole qui alimente les moteurs de porte-conteneurs. Cet additif a la capacité d'assurer une meilleure combustion, une diminution de la concentration des fumées noires, une prévention contre les dépôts et les frottements et une durée de vie plus longue des moteurs (Spivey, 2007). Ensuite, le choix d'une motorisation moins émettrice d'oxydes ou d'un procédé novateur en énergie électrique (pile à combustible) favorise grandement cette réduction en SO<sub>x</sub> et en NO<sub>x</sub>. Aussi, France (2011) affirme que l'adjonction d'un système de purification des fumées dans le circuit énergétique pouvait apporter un bénéfice dans la lubrification des pièces des moteurs, évitant ainsi leur usure. En récupérant les gaz chauds de la combustion des énergies fossiles, cet auteur estime entre 10 et 20 % la réduction des émissions de NO<sub>x</sub> et de CO<sub>2</sub>. À faible température, les gaz émettent moins de gaz nocifs pour l'environnement. Le tableau 4.8 propose une estimation d'une diminution possible des émissions en CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, en hydrocarbure (HC) et en matières particulaires selon différentes méthodes. Certains auteurs, tels que Eckert et autres (2007) montrent que les fabricants de moteurs diesel développent de plus en plus des solutions comme l'injection de fuel émulsifié à l'eau ou encore l'emploi de moteurs gaz-fuel. Certaines entreprises proposent, à l'image du groupe allemand Heinzmann (2008), la possibilité de recirculation des gaz en vue de réduire le champ des émissions dans l'environnement. Enfin, d'autres techniques ont été mises au point pour utiliser la mer comme source dépolluante. La technique de purification des fumées par eau de mer a été décrite par Hassellöv et Turner (2008).

**Tableau 4.8 Réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, HC et particules selon différentes méthodes** (tiré de : Sharma et Pal, 2006, p. 36)

Spécificités de réduction	Seuil visé pour un navire de type			
	Simple	Standard	Volontariste	Éco-conçu
<b>Émissions de CO<sub>2</sub></b>				
Récupération de chaleur (WHR)	0 %	10 %	15 %	20 %
Amélioration du rendement du moteur	0 %	1 %	2 %	3 %
<b>Émissions de NO<sub>x</sub></b>				
Récupération de chaleur (WHR)	0 %	5 %	7,5 %	10 %
Amélioration du rendement du moteur	0 %	10 %	20 %	30 %
Utilisation d'un moteur à gaz-fuel	0 %	10 %	50 %	90 %
Injection d'émulsion fuel-eau	0 %	30 %	40 %	50 %

**Tableau 4.8 Réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, HC et particules selon différentes méthodes** (tiré de : Sharma et Pal, 2006, p. 36) (suite)

Spécificités de réduction	Seuil visé pour un navire de type			
	Simple	Standard	Volontariste	Éco-conçu
<b>Émissions de NO<sub>x</sub></b>				
Injection directe d'eau à haute pression dans les cylindres (avant combustion)	0 %	40 %	50 %	60 %
Injection continue avant les cylindres d'un mélange d'air comprimé avec un brouillard aqueux	0 %	10 %	20 %	30 %
Humidification de l'air d'admission	0 %	60 %	70 %	80 %
Recirculation des gaz d'échappement (EGR)	0 %	30 %	40 %	50 %
Réduction catalytique sélective (SCR)	0 %	90 %	94,5 %	99 %
<b>Émissions de SO<sub>x</sub>, CO et HC</b>				
Injection d'émulsion fuel-eau - cas de HC et CO	0 %	30 %	40,0 %	50 %
Emploi d'un gasoil à bas taux de soufre (1,5 % au lieu de 2,7 %) - Cas du SO <sub>2</sub>	0 %	20 %	30,0 %	40 %
Emploi d'un gasoil à bas taux de soufre (0,5 % au lieu de 2,7 %) - Cas du SO <sub>2</sub>	0 %	40 %	60,0 %	80 %
Réduction catalytique sélective (SCR) - Cas de HC et CO	0 %	70 %	80,0 %	90 %
Purification des gaz d'échappement (eau de mer) - Cas du SO <sub>2</sub>	0 %	90 %	92,5 %	95 %
<b>Émissions des particules</b>				
Injection d'émulsion fuel-eau	0 %	10 %	30,0 %	50 %
Injection directe d'eau à haute pression dans les cylindres (avant combustion)	100 %	10 %	7,5 %	5 %
Emploi d'un gasoil à bas taux de soufre (1,5 % au lieu de 2,7 %)	0 %	10 %	15,0 %	18 %
Emploi d'un gasoil à bas taux de soufre (0,5 % au lieu de 2,7 %)	0 %	10 %	15,0 %	20 %
Injection continue avant les cylindres d'un mélange d'air comprimé avec un brouillard aqueux	0 %	0,05 %	0,15 %	0,25 %
Humidification de l'air d'admission	0 %	10 %	30,0 %	50 %
Recirculation des gaz d'échappement (EGR)	0 %	5 %	7,5 %	10 %
Réduction catalytique sélective (SCR)	0 %	10 %	20,0 %	30 %
Purification des gaz d'échappement (eau de mer)	0 %	20 %	50,0 %	80 %

Enfin, l'installation de technologies correctives apporte la possibilité de modifier le contenu des émissions avant leurs sorties dans l'environnement. Celles-ci sont, par exemple, le traitement des gaz d'échappement au sein du navire ou encore la mise en place de filtres à particules.

Une seconde stratégie peut être mise en place, telle que la réduction des impacts de la « vie à bord ». La préservation de l'environnement ne passe pas seulement par la réduction de la consommation d'énergie et par la diminution des émissions atmosphériques, mais aussi par la prise en compte des rejets et le traitement des déchets de tout type.

Les déchets peuvent être gérés de manière efficace tant pour les résidus solides que pour les effluents. De natures diverses, les déchets produits à bord sont stockés pour une période de temps plus ou moins longue dépendamment de la distance à la côte du navire. La plupart de ces déchets sont des composés solides. Pour anticiper ce problème, le concepteur du navire peut réduire la quantité et la composition de ses déchets. Cette diminution est synonyme de choisir des équipements nécessitant le minimum d'entretien à bord et des biens consommables peu nocifs pour l'environnement. Le concepteur peut également améliorer les capacités de stockage ou traiter au mieux les déchets. Pour mieux gérer les déchets solides présents à bord du navire, un tri sélectif en amont réalisé par les membres de l'équipage facilite la collecte vers les centres de dépôt les plus proches (Jaskierowicz et autres, 2003). Le tableau 4.9 recense les différentes solutions possibles de tri et de recyclage des déchets.

**Tableau 4.9 Systèmes de gestion des déchets selon leur nature** (adapté de : Delitek, 2015, p. 1)

Spécificités de réduction (Gestion du déchet)	Seuil visé pour un navire de type				Références
	Simple	Standard	Volontariste	Éco-conçu	
Compacter et recycler					Delitek, 2015
Cartons et plastiques (PVC)	0 %	10 %	50 %	90 %	
Broyage - compacter					
Filtres et huile usagés, pots de peinture inutilisés, verre	0 %	10 %	50 %	90 %	Marx et autres, 2006
Incinération					
Papiers, cartons, textiles	100 %	90 %	50 %	10 %	Kaldas et autres, 2006
Destruction par arc plasma					
Déchets de combustibles	100 %	90 %	50 %	10 %	Smith et Day, 2005
Incinérateur par pyrolyse					
Déchets solides et alimentaires	100 %	90 %	50 %	10 %	

Dans le cas des effluents, il est préférable d'éviter les rejets en mer. Dans la partie basse des navires, la cale abrite des eaux et des fluides issus des équipements opérationnels comme les moteurs ou les systèmes de propulsion. Ces eaux contiennent des éléments d'huile, de graisse, de fuels, de surfactants et de traces de métaux, etc. Face au caractère nocif et dangereux pour l'environnement, les hydrocarbures de ces eaux doivent être soumis à un traitement physico-chimique pour répondre à la

législation. La gestion et le contrôle de ces dérivés du pétrole ont été développés au travers du système intégré *Automated Oil Pollution Abatement* (AOPA) pour les eaux huileuses des navires de l'US Navy (Hopko, 2009).

D'autres rejets liquides doivent être considérés afin d'éviter toute éventuelle pollution des eaux en mer. Parmi ceux-ci, les eaux usées grises sont souvent chargées en matières polluantes non infectieuses, mais qui perturbent la qualité des eaux. Au contraire, les eaux noires contiennent des agents bactériens issus généralement de déchets médicamenteux. Ils possèdent des molécules qui peuvent perturber le système endocrinien des animaux marins. Plusieurs solutions existent pour contrer la diffusion de ces pollutions dans les océans. En 2006, Thomas et Jaglin expliquent qu'il existe certains procédés physico-chimiques et/ou bactériologiques pour traiter les bactéries et les micro-organismes des eaux usées, grises et noires. Soumis à l'action filtrante du sable et de différentes membranes puis à l'action de produits chimiques et aux rayons ultraviolets (UV), les micro-organismes sont dégradés et transformés en biomasse par un réacteur biologique à membrane. D'autres traitements combinent cette biodégradation avec une ou plusieurs étapes de coagulation, floculation, oxydation, etc. Le tableau 4.10 compare deux types de traitement pour les eaux grises et noires. Le traitement physico-chimique apporte de nombreuses solutions en comparaison du traitement biologique. Peu onéreux et rapide à mettre en place, le traitement physico-chimique est idéal pour les navires de petites et moyennes tailles. Au contraire, les navires de grandes tailles doivent s'adapter pour accueillir un traitement biologique des eaux usagées (Thomas et Jaglin, 2006; Chen, 2007).

**Tableau 4.10 Comparaison entre deux systèmes de traitement des eaux grises et noires** (tiré de : Markle, 2006)

Spécificités de réduction	Seuil visé pour un navire de type				Traitement biologique	Traitement physico-chimique
	Simple	Standard	Volontariste	Éco-conçu		
<b>Traitement des eaux usées</b>						
Temps d'incubation	100 %	75 %	50 %	25 %	> 168 heures	Aucun
Temps de traitement	100 %	75 %	50 %	25 %	Long	Court
Encombrement	100 %	75 %	50 %	25 %	Important	Faible
Sensibilité aux produits chimiques	100 %	75 %	50 %	25 %	Importante (biomasse)	Faible
Intervention d'un opérateur	100 %	75 %	50 %	25 %	Fréquente	Peu fréquent
Désinfection	100 %	75 %	50 %	25 %	UV ou chlore	Chlore
Remplacement des membranes	100 %	75 %	50 %	25 %	2 à 5 ans	-
Complexité du procédé	100 %	75 %	50 %	25 %	Élevée	Peu élevée

De nombreuses entreprises sous-traitantes proposent actuellement des systèmes de traitement des eaux usées. Ainsi, les eaux grises et noires de la frégate britannique de type *23 HMS Grafton* sont traitées par un bioréacteur membranaire (Smith et Day, 2005).

Pour parvenir à réduire au maximum les impacts dus aux déchets solides et liquides, il est possible d'améliorer les capacités de stockage du navire. Mais, il faut faire face à différentes contraintes d'aménagement. En effet, les espaces sont restreints à bord et les distances sont réduites par rapport aux lieux de production de déchets. Les zones d'évacuation doivent respecter les conditions d'hygiène et de salubrité, en particulier, pour les zones réfrigérées. Pour ce faire, la dimension des installations et des locaux pour la vie à bord doit être adéquatement ajustée. Le choix de conception des installations et des locaux de vie est réalisé à condition de respecter les normes d'habitabilité et de ne pas être une contrainte pour l'usager. Ainsi, le marin doit pouvoir suivre ses habitudes alimentaires, ses loisirs selon sa morphologie. Il ne doit pas être soumis aux contraintes spatiales. Pour agir sur ce manque d'espace à bord, il est possible d'imaginer un regroupement des locaux de vie avec une réduction des réseaux de câbles et de matériaux isolants.

La figure 4.12 résume l'ensemble de ces stratégies dans le cas d'une démarche de type volontariste. Les navires issus de cette conception respectent la réglementation en vigueur et apportent un léger changement aux impacts environnementaux.

Objectifs de l'entreprise	Propositions stratégiques en éco-conception	Actions
Concevoir et réaliser un navire de type volontariste	Diminuer les émissions de GES du navire	Modifier la composition des émissions d'échappement
	Réduire les impacts de la « vie à bord »	Gérer efficacement les déchets et les effluents
		Améliorer les capacités de stockage

**Figure 4.12 Proposition stratégique d'éco-conception dans le cas de la réalisation d'un navire de type volontariste**

La démarche volontariste doit cependant faire face à des coûts de plus en plus exigeants, ce qui bloque son développement. Prinçaud (2011) émet l'hypothèse que des lacunes de connaissances technologiques de la part du client freinent la progression d'une telle démarche. L'amélioration d'une démarche standard à une démarche volontariste requiert souvent des changements dans les habitudes de travail, à savoir dans l'emploi des matériaux et des composants. Mais, la plupart des clients doivent faire face à des contraintes temporelles et financières dans la formation de son personnel à l'utilisation de nouveaux matériaux.

#### 4.7.4 Concevoir et réaliser un navire de type éco-conçu

Face aux règles nationales et internationales sur l'environnement et aux nécessités du marché économique, les industriels de la construction de navires civils et militaires sont fortement incités à adapter leurs produits et leurs matériels. Pour rester en accord avec la tendance, les constructeurs tentent de développer des bateaux les plus écologiques possible. Certains d'entre eux ont été réalisés et fonctionnent. Au cours de la dernière décennie, de nombreux projets ont été créés dans l'objectif de concevoir des navires optimaux intégrant l'ensemble des dimensions environnementales. Économiques, opérationnels, sûrs, propres et intelligents sont des adjectifs caractérisant au mieux ces bâtiments de surface.

Les navires éco-conçus font appel à différentes stratégies d'éco-conception. Parmi celles proposées dans le cadre de cet essai, la première s'intéresse à réduire la demande énergétique du navire. Pour y parvenir, il est possible d'agir sur la consommation du navire. La transition puis l'adoption de nouvelles sources énergétiques sont une voie d'avenir selon plusieurs auteurs.

La diminution de la consommation de carburant passe par l'emploi raisonnable de l'énergie électrique. Concevoir un navire « tout électrique » a pour but de pourvoir en énergie les moyens de propulsion, les systèmes d'armes et les équipements pour la vie à bord. De nombreux navires sont la preuve qu'il est possible de concevoir et réaliser des navires électriques. Filliau (2003), Hodge et Mattick (2008) et Lundquist (2009) recensent ceux-ci à travers le monde. Ainsi, de nombreuses frégates britanniques ont été construites comme les porte-avions de classe *Queen Elizabeth* ou les frégates antiaériennes T45. L'Allemagne et la France ont également fait preuve d'innovation avec les navires *World Future Energy Summit* (WFES) et *Entrecasteaux*. Les États-Unis ont aussi construit le bâtiment d'assaut *USS Makin Island* ou LDH 8. Source d'intérêt pour de nombreuses entreprises, cette vision repose sur la capacité à utiliser des technologies de stockage de l'électricité. Pour cela, l'apport en énergie doit être continu, transitoire ou simplement impulsif, c'est-à-dire durer quelques secondes. Certaines technologies mettent en œuvre les obligations pour le navire de fournir une énergie sur ces trois échelles de temps. Présentées au travers du tableau 4.11, elles définissent un ordre de grandeur dans la capacité de stockage de l'énergie, mais aussi dans le temps de réponse.

**Tableau 4.11 Capacités de stockage et temps de réponse de quelques technologies de stockage de l'électricité** (tiré de : Benchrifa et autres, 2007, p. 105)

Spécificités de réduction	Seuil visé pour un navire de type				Temps de réponse
	Simple	Standard	Volontariste	Éco-conçu	
<b>Capacité de stockage de l'électricité</b>					
Pile à combustible (hydrogène liquide à 23 K)	0 %	10 %	50 %	100 %	≈ 10 <sup>2</sup> s
Pile à combustible (hydrogène comprimé à 200-350 bars)	0 %	10 %	50 %	100 %	≈ 10 <sup>1</sup> s

**Tableau 4.11 Capacités de stockage et temps de réponse de quelques technologies de stockage de l'électricité** (tiré de : Benchrifa et autres, 2007, p. 105) (suite)

Spécificités de réduction	Seuil visé pour un navire de type				Temps de réponse
	Simple	Standard	Volontariste	Éco-conçu	
Capacité de stockage de l'électricité					
Volant d'inertie	0 %	10 %	50 %	100 %	$\approx 10^0 \text{ s} - 10^1 \text{ s}$
Batterie au lithium	0 %	10 %	50 %	100 %	$\approx 10^{-1} \text{ s}$
Supraconducteur	0 %	10 %	50 %	100 %	$\approx 10^{-2} \text{ s}$
Supercondensateur	0 %	10 %	50 %	100 %	$\approx 10^{-2} \text{ s}$

Actuellement, l'accumulateur électrochimique, en particulier la technologie lithium-ion, apporte une capacité de stockage d'énergie électrique et une puissance élevée pour une durée de vie longue (Searle et Broussely, 2003). Ces auteurs affirment également que les supercondensateurs assurent une source d'énergie en cas de basse température et peuvent se charger rapidement. Tixador (2003) a étudié les supraconducteurs et estime à l'infini le nombre de cycles de recharge de cette technologie. L'emploi de la supraconductivité est essentiellement intéressant pour la propulsion navale, car le développement de matériaux supraconducteurs à haute température apporte une grande source d'énergie. Certaines applications, comme des armes électriques, complèteraient le surplus d'énergie électrique. Cette technologie a d'ailleurs fait l'objet de programme européen, tel que le programme « Poséidon » ou encore le programme étasunien « *Next Generation Integrated Power System* » (France, 2011). Des chercheurs japonais et américains ont, par ailleurs, tenté de combiner le champ électrique avec le champ magnétique terrestre pour créer les forces magnétohydrodynamiques. Ces forces permettent au navire d'être propulsé avec un rendement de l'ordre de 50 à 80 %, supprimant ainsi les hélices et les éléments mécaniques du navire. Encore au stade de la recherche, de nombreux efforts sont entrepris dans ce sens (Thibault et autres, 1992).

L'adoption de nouvelles ressources énergétiques sous-entend la limitation de la dépendance aux hydrocarbures. Au cours des dernières décennies, des solutions alternatives ont vu le jour. En premier lieu, les biocarburants ou agrocarburants sont une source écologique d'énergie (Poitrat, 2009). Produite à partir de matière animale ou végétale non fossile, ce carburant est à l'origine de la fabrication des biodiesels. Leurs avantages sont multiples. Ils sont non toxiques, biodégradables, recyclables, ne possèdent pas de molécules aromatiques et sont faibles en soufre. Toutefois, leur application au domaine maritime est encore peu connue (Feinman, 2009). Les biodiesels peuvent encrasser les systèmes de filtration des frégates. Legrand (2010) se penche actuellement sur les biocarburants de dernière génération avec la biomasse d'algues ou de micro-organismes comme source d'énergie. Le département de la défense des États-Unis espère utiliser les propriétés d'un biocarburant à base d'algues à bord de ses navires (Rousseau, 2009).

Certains projets ont évoqué l'idée d'utiliser des sources d'énergie alternatives comme l'énergie éolienne ou l'énergie solaire.

Tout d'abord, des projets basés sur l'énergie solaire ont été développés en Allemagne, au Japon et en France. L'utilisation de panneaux photovoltaïques en complément des sources énergétiques actuelles génère une diminution de la dépendance aux énergies fossiles et réduit la demande en énergie. La société australienne *Solar Sailor Holdings Ltd.* (SSHL) développe désormais des générateurs à puissance couplés avec l'énergie solaire pour des navettes portuaires et des ferries côtiers (Solarsailor, 2007).

Ensuite, le vent est la source primaire employée par les navires jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle. Source idéale pour limiter les émissions gazeuses et réduire la demande énergétique du navire, l'énergie éolienne suscite un attrait de plus en plus grandissant au sein des compagnies. Ainsi, les entreprises allemandes *SkySails GmbH et Co. KG*, américaine *KiteShip Corp.* et britannique *Shadotec plc* ont réalisé des voiles souples et rigides assistées par ordinateurs (Skysails, 2008). Selon la force du vent, les coûts en carburants seraient diminués de 10 à 35 % d'après la société *DHL Global Forwarding* (2008).

Finalement, de nombreux projets sont actuellement en cours de recherches pour profiter au maximum des bénéfices apportés par la mer. L'effet des vagues, par la houle, apporte un potentiel énergétique susceptible d'intéresser aussi bien les industriels terrestres que les compagnies de construction de navires. Selon Scott (2010), l'énergie hydrolienne serait une base d'avenir pour les navires du futur. DCNS France en 2007 a opté pour le projet Orcele et souhaite intégrer un système capable de capter cette énergie infinie.

Une seconde stratégie possible consiste à optimiser la gestion des consommations et des émissions de GES. En contrôlant les intrants et les sortants du navire, le commandant du navire peut suivre l'évolution de son impact sur l'environnement et ajuster les besoins énergétiques. Ce contrôle sous-entend une amélioration de la connaissance des taux de consommation et d'émissions en temps réel. Ainsi, à chaque durée de consommation, les émissions de polluants atmosphériques particuliers, gazeux sont connues et peuvent être comparées à la législation. La demande énergétique d'un navire agit souvent de pair avec les conditions météorologiques et maritimes. Pour contourner cet obstacle, de nombreuses technologies aident le corps maritime dans ces conditions de navigation. Ainsi, la mise en place d'une aide au pilotage à bord, l'emploi de données satellitaires, la prise en compte d'un maximum de paramètres météorologiques et de chargement du navire au sein des ordinateurs de bord facilitent la route de navigation et diminuent la consommation énergétique du navire. Cette baisse dénote également le besoin d'une gestion adéquate de l'énergie à bord. À l'image du domaine automobile, il est intéressant de créer un mode économique où les auxiliaires les moins indispensables sont arrêtés, influençant grandement la vitesse de croisière du navire. Enfin, les bâtiments de surface peuvent posséder des calculateurs gérant la consommation instantanée. (ADEME, 2015)

La troisième stratégie tient compte des opérations en mer tant d'ordre courant que d'ordre critique. Il est alors important d'assurer le suivi de l'état de fonctionnement d'un navire. Le maintien prédictif du navire sur l'ensemble de son cycle de fonctionnement étend la longévité du navire (ADEME, 2015). Pour agir idéalement dans les cas de conflits en haute mer et en pleine tempête, le navire doit pouvoir être stabilisé, posséder un pilotage automatique, détecter et éviter les obstacles qui entraveraient les voies de navigation.

Futuriste et en croissante évolution, un navire de type éco-conçu possède de nombreux atouts pour répondre et anticiper la réglementation environnementale tout en demeurant stratégique. Il devient dès lors un exemple intéressant de navire écologique assurant ses fonctions primaires de combat. La figure 4.13 résume les possibilités offertes aux navires éco-conçus pour répondre à l'objectif du client.

Objectifs de l'entreprise	Propositions stratégiques en éco-conception	Actions
Concevoir et réaliser un navire éco-conçu	Réduire la demande énergétique du navire	Opter pour de nouvelles sources énergétiques
	Optimiser la gestion des consommations et des émissions	Améliorer la connaissance en temps réel
		Améliorer les conditions de navigation
		Gérer efficacement l'énergie à bord
	Optimiser la gestion des consommations et des émissions	Gérer efficacement l'énergie à bord
	Optimiser les opérations courantes et critiques	Gérer l'état du navire en temps réel
Assurer une aide pour les manœuvres		

**Figure 4.13 Proposition stratégique d'éco-conception dans le cas de la réalisation d'un navire de type éco-conçu**

L'approche de type éco-conçu voit au-delà de la législation. Selon Prinçaud (2011), cette démarche rime avec l'amélioration continue du produit. Le client n'attend plus que la législation lui dise ce qu'il a l'obligation d'améliorer. Le concepteur de cette approche s'intéresse à diminuer tout type d'impacts du produit, que les technologies soient existantes ou qu'il faille les développer.

Pour chaque niveau d'objectifs désirés par l'entreprise, les stratégies d'éco-conception se cumulent. Ainsi, un navire éco-conçu bénéficiera des stratégies des navires de type standard et de type volontariste. Au cours de ce chapitre, il a été possible de comprendre l'intérêt du développement d'un outil basé sur l'ACV et l'éco-conception navale. Cet outil a démontré qu'il existe de nombreux enjeux dans la réduction des impacts environnementaux. En effet, en respectant et en anticipant les contraintes réglementaires, l'entreprise peut non seulement améliorer la capacité opérationnelle de son navire, mais anticiper les contraintes économiques, voire diminuer les coûts de production. En respectant la demande économique et les besoins des clients, l'entreprise a l'opportunité d'augmenter les performances des navires, assurer une autonomie plus longue redéfinissant complètement les enjeux stratégiques militaires des pays. Le chapitre suivant met en pratique ces stratégies au sein de deux entreprises françaises et canadiennes.

## **5. ÉTUDE DE CAS : APPLICATION DE L'OUTIL**

L'outil développé est adaptable à différentes normes et à différentes lois qu'elles soient européennes ou canadiennes. Ce chapitre présente deux cas d'étude afin d'appliquer l'outil à des entreprises fictives. Ce chapitre s'intègre dans une démarche d'élaborer un premier diagnostic sur la durabilité des navires et d'émettre des recommandations sur les stratégies d'éco-conception.

### **5.1 Étude de cas 1 : entreprise française**

La première industrie met en lumière un cas d'application de l'outil selon un contexte européen. La réglementation française et européenne s'applique alors dans cette section. L'entreprise est présentée dans un premier temps pour laisser place à une analyse de ses résultats avant de suivre par des recommandations.

#### **5.1.1 Présentation et objectifs de développement durable**

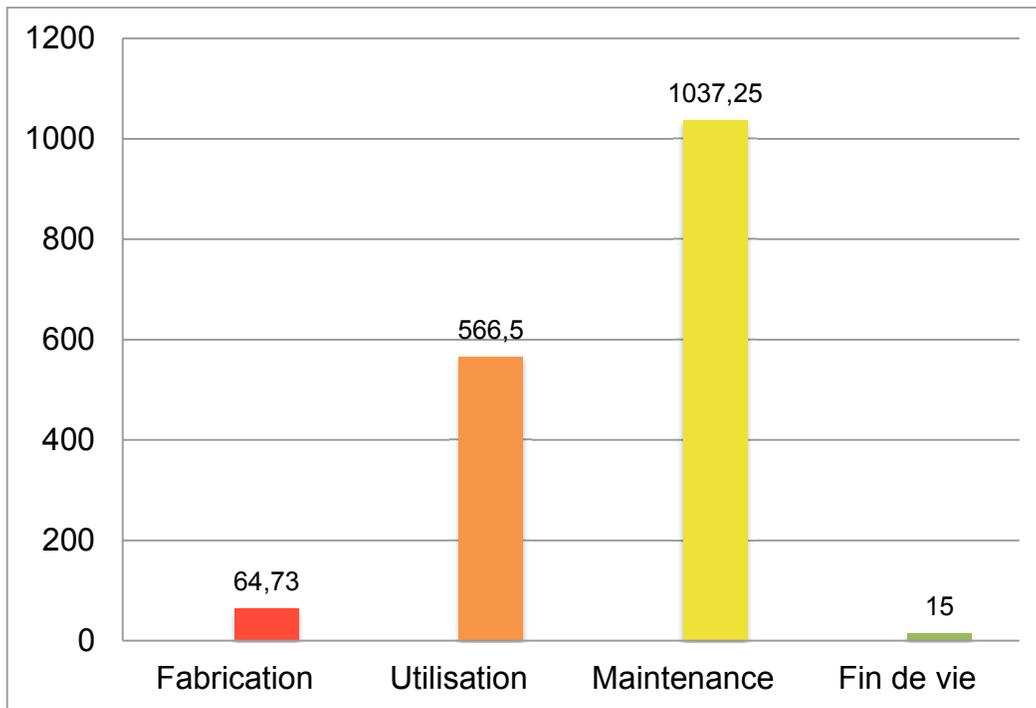
L'industrie militaire possède de nombreux pôles d'excellence en matière de construction navale. Parmi ceux-ci, l'entreprise « FR » s'inscrit dans une volonté de construire des navires de type frégate volontariste. Dans le cadre de missions spéciales à travers le monde, le gouvernement français, principal client et prestataire de la construction d'une série de dix frégates de type volontaristes, fait appel à l'entreprise FR pour répondre à ses besoins.

Actuellement, cet organisme connaît les procédés et les méthodes de fabrication pour réaliser des navires de type standard. La nouvelle politique de l'entreprise passe d'ailleurs, depuis peu, par une volonté de concevoir des navires plus respectueux de leur environnement. Les fonctions dirigeantes de l'industrie française invitent dès lors les concepteurs et les experts en ACV à concevoir et à créer des navires plus écologiques qu'à l'actuel. Bien que les navires de type standard respectent la législation, la direction de l'entreprise FR désire réaliser un léger changement de pratique dans la réalisation de ces navires. Son objectif est clair, à savoir qu'elle désire inclure l'environnement par des pratiques nouvelles, répondre et devancer la législation actuelle.

#### **5.1.2 Résultats**

L'entreprise FR prend connaissance des outils en éco-conception navale et découvre dans la littérature l'existence de l'outil GreenInShip. Décidée à répondre à ses objectifs initiaux, elle met en pratique l'interface. Dans l'onglet « ACV\_Mid\_Point », l'entreprise FR remplit les principaux champs en accord avec ses résultats d'ACV. Basé sur les résultats du logiciel en analyse de cycle de vie « Éco-indicateur 95 », l'utilisateur inscrit les données en KiloPoint pour chacune des onze catégories d'impacts intermédiaires et pour chaque groupe fonctionnel. Ainsi, chaque phase, de la fabrication à la fin de vie, est considérée. Il est rappelé que l'onglet « ACV\_End\_Point » regroupe les résultats de l'ACV par catégories de dommages et n'assure qu'un rôle informationnel pour l'utilisateur. L'automatisation de l'outil

GreenInShip présente les totaux et les graphiques associés aux résultats inscrits par l'utilisateur. Les conclusions de l'ACV, à la figure 5.1, démontrent que les phases de maintenance et d'utilisation prédominent, car elles génèrent l'ensemble des impacts sur l'ensemble du cycle de vie. La phase de maintenance est environ deux fois plus impactante que la phase d'utilisation. Aussi, les phases de fabrication et de fin de vie demeurent mineures dans le cycle de vie de la frégate standard. Ces résultats laissent croire que la priorité d'action doit être mise sur la réduction de l'impact globale du navire sur l'ensemble de son cycle de vie avec la mise en place d'actions favorisant l'optimisation et la réduction des émissions et des consommations énergétiques de la frégate.



**Figure 5.1 Bilan d'ACV global d'un navire de type standard pour l'entreprise FR (Kpt)**

Pour parvenir à réduire les impacts globaux du navire standard et espérer concevoir un navire de type volontariste, l'entreprise FR remplit la seconde partie de l'onglet « ACV\_Mid\_Point ». Pour cela, elle renseigne dans l'outil les seuils spécifiques de réduction d'impact de chaque groupe fonctionnel défini dans le cadre du chapitre 4 à la partie 4.7 de ce document. La figure 5.2 représente un exemple de seuils pour le groupe fonctionnel « coque » lié à l'hydrodynamisme du navire en phase de fabrication.

Pour la « coque », cette industrie totalise 13 % de réduction d'impacts en appliquant certaines actions d'éco-conception. Par cette valeur, elle fait entièrement partie des seuils des navires de type standard. Toutefois, l'entreprise FR se rapproche des seuils pour les navires de type volontariste.

Éléments fonctionnels	Fonctions	Sous-groupes	Groupes fonctionnels	Spécificités de réduction	Seuil ?	Seuil visé pour un navire de type :			
						Simple	Standard	Volontariste	Éco-conçu
Structure	Naviguer	Coque	Coque	<b>Hydrodynamisme</b>					
				Optimisation de la forme du navire	2 %	0 %	1 %	2,5 %	4 %
				Optimisation de l'interaction entre l'hélice et le gouvernail	5 %	0 %	3 %	4,5 %	6 %
				Diminution de la rugosité de surface de la coque	4 %	0 %	1 %	3,5 %	6 %
				Création de microbulles d'air	2 %	0 %	1 %	2 %	3 %
				Lubrification à l'air	0 %	0 %	5 %	10 %	15 %
<b>TOTAL</b>					<b>13 %</b>	<b>0 %</b>	<b>11 %</b>	<b>23 %</b>	<b>34 %</b>

Figure 5.2 Seuils de réduction d'impact pour l'hydrodynamisme de navires simples, standard, volontaristes et éco-conçus

En accord avec le système de notation de la partie 4.5, l'utilisateur prend connaissance de l'onglet « Notation ». Ainsi, pour le groupe fonctionnel « coque », le navire standard ne doit pas dépasser certains seuils de gaz à effet de serre. En effet, le bâtiment de surface émet, par ses peintures *antifouling* et ses revêtements de surface, de nombreux gaz nocifs pour l'environnement. Cet onglet renseigne l'utilisateur des conditions réglementaires au travers de seuils dans lesquels s'inscrit son navire.

D'un point de vue législatif, l'entreprise FR est soumise aux lois internationales, européennes et françaises. Le tableau 5.1 résume l'ensemble des spécificités réglementaires associées à la réalisation d'un navire de type standard. Pour la phase d'utilisation, celui-ci doit satisfaire à la *Convention MARPOL 73/78* sur le rejet des déchets, des eaux usées et des émissions de GES. Pour l'exemple de la « coque », l'entreprise FR doit obligatoirement répondre aux exigences de la Convention sur les peintures *antifouling*. Celle-ci s'intéresse particulièrement au contrôle des systèmes anti salissures susceptibles de nuire à l'environnement marin.

En phase de fin de vie, la législation internationale contraint l'entreprise FR à respecter la *Convention de Bâle* sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination. Aussi, les décisions de l'OCDE obligent l'entreprise à évaluer le risque chimique et environnemental associé aux déchets générés par les navires. De plus, l'Organisation Internationale recommande de valoriser les éléments de fin de vie.

À une échelle plus locale, l'Europe demande à l'entreprise FR d'analyser, au travers du règlement REACH, les risques liés à l'emploi de substances chimiques en mer. Au niveau national, certaines spécificités réglementaires s'imposent à l'industrie FR par des lois et des décrets.

**Tableau 5.1 Exigences réglementaires soumises à l'entreprise FR dans le cas d'une construction d'un navire standard**

Phases de l'ACV	Échelle réglementaire	Réglementation en vigueur	Spécificités
Utilisation	Internationale	<i>Convention MARPOL 73/78</i>	Rejets de déchets
			Rejets des eaux usées
			Rejets des émissions de GES
		<i>Convention des peintures antifouling</i>	Contrôle des systèmes anti-salissures
	Européenne	Règlement REACH	Analyse des risques liés à l'emploi de substances chimiques
Fin de vie	Internationale	<i>Convention de Bâle</i>	Contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination
		Décisions de l'OCDE	Évaluation du risque et valorisation des déchets

Pour passer à un navire de type volontariste, l'entreprise FR devra respecter les résolutions internationales de l'OMI MEPC. 107 (49) basées sur la prévention de la pollution par les eaux hydrocarbonées, grises et noires. La Convention sur les eaux de Ballast, axé sur la pollution des eaux usées, et le Protocole de Montréal sur l'emploi de fluides frigorigènes au sein des navires sont des lois incontournables pour concevoir et réaliser un navire volontariste.

Le respect des seuils de réduction d'impacts et des seuils réglementaires assure l'entreprise FR de la conformité dans la construction d'un navire standard. Le passage à un navire de type volontariste est possible par la réalisation de stratégies et d'actions d'éco-conception.

### 5.1.3 Stratégies recommandées

Par automatisation, l'outil compare tous les seuils de réduction d'impacts avec les seuils réglementaires. L'entreprise FR aperçoit alors dans l'onglet « Écoconception » si les groupes fonctionnels de chaque phase de l'ACV sont en accord avec la législation. Dans l'exemple de la « coque », l'entreprise respecte largement les textes réglementaires d'un navire standard et peut espérer posséder une « coque » d'un navire de type volontariste. La dénomination « oui » donne un caractère d'éco-conception possible au groupe fonctionnel considéré. La figure 5.3 illustre cet exemple.

Groupes fonctionnels	Résultats des seuils de l'ACV_Mid_Point compatibles avec les seuils visés par la réglementation ?			
	Navire	Navire standard	Navire volontariste	Navire éco-conçu
Coque	non	non	oui	non
Équipement de communication				
Propulsion				
Systèmes d'armes				
Traitement et exploitation des informations				
Usine électrique				
Vie à bord				
Lestage				

**Figure 5.3** Résultat de la comparaison entre les seuils de réduction d'impacts et les seuils réglementaires dans le cas de l'entreprise FR

L'automatisation de l'outil considère l'ensemble des stratégies d'éco-conception proposées dans la partie 4.7. Ainsi, lorsqu'un groupe fonctionnel pour un type de navire répond à la réglementation, des actions stratégiques sont proposées à l'entreprise FR. Il est rappelé que celles-ci sont cumulatives à mesure que l'utilisateur se rapproche d'un navire éco-conçu. En effet, ce dernier intègre entièrement toutes les actions des navires simples, standard et volontaristes. La figure 5.4 présente les actions à mettre en place par l'entreprise FR dans le cas du groupe fonctionnel « coque » en phase de fabrication.

Groupes fonctionnels	Navire standard				Navire volontariste						
	Stratégie 1				Stratégie 1				Stratégie 2	Stratégie 3	
	Action 1	Action 2	Action 3	Action 4	Action 1	Action 2	Action 3	Action 4	Action 1	Action 1	Action 2
Coque			X				X				

Groupes fonctionnels	Navire éco-conçu												
	Stratégie 1				Stratégie 2	Stratégie 3		Stratégie 4	Stratégie 5			Stratégie 6	
	Action 1	Action 2	Action 3	Action 4	Action 1	Action 1	Action 2	Action 1	Action 1	Action 2	Action 3	Action 1	Action 2
Coque			X										

**Figure 5.4 Propositions stratégiques pour le groupe fonctionnel « coque » selon le type de navire de l'entreprise FR**

D'après cette figure, l'entreprise FR n'a qu'une action d'éco-conception à mettre en place pour la « coque » de son navire. Il s'agit de l'action 3 de la stratégie 1, à savoir de réduire la demande énergétique du navire. Pour cela, l'outil suggère à cette industrie française de continuer à réduire la résistance à l'avancement de son navire standard et à améliorer son hydrodynamisme. Si elle parvient à diminuer suffisamment cette force, la coque du navire peut dépasser les seuils d'un navire volontariste et atteindre un navire de type éco-conçu. Ainsi, chaque action réalisée est en lien direct avec les seuils de réduction d'impacts et avec la réglementation. Estimée d'après la littérature à un certain pourcentage de réduction d'impact, chaque action d'éco-conception diminue les valeurs de l'ACV initiale pour la « coque ». Ainsi, l'application de plusieurs actions et de plusieurs stratégies pour l'ensemble des groupes fonctionnels d'un navire diminue significativement son bilan d'ACV. Un navire de type standard peut donc se retrouver volontariste, voire éco-conçu. La figure 5.5 met en relation, pour la « coque » d'un navire standard, cette réduction d'impacts finaux dans son ACV globale selon la stratégie 1 et l'action 3. Alors que le bilan global d'ACV initiale pour la « coque » était de 2,24 Kpt pour la « Santé humaine », ce chiffre baisse à 1,24 Kpt. Pour chacune des quatre catégories de dommages finaux, la réalisation de l'action 3 diminue de 1 Kpt la phase de fabrication. Aussi, dans l'onglet « Bilan\_Synthèse », il est à noter que l'utilisateur possède toutes les données pour établir les représentations de ces actions sur l'ACV final. L'annexe 5, par les figures A.1 et A.2, complète l'ensemble de l'information.

				Réduction d'impacts finaux selon les stratégies et les actions souhaitées (Kpt)																					
				SANTÉ HUMAINE				QUALITÉ DES ÉCOSYSTÈMES				CHANGEMENT DU CLIMAT				ÉPUISEMENT DES RESSOURCES									
Concevoir et réaliser un navire	Stratégies d'éco-conception	Actions	Impacts de l'action en Kpt	Fabrication	Utilisation	Maintenance	Fin de vie	Bilan ACV toutes phases	Fabrication	Utilisation	Maintenance	Fin de vie	Bilan ACV toutes phases	Fabrication	Utilisation	Maintenance	Fin de vie	Bilan ACV toutes phases	Fabrication	Utilisation	Maintenance	Fin de vie	Bilan ACV toutes phases		
Standard	1) Réduire la demande énergétique du navire	1) Réduire la consommation de carburant	1		-1			-1		509			509		55,5			55,5			-1			-1	
		2) Redéfinir le système énergétique du navire	1		-1			-1		509			509		55,5			55,5			-1			-1	
		3) Réduire la résistance à l'avancement du navire (améliorer l'hydrodynamisme)	1	2,24				-1	1,24	50,2			-1	49,2	9,29			-1	8,29	-1				-1	-2
		4) Réduire les pertes énergétiques	1		-1				-1		509			509		55,5			55,5			-1			-1

Figure 5.5 Réduction du bilan total de l'ACV d'un navire de type standard dans le cas de la réalisation de l'action d'éco-conception 3 de l'entreprise FR

Finalement, l'entreprise FR possède les éléments décisionnels pour agir de manière efficace dans l'atteinte de son objectif initial, à savoir de concevoir et de réaliser un navire de type volontariste. Le tableau 5.2 représente la plus-value des actions d'éco-conception dans l'ACV globale de l'entreprise.

**Tableau 5.2 Gains des actions d'éco-conception selon le cycle de vie du navire de l'entreprise FR**

	Type de navires	Phases du cycle de vie du navire			
		Fabrication	Utilisation	Maintenance	Fin de vie
Bilan ACV avant les actions (Kpt)	Standard	64,73	566,5	1037,25	15
Bilan ACV après les actions (Kpt)	Volontariste	63,73	563,5	1037,25	15
Plus value des actions d'éco-conception (Kpt)	<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Standard</div> <div style="font-size: 2em; margin: 10px auto;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Volontariste</div> </div>	1 (soit 1,55 %)	3 (soit 0,53 %)	0	0

En intégrant les initiatives proposées, il est possible de répondre à l'objectif initial de concevoir et de réaliser un navire de type volontariste. Ainsi, sur l'ensemble du cycle de vie d'une frégate standard, il est possible de réduire jusqu'à 2,08 % des impacts environnementaux pour atteindre un navire de type volontariste.

## 5.2 Étude de cas 2 : entreprise canadienne

La seconde étude de cas met en lumière une entreprise nord-américaine. L'étude de la réglementation internationale et canadienne s'impose à cette industrie. Dans un premier temps, elle est présentée. Puis, les résultats d'application de l'outil pour ce second cas d'étude sont abordés. Enfin, des stratégies d'éco-conception sont proposées afin de faciliter l'aide à la prise de décision.

### 5.2.1 Présentation et objectifs de développement durable

Suite aux derniers événements survenus sur le territoire nord-américain, le gouvernement canadien mandate l'entreprise « CA » pour la construction de nouveaux navires de type éco-conçu. L'organisation maritime militaire de ce pays possède les savoirs faire et les procédés de fabrication uniquement de bâtiments de type standard.

En accord avec l'Institut National de la Recherche Scientifique et Militaire (INRSM), l'entreprise CA désire innover de nouveaux processus pour concevoir des navires éco-conçus. Elle souhaite, par ailleurs, devancer largement la législation internationale dans ce domaine. L'entreprise et l'INRSM font donc appel à de nombreux experts en éco-conception navale. L'un d'eux leur propose de tester l'outil de durabilité GreenInShip. Les résultats proposés par la suite à l'entreprise CA apparaissent concluants.

### 5.2.2 Résultats

Les premiers résultats de l'ACV semblent relativement identiques à l'entreprise FR. L'industrie canadienne constate également que les stratégies d'éco-conception doivent s'axer principalement sur les phases d'utilisation et de maintenance. Déterminée à répondre à leur objectif, l'industrie canadienne fait appel à de nouveaux ingénieurs en éco-conception. L'un d'eux soumet à l'entreprise un projet basé sur le système de propulsion du navire. De nouveaux composés naturels au sein des peintures *antifouling* rendent la coque plus solide et moins nocive pour l'environnement.

La mise en place de nouvelles technologies au sein du navire redéfinit complètement les systèmes énergétiques, de navigation, de stabilité et de gestion des déchets du navire actuel.

Les seuils de réduction d'impact du navire dépassent d'ailleurs largement ceux des navires les plus respectueux de l'environnement. La figure 5.6 représente un exemple de seuils pour le groupe fonctionnel « consommations et émissions usine électrique » lié à la production d'énergie du navire en phase d'utilisation. Pour ce groupe fonctionnel, cette industrie totalise en moyenne 69 % de réduction d'impacts en appliquant certaines actions d'éco-conception. Par cette valeur, elle fait entièrement partie des seuils des navires de type éco-conçu.

Éléments fonctionnels	Fonctions	Sous-groupes	Groupes fonctionnels	Spécificités de réduction	Seuil ?	Seuil visé pour un navire de type :			
						Simple	Standard	Volontariste	Éco-conçu
Machinerie	Produire de l'énergie électrique	Usine électrique	Consommations et émissions usine électrique	<b>Capacité de stockage de l'électricité</b>					
				Pile à combustible (hydrogène liquide à 23 K)	70 %	0 %	10 %	50 %	100 %
				Pile à combustible (hydrogène comprimé à 200-350 bars)	76 %	0 %	10 %	50 %	100 %
				Volant d'inertie	65 %	0 %	10 %	50 %	100 %
				Batterie au lithium	56 %	0 %	10 %	50 %	100 %
				Supraconducteur	90 %	0 %	10 %	50 %	100 %
				Supercondensateur	58 %	0 %	10 %	50 %	100 %
				<b>MOYENNE</b>	<b>69 %</b>	<b>0 %</b>	<b>10 %</b>	<b>50 %</b>	<b>100 %</b>

Figure 5.6 Seuils de réduction d'impact pour le stockage de l'électricité de navires simples, standard, volontaristes et éco-conçus

En matière législative, l'entreprise CA est soumise aux lois internationales et canadiennes. Le tableau 5.3 résume l'ensemble des spécificités réglementaires associées à la réalisation d'un navire de type éco-conçu. Pour la phase d'utilisation, celui-ci doit satisfaire à l'échelle internationale les *Conventions MARPOL 73/78, de Bâle* et les décisions de l'OCDE.

À la distinction d'un navire standard, un navire de type éco-conçu est soumis au principe de précaution. Celui-ci s'intéresse essentiellement à la prévention de la pollution par les hydrocarbures, par les eaux grises et noires des navires. Dans une moindre mesure, les eaux usées de ces bâtiments d'attaque sont réglementées par la *Convention SOLAS*.

**Tableau 5.3 Exigences réglementaires soumises à l'entreprise CA dans le cas d'une construction d'un navire éco-conçu**

Phases de l'ACV	Échelle réglementaire	Réglementation en vigueur	Spécificités
Utilisation	Internationale	<i>Convention MARPOL 73/78</i>	Rejets de déchets
			Rejets des eaux usées
			Rejets des émissions de GES
		Principe de précaution	Prévention de la pollution par les hydrocarbures
Prévention de la pollution par les eaux grises et noires			
<i>Convention Solas</i>		Prévention de la pollution par les eaux usées	
Fin de vie		<i>Convention de Bâle</i>	Contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination
	Décisions de l'OCDE	Évaluation du risque et valorisation des déchets	

L'atteinte de ces seuils assure à l'entreprise CA un respect des exigences réglementaires nécessaire pour faciliter la construction d'un navire éco-conçu. La mise en place de stratégies et d'actions d'éco-conception navale permet à l'organisation canadienne d'aller au-delà des seuils réglementaires.

### 5.2.3 Stratégies recommandées

Pour le groupe fonctionnel « consommations et émissions usine électrique », l'entreprise CA peut espérer grâce aux valeurs des seuils concevoir et réaliser un navire de type éco-conçu.

Par automatisation de l'outil, la dénomination « oui » confirme cette possibilité. La figure 5.7 présente cette affirmation.

Groupes fonctionnels	Résultats des seuils de l'ACV_Mid_Point compatibles avec les seuils visés par la réglementation ?			
	Navire	Navire standard	Navire volontariste	Navire éco-conçu
Consommations et émissions propulsion	non	non	non	oui
Consommations et émissions usine électrique	non	non	non	oui
Consommation eau douce	non	non	non	oui

**Figure 5.7** Résultat de la comparaison entre les seuils de réduction d'impacts et les seuils réglementaires dans le cas de l'entreprise FR

L'affirmation quant à la comparaison entre les seuils réglementaires laisse place à des stratégies d'éco-conception et des actions à mettre en place par l'entreprise CA afin d'atteindre l'objectif visé. Les navires éco-conçus possèdent de nombreuses actions, représentées au travers de la figure 5.8.

Groupes fonctionnels	Propositions stratégiques d'éco-conception												
	Navire	Navire standard				Navire volontariste							
		Stratégie 1				Stratégie 1				Stratégie 2	Stratégie 3		
	Action 1	Action 2	Action 3	Action 4	Action 1	Action 2	Action 3	Action 4	Action 1	Action 1	Action 2		
Consommations et émissions propulsion		X	X			X	X			X	X		
Consommations et émissions usine électrique				X				X					
Consommation eau douce											X		
Groupes fonctionnels	Navire éco-conçu												
		Stratégie 1				Stratégie 2	Stratégie 3		Stratégie 4	Stratégie 5		Stratégie 6	
		Action 1	Action 2	Action 3	Action 4	Action 1	Action 1	Action 2	Action 1	Action 1	Action 2	Action 3	Action 1
Consommations et émissions propulsion	X	X			X	X							
Consommations et émissions usine électrique				X									
Consommation eau douce						X							

**Figure 5.8** Propositions stratégiques pour le groupe fonctionnel « usine électrique » selon le type de navire de l'entreprise CA

Cette figure démontre que l'entreprise CA devrait mettre en place la stratégie 1 et l'action 4 pour diminuer les pertes énergétiques du navire standard lors de la phase d'utilisation dans le cas du groupe fonctionnel « usine électrique ». L'entreprise CA peut alors s'orienter vers de nouvelles sources de stockage de l'électricité, telles que la pile à combustible ou le supraconducteur. En adoptant cette stratégie, l'industrie canadienne augmente ses chances de concevoir un navire de type éco-conçu. À l'image d'autres actions, la combinaison de plusieurs stratégies d'éco-conception diminue grandement le bilan global de l'ACV pour le navire standard. Ainsi, l'entreprise CA possède les cartes en main pour décider si elle désire ou non mettre en œuvre ces actions.

La figure 5.9 met en relation, pour l'« usine électrique » d'un navire standard, cette réduction d'impacts finaux dans son ACV globale selon la stratégie 1 et selon l'action 4. Pour chacune des quatre catégories de dommages finaux, la réalisation de cette opération diminue de 1 Kpt la phase d'utilisation. La figure B.1 de l'annexe 6 résume l'ensemble des résultats.

		Réduction d'impacts finaux selon les stratégies et les actions souhaitées (Kpt)																						
		SANTÉ HUMAINE					QUALITÉ DES ÉCOSYSTÈMES					CHANGEMENT DU CLIMAT					ÉPUISEMENT DES RESSOURCES							
Concevoir et réaliser un navire	Stratégies d'éco-conception	Actions	Impacts de l'action en Kpt	Fabrication	Utilisation	Maintenance	Fin de vie	Bilan ACV toutes phases	Fabrication	Utilisation	Maintenance	Fin de vie	Bilan ACV toutes phases	Fabrication	Utilisation	Maintenance	Fin de vie	Bilan ACV toutes phases	Fabrication	Utilisation	Maintenance	Fin de vie	Bilan ACV toutes phases	
Éco-conçu	1) Réduire la demande énergétique du navire	1) Réduire la consommation de carburant	1		-1			-1		509			509		55,5			55,5			-1			-1
		2) Redéfinir le système énergétique du navire	1		-1			-1		509			509		55,5			55,5			-1			-1
		3) Réduire la résistance à l'avancement du navire (améliorer l'hydrodynamisme)	1	2,24			-1	1,24	50,2			-1	49,2	9,29				-1	8,29	-1			-1	-2
		4) Réduire les pertes énergétiques	1		-1			-1		509			509		55,5			55,5			-1			-1

**Figure 5.9 Réduction du bilan total de l'ACV d'un navire de type éco-conçu dans le cas de la réalisation de l'action d'éco-conception 4 de l'entreprise CA**

Finalement, l'entreprise CA possède les éléments décisionnels pour agir de manière efficace dans l'atteinte de son objectif initial, à savoir de concevoir et de réaliser un navire de type éco-conçu. Le tableau 5.4 représente la plus-value des actions d'éco-conception dans l'ACV globale de l'entreprise canadienne. Ainsi, sur l'ensemble du cycle de vie d'une frégate standard, il est possible de réduire jusqu'à 9,28 % des impacts environnementaux pour atteindre un navire de type éco-conçu.

**Tableau 5.4 Gains des actions d'éco-conception selon le cycle de vie du navire de l'entreprise CA**

	Type de navires	Phases du cycle de vie du navire			
		Fabrication	Utilisation	Maintenance	Fin de vie
Bilan ACV avant les actions (Kpt)	Standard	64,73	566,5	1037,25	15
Bilan ACV après les actions (Kpt)	Éco-conçu	63,73	560,5	1037,25	14
Plus value des actions d'éco-conception (Kpt)	<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 100px; margin: 0 auto;">Standard</div> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 100px; margin: 0 auto;">Éco-conçu</div> </div>	1 (soit 1,55 %)	6 (soit 1,06 %)	0	1 (soit 6,67 %)

Finalement, il est possible pour les entreprises de construction militaires navales de concevoir et de réaliser des navires respectant leur environnement. Dépendamment des objectifs de l'entreprise, il convient de mettre en place des actions stratégiques à intégrer dès la phase de conception du navire. L'outil GreenInShip s'avère être utile dans l'aide à la prise de décision pour les entreprises en matière d'éco-conception. Ses forces et ses limites sont analysées au travers du prochain chapitre.

## **6. LIMITES ET RECOMMANDATIONS**

Ce dernier chapitre traite de la portée et des limites de l'outil développé. Des recommandations sont adressées aux utilisateurs. L'objectif est l'amélioration continue des stratégies d'éco-conception en vue d'intégrer le DD aux activités militaires. Il est également possible de proposer des pistes de bonification afin de permettre la réalisation d'une aide à la décision lors des contrats militaires.

### **6.1 Portée et limites**

La réalisation de l'étude de cas a soulevé la portée et les limites de l'outil GreenInShip. Ces éléments permettent d'analyser l'outil afin de le rendre plus cohérent et pratique pour une utilisation future.

Tout d'abord, l'outil apporte intuitivité et accessibilité pour des personnes novices ou qui possèdent de l'expérience en éco-conception navale. Par l'emploi d'indicateurs simples et de groupes fonctionnels restrictifs, l'utilisateur a la possibilité d'obtenir un large aperçu des impacts environnementaux du navire considéré. Les étapes de recueillement des données et d'automatisation de l'outil ont fourni davantage de maniabilité. L'emploi d'un lexique et d'une liste de références conduit l'utilisateur à cheminer dans l'outil avec aisance.

Toutefois, l'outil, durant sa conception, a soulevé des interrogations. Il a été élaboré malgré des contraintes de temps et de ressources d'informations. Malgré la volonté de réalisation d'un outil pleinement efficace, il a été difficile de recueillir toutes les données nécessaires à son achèvement. Par exemple, le choix des catégories d'impacts s'est basé sur la méthode de Joliet et autres (2010), mais aurait pu se baser sur une compilation d'autres méthodes. De plus, les indicateurs d'ACV ont été sélectionnés pour leurs caractéristiques propres. Pour garantir une efficacité idéale de l'outil, celui-ci doit comporter davantage d'indicateurs environnementaux portant sur tous les éléments du navire. La dimension physique et le nombre de composants d'une frégate militaire requièrent un investissement financier, temporel et humain plus conséquent dans la récolte et l'analyse des données. Les acteurs locaux doivent être sollicités pour fournir suffisamment d'informations.

L'outil de durabilité GreenInShip doit, par ailleurs, faire face à des valeurs réglementaires pas toujours appropriées aux catégories d'impacts en raison des difficultés de les comparer dans la même unité de base. De plus, les directives réglementaires se basent au niveau international et européen, réduisant le champ d'action de l'outil. Aussi, le nombre d'objectifs d'entreprise est au nombre de quatre complexifiant ainsi l'outil. Mais, l'utilisateur ne doit remplir que l'onglet « ACV\_1 » par ses résultats d'ACV préexistants au sein de son organisation. Le reste de l'outil a été réalisé de manière automatique. Enfin, le système de calcul de réduction des impacts se base sur l'échelle subjective et arbitraire où chaque action stratégique d'éco-conception correspond à une valeur de 100 % ou de 1 KiloPoint. Si l'action réalisée représentait 2 Kpt, alors les résultats de l'ACV global des navires en seraient différents. Enfin, le choix du logiciel EI-99

pour l'ACV oblige d'avoir une seule et même unité, à savoir le Kilopoint. Dans le cas d'application d'autres logiciels d'analyse de cycle de vie, les données de sortie de l'outil auraient été différentes.

## **6.2 Facteurs de succès**

Tout objectif passe par une volonté d'amélioration continue s'il souhaite être atteint. L'outil GreenInShip, bien qu'opérationnel, peut être rendu plus fonctionnel. Pour cela, certaines pistes de solutions peuvent être considérées pour toute entreprise de construction militaire navale désireuse de poursuivre l'optimisation de l'outil.

L'outil, pour considérer davantage de groupes fonctionnels, devrait prendre en compte plus d'indicateurs d'ACV. Par exemple, l'intégration de la dimension financière dans l'outil permettrait d'obtenir un rapport coût par rapport à la stratégie d'éco-conception proposée. L'utilisateur pourrait, dès lors, choisir le rapport le plus rentable. Pour cela, les impacts intermédiaires et les dommages finaux de l'ACV doivent considérer les coûts économiques. Enfin, pour obtenir une approche plus axée sur le développement durable, l'outil peut inclure les aspects sociaux dans la vie d'un navire.

Par ailleurs, la méthodologie employée peut être redéfinie tout comme les objectifs de l'entreprise. En s'appuyant sur une synthèse de méthodes d'éco-conception, l'utilisateur pourrait changer la structure de l'outil en vue de l'améliorer. Aussi, en élargissant l'échelle législative avec davantage de lois et de règlements, l'outil aurait la possibilité de considérer chaque groupe fonctionnel du navire de manière plus précise. Aussi, il serait intéressant de prendre en compte d'autres pays que la France et le Canada. Une comparaison entre les différents pays en matière de navires standard, volontariste et éco-conçu pourrait être réalisée. Également, avec un nombre plus élevé de stratégies d'éco-conception, l'outil serait plus précis et optimisé. Par exemple, il serait intéressant de rendre compatibles les actions entre elles. L'interface GreenInShip deviendrait dès lors plus « intelligente ».

Enfin, l'outil GreenInShip, bien que contestable par les experts en ACV, peut être optimisé à l'aide d'une mise en réseau. La mise en place de questionnaires sur le fonctionnement et la facilité de navigation dans l'outil par l'ensemble des experts du domaine serait alors une solution à envisager. En ayant une vision élargie de l'outil, il serait possible de l'améliorer. Actuellement, la littérature n'offre pas d'outils de durabilité spécifique à la conception de navires militaires. L'interface GreenInShip a pour but de rendre accessible des données d'entreprise pour tout utilisateur non expert dans le domaine de l'ACV et de l'éco-conception. Créé pour élargir ce domaine de recherche, l'outil a pour ambition de s'adapter à d'autres entreprises et dans d'autres domaines. Par exemple, le domaine civil pourrait bénéficier aussi d'un tel outil. Cette démarche d'intégration du paramètre environnemental au sein des produits navals militaires doit pouvoir s'appliquer à des produits tout aussi complexes que des navires, tels que les voitures, les trains ou les avions. Mais, il est nécessaire que les concepteurs et les fournisseurs travaillent ensemble dès l'avant-phase de conception du projet.

## CONCLUSION

Né du constat que l'Homme agit activement sur l'altération des écosystèmes, la croissance constante de la société de consommation laisse transparaître l'émergence de nombreux problèmes, non seulement éthiques, mais aussi générationnels, qui nuisent gravement à l'environnement. Afin d'assurer un équilibre nécessaire entre les activités humaines présentes et l'utilisation raisonnée des ressources naturelles en vue de préserver les générations futures, l'être humain n'a de meilleur choix que de considérer toutes les stratégies possibles qui s'offrent à lui.

Pour cela, de nombreuses industries, encadrées par une législation environnementale de plus en plus restrictive, prennent conscience de leur responsabilité à l'égard de l'environnement. Dans le domaine de la défense navale, les performances stratégiques et technologiques restent essentielles à la sécurité des pays et à l'entente internationale. Toutefois, les questions environnementales ne peuvent plus être écartées.

Ainsi, la volonté de concevoir des produits éco-conçus par les entreprises militaires navales est devenue une démarche évidente et pertinente en accord avec la politique nationale. Les stratégies d'éco-conception proposées par les experts en ACV deviennent dès lors synonymes de réduction d'impacts environnementaux pour les navires en service, en développement ou en phase de conception. Les technologies issues de nombreux programmes de recherche se concentrent essentiellement sur la réduction de la consommation énergétique, la diminution des émissions et du rejet des polluants dans l'air et en mer.

L'objectif principal de l'essai était d'analyser, à partir de l'analyse de cycle de vie, l'importance de la prise en compte du développement durable et de l'environnement au sein des entreprises militaires navales. La réalisation d'un outil de durabilité axé sur l'éco-conception de navires de guerre en vue de réaliser des navires plus écologiques est un moyen de communication efficace qui concerne aussi bien les entreprises maritimes que les experts en ACV.

Pour parvenir à atteindre cet objectif, il a été possible de comprendre les interactions existantes entre l'armement et le concept tridimensionnel de développement durable, de préciser la place occupée par celui-ci au sein des entreprises navales, de développer une analyse critique, par le biais d'une législation environnementale large et de l'environnement des navires de guerre dès leurs conceptions. La nécessité de mettre en relation le rôle de l'ACV dans une démarche d'éco-conception a pu faire ressortir des indicateurs et des catégories d'impacts utiles à la réalisation de l'outil. La mise en pratique de ce dernier a jugé de son efficacité et de ses limites. Ainsi, bien que l'objectif de l'essai semble atteint, certaines réserves sur l'outil font l'objet de recommandations.

Les améliorations proposées dans le chapitre 6 pourraient être apportées à l'outil, de manière à intégrer une vision élargie des dommages et de l'échelle réglementaire, à développer davantage le lien des

stratégies d'éco-conception aux réductions d'impacts, à inclure des indicateurs socio-économiques à l'analyse de cycle de vie, et ce, dans une démarche accessible aux différentes parties prenantes du projet de construction de navires militaires. L'intérêt sous-jacent est de guider les utilisateurs de l'outil dans une démarche d'analyse des résultats afin de faciliter la prise de décision.

En conclusion, les quatre objectifs spécifiques ont participé à l'atteinte de l'objectif général de l'essai. L'outil de durabilité axé sur des navires de type standard à des navires éco-conçus en passant par les navires de type volontariste a comblé un manque d'informations sur l'éco-conception navale dans la littérature. La mise en application de l'outil GreenInShip, au travers d'études de cas, laisse penser qu'il apporte une aide intéressante aux entreprises de construction militaire navale vers une prise de décision éclairée. Son perfectionnement au-delà de l'essai pourrait s'avérer particulièrement utile dans le cadre d'autres projets de domaines différents ou semblables à l'armement. Cet essai demeure le fruit d'une étude superficielle de la problématique de concilier la supériorité stratégique et technologique des navires militaires dans le respect du développement durable. La continuité d'un tel travail repose peut-être sur la valeur réelle du DD au sein des forces armées. En effet, l'application d'outils d'éco-conception, tels que GreenInShip, favorise la diminution de coûts au sein des entreprises. Par ailleurs, la recherche et le développement des entreprises tendent vers l'amélioration de produits plus sûrs, moins coûteux et plus respectueux de l'environnement. L'intégration de l'éco-conception au sein des entreprises militaires navales favorise la création de navires plus résistants à l'impact en cas de conflits et à plus faible coût. La sécurité d'un pays apparaît dès lors comme augmenter, redéfinissant complètement les géopolitiques militaires actuelles. En concevant des produits en accord avec les principes du développement durable et de l'environnement, ces organisations militaires redynamisent l'emploi et relancent la croissance économique. Actrices exemplaires en terme de navigation durable, elles montrent une voie d'avenir dans la transition entre une économie productiviste à une économie circulaire et collaborative.

L'application du développement durable et le respect de l'environnement ne sont-ils pas simplement une réponse à une société dont l'emploi et la sécurité sont déstabilisés ?

## RÉFÉRENCES

- Abrassart, C. (2011). *La naissance de l'écoconception : Acteurs, raisonnement, enjeux de pilotage et horizons d'une rationalisation industrielle (1990-2010)*. Thèse de doctorat, École nationale supérieure des mines de Paris, Paris, 280 p.
- Acteur Durable (2009). Récupération des eaux grises. *In* Recyclage, Acteurs du développement durable. *Document d'informations*. <http://www.acteurdurable.org/eaux-grises.html> (Page consultée le 17 janvier 2016).
- Actu-environnement (2015a). Définition - Cycle de vie. *In* Actu-Environnement. *Actualités. Informations pratiques. Dictionnaire environnement*. [http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/cycle\\_de\\_vie\\_du\\_produit.php4](http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/cycle_de_vie_du_produit.php4) (Page consultée le 11 décembre 2015).
- Actu-environnement (2015b). Définition – Gaz à Effet de Serre (GES). *In* Actu-Environnement. *Actualités. Informations pratiques. Dictionnaire environnement*. [http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/gaz\\_a\\_effet\\_de\\_serre\\_ges.php4](http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/gaz_a_effet_de_serre_ges.php4) (Page consultée le 17 janvier 2016).
- Actu-environnement (2015c). Protocole de Montréal. *In* Actualités. *Dictionnaire en environnement*. [http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/protocole\\_de\\_montreal.php4](http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/protocole_de_montreal.php4) (Page consultée le 25 décembre 2015).
- Actu-environnement (2016a). Définition – Acidification. *In* Actu-Environnement. *Actualités. Informations pratiques. Dictionnaire environnement*. [http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/acidification.php4](http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/acidification.php4) (Page consultée le 17 janvier 2016).
- Actu-environnement (2016b). Définition – Couche d'ozone. *In* Actu-Environnement. *Actualités. Informations pratiques. Dictionnaire environnement*. [www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/couche\\_d\\_ozone.php4](http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/couche_d_ozone.php4) (Page consultée le 17 janvier 2016).
- Actu-environnement (2016c). Définition – Éco-conception. *In* Actu-Environnement. *Actualités. Informations pratiques. Dictionnaire environnement*. [www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/eco-conception.php4](http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/eco-conception.php4) (Page consultée le 17 janvier 2016).
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) (2005a). Introduction à l'Analyse de Cycle de Vie (ACV). *In* ADEME. *Note de synthèse externe, Département Eco-conception & Consommation Durable*. [http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/noteACVexterne\\_ADEME\\_mai\\_2005.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/noteACVexterne_ADEME_mai_2005.pdf) (Page consultée le 08 septembre 2015).
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) (2005b). Comment évaluer les impacts environnementaux au moyen de l'analyse du cycle de vie (ACV). *In* ADEME – AMORCE. *Optimisation de la gestion des déchets municipaux, Document d'informations*. [http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/25165\\_acv\\_impacts.pdf](http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/25165_acv_impacts.pdf) (Page consultée le 30 octobre 2015).
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) (2011). Navires du futur. *In* ADEME. *Feuille de Route Stratégique*. <http://www.ademe.fr/navires-futur-feuille-route-strategique> (Page consultée le 06 septembre 2015).

- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) (2015). Navires du futur. In Investissements d'Avenir. *Véhicules et transports du futur, Appel à projets*. [http://www.gouvernement.fr/sites/default/files/contenu/piece-jointe/2015/05/aap\\_navire\\_du\\_futur\\_edition\\_2015.pdf](http://www.gouvernement.fr/sites/default/files/contenu/piece-jointe/2015/05/aap_navire_du_futur_edition_2015.pdf) (Page consultée le 06 septembre 2015).
- Aissani, L. (2015). *Analyse du Cycle de Vie (ACV), Notes de cours*. Niort, Institut des Risques Industriels, Assurantiels et Financiers (IRIAF), Université de Poitiers, 13 p.
- Aissani, L., Vaxelaire, S., Papinot, P.-E., Védrine, H., Mollaret, M.-E. et J. Villeneuve (2012). Tâche 2 : Méthodes d'évaluation des impacts environnementaux des opérations de prétraitement des déchets. In Agence National de la Recherche (ANR). *Projet ANR-08-ECOT-004, CleanWast, Évaluation des technologies propres et durables de gestion des déchets*. [http://cleanwast.brgm.fr/Documents/Deliverables/CleanWasT\\_Delivvable\\_2.pdf](http://cleanwast.brgm.fr/Documents/Deliverables/CleanWasT_Delivvable_2.pdf) (Page consultée le 28 octobre 2015).
- Aldred, N. et A.S. Clare (2008). The adhesive strategies of cyprids and development of barnacle-resistant marine coatings. *Biofouling*, vol. 1, n° 24, p. 351-363.
- Anonyme (2015). *Le Petit Larousse illustré 2015 : dictionnaire encyclopédique*. Paris, Larousse, 2048 p.
- Baumann, H. and Tillman, A.-M. (2004). *The Hitch Hicker's Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application*. Suède, Studentlitteratur, 543 p.
- Bellini, B. et M. Janin (2011). Écoconception : état des outils disponibles. *Dossier Techniques de l'Ingénieur g6010*, vol.2, n°1, p. 1-35.
- Benchrif, R., Bennouna, A. et D. Zejli (2007). Rôle de l'hydrogène dans le stockage de l'électricité à base des énergies renouvelables. In 2<sup>e</sup> Conférence Internationale sur l'hydrogène 2W1H2, Ghardaïa, 27-29 Octobre, Algérie, Afrique du Nord.
- Blosseville, T. et A. Remoué (2008). les bateaux virent au vert. *L'Usine Nouvelle*, 17 juillet, p. 62-65.
- BNQ 21 000 (2011). Contexte évolutif du développement durable. In BNQ 21000. *Approche BNQ 21 000. Cadre de référence*. <http://www.bnq21000.qc.ca/projet-bnq-21000/cadre-et-gouvernance/contexte-evolutif-du-developpement-durable/> (Page consultée le 10 septembre 2015).
- Boardman, R. Thornton, D., Schooman, H. et R. Verbeek (2005). Wärtsilä waterjets for US Navy INLS program. *Wärtsilä Marine News*, n° 1, p. 26-30.
- Boiral, O. et G. Verna (2004). La protection de l'environnement au service de la paix. *Études internationales*, vol. 35, n°2, p. 261-286. <http://www.erudit.org/revue/ei/2004/v35/n2/009037ar.html> (Page consultée le 08 septembre 2015).
- Boiral, O., Poncelin De Raucourt, C. et G. Coquet (2004). *Cas d'étude : Situation environnementale explosive à la base militaire de Valcartier*. Québec, Université Laval, 28 p.
- Borer, L.-A (2015). Hermione au Chevalier-Paul, les frégates de la Marine française. *The Provence Herald*, 23 avril, p.1.
- Boulanger, P. (2010). Du bon usage de l'environnement par les armées : le début des stratégies nationales militaires de développement durable. *Cahiers de géographie du Québec*, vol. 54, n°152. <http://id.erudit.org/iderudit/045649ar> (Page consultée le 10 juillet 2015).
- Brundtland, G.H. (1987). *Notre avenir à tous* (rapport). Genève, Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement (CMED), 432 p.

- Buckingham, J. (2009). European Defence Agency. Overall platform energy efficiency study. In BMT Defence Services. *Rapport technologique*, Vol. 1, n°1.
- Bullard, C.-W. et A.V. Sebald (1988). Monte carlo sensitivity analysis of Input-Output Models. *The review of economics and statistics*, vol. 4, n°70, p. 708-712.
- Canada (2009). L'industrie canadienne de la construction navale et maritime industrielle. In Industrie Canada. *Construction navale et marine industrielle, Fiche d'informations*. <http://www.ic.gc.ca/eic/site/sim-cnmi.nsf/fra/uv00049.html> (Page consultée le 07 octobre 2015).
- Canada (2011). Stratégie Nationale d'Approvisionnement en matière de Construction Navale (SNACN). In Industrie Canada. *Construction navale et marine industrielle, Fiche d'informations*. <http://www.ic.gc.ca/eic/site/sim-cnmi.nsf/fra/uv00050.html> (Page consultée le 07 octobre 2015).
- Canada (2012). Le gouvernement Harper crée des emplois et stimule la croissance dans l'industrie de la construction navale. In Plan d'Action Économique du Canada. *Construction navale, document d'informations*. <http://plandaction.gc.ca/fr/nouvelles/gouvernement-harper-cr-e-des-emplois-et-stimule-la-croissance-l-industrie-de-la> (Page consultée le 07 octobre 2015).
- Canada (2014). La Stratégie environnementale de la Défense : un plan pour des opérations militaires durables. In Défense Nationale. *Canada, Rapport d'informations publiques*. [http://www.forces.gc.ca/assets/FORCES\\_Internet/docs/fr/defence-environmental-strategy\\_fr\\_v4\\_small.pdf](http://www.forces.gc.ca/assets/FORCES_Internet/docs/fr/defence-environmental-strategy_fr_v4_small.pdf) (Page consultée le 05 octobre 2015).
- Castonguay, A. (2010). Le Canada se hisse parmi les puissances militaires. *Le Devoir*, 04 juin, p. A3
- Centre d'Études Supérieures de la Marine (CESM) (2012). Tour du monde des enjeux navals et maritimes par le CESM. In La Hune du CESM. *Centre d'Études Supérieures de la Marine, document d'informations*. <http://cesm.marine.defense.gouv.fr/content/download/4111/56845/file/Hune%20Novembre%202012.pdf> (Page consultée le 04 octobre 2015).
- Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales (CNRTL) (2012a). Corvette. In Portrait lexical, CNRTL. Dictionnaire d'informations en ligne. <http://www.cnrtl.fr/definition/corvette> (Page consultée le 17 janvier 2016).
- Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales (CNRTL) (2012b). Auxiliaire. In Portrait lexical, CNRTL. Dictionnaire d'informations en ligne. <http://www.cnrtl.fr/definition/Auxiliaire> (Page consultée le 17 janvier 2016).
- Centre Régional d'Information des Nations Unies (UNRIC) (2012). Sites ONU sur le développement durable. In UNRIC. *Fiche d'information*. [https://www.unric.org/html/english/library/backgrounders/sustdev\\_french.pdf](https://www.unric.org/html/english/library/backgrounders/sustdev_french.pdf) (Page consultée le 14 janvier 2016).
- Chaix, N. (2006). *Armement et désordre mondial*, 1<sup>e</sup> édition, Paris, Association des auditeurs du Centre des hautes études de l'armement, 351 p.
- Chen, W. (2007). Solutions for waste and sewage treatment onboard ship. In Conférence Asie-Pacifique de Technologies de Navires Écologiques, Singapour, 16-17 Octobre, Asie.
- Choi, Y.-B. (2008). Energy saving devices, In DSME. Rapport d'informations. [http://legacy.sname.org/sections/greece/DSME%20Energy%20Saving%20Device%20for%20GreeceSNAME\(4distribution\).pdf](http://legacy.sname.org/sections/greece/DSME%20Energy%20Saving%20Device%20for%20GreeceSNAME(4distribution).pdf) (Page consultée le 05 janvier 2016).

- Claudepierre, M. (2010). *Projet R&D Eonav : analyse du contexte réglementaire* (document interne numéro D01 indice A). Paris, Bureau Veritas, 10 p.
- CMA-CGM (2015). CMA-CGM poursuit l'optimisation énergétique et environnementale de ses navires et remplace les bulbes d'étrave de 10 d'entre eux. *In* CMA-CGM, Technologie. Document d'informations. <https://www.cma-cgm.fr/detail-news/640/cma-cgm-poursuit-l-optimisation-energetique-et-environnementale-de-ses-navires-et-remplace-les-bulbes-d-etraive-de-10-d-entre-eux> (Page consultée le 21 décembre 2015).
- Codan, E. et C. Mathey (2007). Emissions : A new challenge for turbocharging. *In* 25<sup>ème</sup> Congrès Mondial des Technologies de Combustion de Moteur CIMAC, Vienne, 21-24 mai 2007. Autriche, Europe, Conseil international des machines à combustion.
- Comité 21 (s.d.). Territoires et Développement durable. *In* Comité français pour l'environnement et le développement durable. *Guide des collectivités territoriales pour la mise en œuvre d'un développement durable*. [http://www.comite21.org/docs/guides/guide\\_territoire\\_dev\\_durable1.pdf](http://www.comite21.org/docs/guides/guide_territoire_dev_durable1.pdf) (Page consultée le 6 septembre 2015).
- Commission européenne (2015). La lutte contre le terrorisme au niveau européen : présentation des actions, mesures et initiatives de la Commission européenne. *In* Base de données des communiqués de presse. *Fiche d'information*. [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-15-3140\\_fr.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-3140_fr.htm) (Page consultée le 30 octobre 2015).
- Cordial (2016). Porte-aéronefs. *In* Cordial. *Dictionnaire en ligne, document d'informations*. <http://dictionnaire.cordial-enligne.fr/definition/porte-a%C3%A9ronefs> (Page consultée le 17 janvier 2016).
- Cordier, S. et L. Morand (2009). Réduction de la puissance propulsive des navires. La réglementation des pollutions marines à l'horizon 2012. Les solutions, École nationale supérieure des techniques avancées, 29 septembre, p. 12.
- Davie (2013a). Défense au service du Canada. *In* Industries. *Document d'informations*. <http://www.davie.ca/fr/davie-industries/?ind=955> (Page consultée le 07 octobre 2015).
- Davie (2013b). Les politiques de l'entreprise. *In* Davie Inc. *Gouvernance d'entreprise, à propos de nous*. <http://www.davie.ca/fr/a-propos-de-nous/gouvernance-dentreprise/> (Page consultée le 07 octobre 2015).
- DCNS (2012). Produits : frégates multimiions. *In* Activités. Document d'informations. <http://fr.dcnsgroup.com/activites/produits/#fregate-multimission> (Page consultée le 1<sup>e</sup> décembre 2015).
- DCNS (2014a). Présentation. *In* DCNS. *Profil, Document d'informations*. <http://fr.dcnsgroup.com/groupe/profil/qui-sommes-nous/> (Page consultée le 25 septembre 2015).
- DCNS (2014b). Engagement social. *In* DCNS. *Responsabilité d'entreprise, Document d'informations*. <http://fr.dcnsgroup.com/groupe/responsabilite-dentreprise/engagement-social/> (Page consultée le 26 septembre 2015).
- DCNS (2014c). Développement économique. *In* DCNS. *Responsabilité d'entreprise, Document d'informations*. <http://fr.dcnsgroup.com/groupe/responsabilite-dentreprise/developpement-economique/> (Page consultée le 26 septembre 2015).
- DCNS (2014d). Enjeux environnementaux. *In* DCNS. *Responsabilité d'entreprise, Document d'informations*. <http://fr.dcnsgroup.com/groupe/responsabilite-dentreprise/enjeux-environnementaux/> (Page consultée le 27 septembre 2015).

- DCNS (2015). Rapport d'activité et de responsabilité sociale d'entreprise 2014. *In* La RSE au cœur de notre développement, Responsabilité d'entreprise. *Rapport d'informations publiques*. [http://fr.dcnsgroup.com/wp-content/rapport-annuel/RA\\_2014/](http://fr.dcnsgroup.com/wp-content/rapport-annuel/RA_2014/) (Page consultée le 06 octobre 2015).
- Delitek (2015). Waste compactors. *In* System & Solutions, Marine. *Entreprise norvégienne de technologies marines*. <http://www.delitek.no/System-Solutions/Marine/Waste-Compactors> (Page consultée le 05 janvier 2016).
- Desclèves, P.-É (2006). Un nouveau concept de sécurité à bord des bâtiments de surface. *In* Marine nationale, La Revue Maritime. *Revue d'informations*. <http://ifm.free.fr/htmlpages/pdf/2007/477-5-securite.pdf> (Page consultée le 04 janvier 2016).
- Directive 89/677/CEE du Conseil, du 21 décembre 1989, portant sur la huitième modification de la directive 76/769/CEE concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des états membres relatives à la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses* (1989), JORF, n° 89-677
- Dobretsov, S. Dahms, H.-U. et P.-Y. Qian (2006). Inhibition of biofouling by marine microorganisms and their metabolites. *Biofouling*, vol. 1, n° 22, p. 43-54.
- Dorsouma, Al.H et M.A Bouchard (2006). Conflits armés et environnement. *In* Développement durable et territoires. Dossier 8. <http://developpementdurable.revues.org/3365#tocto1n3> (Page consultée le 14 mai 2015).
- Eckert, P., Velji, A. et U. Spicher (2007). Numerical investigations of fuel-water emulsion combustion in DI-diesel engines. *In* 25<sup>ème</sup> Congrès Mondial des Technologies de Combustion de Moteur CIMAC, Vienne, 21-24 mai 2007. Autriche, Europe, Conseil international des machines à combustion.
- Éco3e (2015). Les différentes phases de l'ACV. *In* Outils d'éco-conception – Analyse de Cycle de Vie. *Guide Eco-conception des éco-organismes DEEE, Document d'informations*. <http://eco3e.eu/boite-a-outils/acv/#1.2> (Page consultée le 02 novembre 2015).
- EI-99 (Eco-indicator 99) (2000). Manual for Designers : A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. *In* Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment. *Manuel d'utilisation*. [https://www.pre-sustainability.com/download/EI99\\_Manual.pdf](https://www.pre-sustainability.com/download/EI99_Manual.pdf) (Page consultée le 25 décembre 2015).
- Enseignement Militaire Supérieur Scientifique et Technique (EMSST) (2014). Environnement mondial de l'industrie de défense. *In* EMSST. *Approche économique*. <http://www.armement.ead-minerve.fr/index.php/wike/environnement-des-entreprises/environnement-global-de-l-industrie-de-defense/environnement-mondial> (Page consultée le 8 septembre 2015).
- Enseignement Militaire Supérieur Scientifique et Technique (EMSST) (2015a). L'industrie française d'armement : aspects industriels. *In* EMSST. *Approche économique*. <http://www.armement.ead-minerve.fr/index.php/wike/environnement-des-entreprises/l-industrie-francaise-d-armement/l-industrie-francaise-d-armement-aspects-industriels> (Page consultée le 30 septembre 2015).
- Enseignement Militaire Supérieur Scientifique et Technique (EMSST) (2015b). DCNS. *In* EMSST. *Approche par acteurs. Liste par États. France*. <http://www.armement.ead-minerve.fr/index.php/8-industries/37-dcns> (Page consultée le 30 septembre 2015).
- Enseignement Militaire Supérieur Scientifique et Technique (EMSST) (2015c). General Dynamics Corporation. *In* EMSST. *Approche par acteurs. Liste par États. États-Unis*. <http://www.armement.ead-minerve.fr/index.php/8-industries/127-general-dynamics-corporation> (Page consultée le 09 octobre 2015).

- Enseignement Militaire Supérieur Scientifique et Technique (EMSST) (2015d). Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering. *In EMSST. Approche par acteurs. Liste par États. Corée du Sud.* <http://www.armement.ead-minerve.fr/index.php/8-industries/15-daewoo-shipbuilding-and-marine-engineering> (Page consultée le 09 octobre 2015).
- Enseignement Militaire Supérieur Scientifique et Technique (EMSST) (2015e). Arsenal Marine de Rio de Janeiro. *In EMSST. Approche par acteurs. Liste par États. Brésil.* <http://www.armement.ead-minerve.fr/index.php/8-industries/123-arsenal-marine-de-rio-de-janeiro> (Page consultée le 09 octobre 2015).
- Enseignement Militaire Supérieur Scientifique et Technique (EMSST) (2015f). BAE Systems. *In EMSST. Approche par acteurs. Liste par États. Grande Bretagne.* <http://www.armement.ead-minerve.fr/index.php/8-industries/34-bae-systems> (Page consultée le 09 octobre 2015).
- Eskola, J. (2008). The business environment : emissions, energy cost, competent crew. *In* Conférence Européenne de l'Industrie du Bateau, Bruxelles, 25-26 Février, Belgique, Europe.
- European Chemicals Agency (ECHA) (2016). REACH. *In* ECHA, Réglementation. *Document d'informations.* <http://echa.europa.eu/fr/regulations/reach> (Page consultée le 17 janvier 2016).
- Fay, F., Linossier, I., Dufau, C. Bourgougnon, N. et K. Vallee-Rehel (2008). Peintures marines antifouling de nouvelle génération. *In* Techniques de l'ingénieur, vol. 1, n° n.d, p. n.d.
- Federal Register (2000). Greening the Government Through Leadership in Environmental Management (Ordre Exécutif 13148 des Archives Nationales et de l'Enregistrement Administratif des États-Unis). 1<sup>e</sup> édition, la Maison Blanche, Washington, 14 p.
- Feinman, M. (2009). Navy biofuels. U.S. Navy testing everything from algae to animals fats. *Biofuel Journal*, vol.7, n°4, p. 57.
- Filliau, G. (2003). Application du concept de navire tout électrique aux nouveaux bâtiments navals. *Science et défense 2003 – Futures énergies embarquées*, vol. 1, n° n.d, p. 255-262.
- France. Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE) (2015a). Stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable. *In* MEDDE. *Rapport d'informations.* <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/SNTEDD.pdf> (Page consultée le 30 septembre 2015).
- France. Ministère de la défense et des anciens combattants (2011). Éco-conception navale. Pratiques actuelles et futures dans les activités de construction navale civile et militaire, en France et à l'étranger. *In* Ministère de la défense et des anciens combattants. *Direction Générale de l'Armement.* [http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCgQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.defense.gouv.fr%2Fcontent%2Fdownload%2F147286%2F1472704%2Ffile%2F2011\\_ecoconception\\_navale\\_cedocar.pdf&ei=WB9VYg8Ceac7gbFolPYCg&usg=AFQjCNGbDSeVwKxEoxcJSAENrTguOcmbWg&sig2=uaO9KpWT8wBuZelGZiSKuQ&bvm=bv.93564037,d.ZGU](http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCgQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.defense.gouv.fr%2Fcontent%2Fdownload%2F147286%2F1472704%2Ffile%2F2011_ecoconception_navale_cedocar.pdf&ei=WB9VYg8Ceac7gbFolPYCg&usg=AFQjCNGbDSeVwKxEoxcJSAENrTguOcmbWg&sig2=uaO9KpWT8wBuZelGZiSKuQ&bvm=bv.93564037,d.ZGU) (Page consultée le 25 avril 2015).
- France. Ministère de la Défense. Secrétariat Général pour l'Administration (SGA) (2012a). Stratégie de Développement durable. *In* Ministère de la Défense. *Fiche d'informations. Rapports.* <http://www.defense.gouv.fr/sga/le-sga-en-action/developpement-durable/strategie-de-developpement-durable/strategie-du-ministere-s3d> (Page consultée le 30 septembre 2015).
- France. Ministère de la Défense. Secrétariat Général pour l'Administration (SGA) (2012b). Stratégie de Développement durable de la Défense : Rapport d'activité 2011. *In* Ministère de la Défense. *Fiche*

d'informations. *Rapports*. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/La-strategie-nationale-de,42115.html> (Page consultée le 30 septembre 2015).

- France. Ministère de la Défense. Secrétariat Général pour l'Administration (SGA) (2012c). Environnement. In Ministère de la Défense, Développement durable. *Fiche d'informations. Rapports*. <http://www.defense.gouv.fr/sga/le-sga-en-action/developpement-durable/environnement/installations-classees> (Page consultée le 21 septembre 2015).
- Futura-Sciences (2016a). Biocarburant. In Environnement. *Dictionnaire, Futura-Environnement. Dictionnaire d'informations en ligne*. <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dico/d/energie-renouvelable-biocarburant-1998/> (Page consultée le 17 janvier 2016).
- Futura-Sciences (2016b). Écosystème. In Environnement. *Dictionnaire, Futura-Environnement. Dictionnaire d'informations en ligne*. <http://m.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dico/d/environnement-ecosysteme-135/> (Page consultée le 17 janvier 2016).
- Futura-Sciences (2016c). Eutrophisation. In Environnement, développement durable. *Dictionnaire, Futura-Environnement. Dictionnaire d'informations en ligne*. <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dico/d/developpement-durable-eutrophisation> (Page consultée le 17 janvier 2016).
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.-J., Doka, G., Dones, R., Heck, T., Hellweg, S., Hischer, R., Nemecek, T., Rebitzer, G. et M. Spielmann (2005). The ecoinvent Database : Overview and Methodological Framework. *International Journal Life Cycle Assessment*, vol. 10, n°1, p. 3-9.
- Global Footprint Network (GFN) (2015). Empreinte Mondiale. In Global Footprint Network. *L'essentiel*. [http://www.footprintnetwork.org/fr/index.php/GFN/page/world\\_footprint/](http://www.footprintnetwork.org/fr/index.php/GFN/page/world_footprint/) (Page consultée le 13 septembre 2015).
- Godard, C. (2008). Synthèse sur les outils et méthodes d'évaluation des impacts environnementaux, sociaux et territoriaux existant. In AgroTransfert et RMT Biomasse. *Tâche 4 : RMT Biomasse énergie environnement et territoires, Document d'informations*. [http://www.biomasse-territoire.info/fileadmin/documents/publications/energie\\_biomasse/RMT\\_biomasse/Listing\\_Outils\\_et\\_Methodes\\_evaluation\\_RMT\\_Biomasse.pdf](http://www.biomasse-territoire.info/fileadmin/documents/publications/energie_biomasse/RMT_biomasse/Listing_Outils_et_Methodes_evaluation_RMT_Biomasse.pdf) (Page consultée le 29 octobre 2015).
- Goldie, B. (2009). Determining fuel savings from antifouling coatings. *Marine Propulsion*, vol. 1, n° n.d, p. 71-74.
- Guillot, A. et J.-A Meyer (2008). *La bionique. Quand la science imite la Nature*. 1<sup>e</sup> édition, Paris, Éditions Dunod, Collection Universciences, 229 p.
- Guinée, J.B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Sleeswijk, A. W., Suh, S., Udo de Haes, H. A., de Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M. A. J., Lindijer, E., Roorda, A. A. H., van der Ven, B. L. et B. P. Weidema (2002). *Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards*. Pays-Bas, Kluwer Academic Publishers, Centre of Environmental Sciences, Leiden University, 692 p.
- Greenwashing (2012). Qu'est ce que le greenwashing ? In ADEME. *Document d'informations*. <http://www.greenwashing.fr/definition.html> (Page consultée le 17 janvier 2016).
- Hassellöv, I.-M et D. Turner (2008). Seawater scrubbing – reduction of SOx emissions from ship exhausts. In Université de Technologie Chalmers. <https://www.chalmers.se/en/staff/Pages/idamaja.aspx> (Page consultée le 12 décembre 2015).

- Hauschild, M. Z., Goedkoop, M., Guinée, J.B., Heijungs, R., Huijbregts, M., Jolliet, O., Margni, M. et A. De Schryver (2009). Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook. *In* Life Cycle Thinking and Assessment. Institute for the Environment and Sustainability. <http://lct.jrc.ec.europa.eu/assessment/assessment/projects#d> (Page consultée le 18 octobre 2015).
- Haut Conseil de la Coopération Internationale (HCCI) (2006). *Développement durable et solidarité internationale : Enjeux, bonnes pratiques, propositions pour un développement durable du Sud et du Nord*. Paris, HCCI, 138 p.
- Heinzmann, X. (2008). Systems squeeze NO<sub>x</sub> and PM emissions. *Marine Propulsion*, vol. 1, n° 37, p. 20.
- Herranen, M., Huhtala, K., Vilenius, M. et G. Liljenfeldt (2007). The electro-hydraulic valve actuation (EHVA) for medium speed diesel engines. *In* Development steps with simulations and measurements, SAE Congrès Mondial 2007, Cobo Center, 16-19 avril 2007. Detroit, Michigan, USA, Congrès d'experts.
- Herrmann, K., Schulz, R. et G. Weisser (2007). Development of a reference experiment for large diesel engine combustion system optimization. *In* 25<sup>ème</sup> Congrès Mondial des Technologies de Combustion de Moteur CIMAC, Vienne, 21-24 mai 2007. Autriche, Europe, Conseil international des machines à combustion.
- Hewitt, D.P. (1991). Military expenditures in the developing world. *Finance and Development*, vol. 28, n° 3, p. n.d.
- Hodge, C.-G. et D.-J. Mattick (2008). The electric warship then, now and later. *In* 9<sup>ème</sup> Conférence et Exposition Internationales de l'Ingénierie Navale (INEC), Hambourg, 1-3 Avril, Allemagne, Europe.
- Hohmann, C. (2015). Kaizen – amélioration continue. *In* Lean entreprise, Lean management. Accueil. Informations pratiques. <http://christian.hohmann.free.fr/index.php/lean-entreprise/lean-management/289-kaizen-amelioration-continue> (Page consultée le 17 janvier 2016).
- Hollenbach, U. et J. Friesch (2007). Efficient hull forms : what can be gained ? *In* Ship Efficiency : 1<sup>ère</sup> Conférence Internationale, Hambourg, 8-9 Octobre 2007, Allemagne, Europe.
- Hopko, S. (2009). Carderock develops fully Automated Oil Pollution Abatement system. *Currents*, vol. 1, n° n.d, p. 6-17.
- IBM (2006). Global CEO Study 2006 : Expanding the Innovation Horizon. *In* IBM. *Services*. <http://www-935.ibm.com/services/us/gbs/bus/pdf/ceostudy.pdf> (Page consultée le 12 septembre 2015).
- Irving (2015a). Shipbuilding : You need expertise and experience. *In* Services, Shipbuilding. *Document d'informations*. <http://www.irvingshipbuilding.com/Irving-shipbuilding-services-shipbuilding.aspx> (Page consultée le 08 octobre 2015).
- Irving (2015b). Engineering : A full spectrum of high value services. *In* Services, Shipbuilding. *Document d'informations*. <http://www.irvingshipbuilding.com/irving-shipbuilding-services-engineering.aspx> (Page consultée le 08 octobre 2015).
- Irving (2015c). Government : At your service every step of the way. *In* Markets, Government. *Document d'informations*. <http://www.irvingshipbuilding.com/irving-shipbuilding-government.aspx> (Page consultée le 08 octobre 2015).
- Irving (2015d). Social Responsibility : Strengthening our communities together. *In* About us, Social Responsibility. *Document d'informations*. <http://www.irvingshipbuilding.com/irving-shipbuilding-about-us-social-responsibility.aspx> (Page consultée le 08 octobre 2015).

- Irving (2015e). Environment : Pro-active about environmental performance. *In* Irving, Environment. *Document d'informations*. <http://www.irvingshipbuilding.com/irving-shipbuilding-environment.aspx> (Page consultée le 08 octobre 2015).
- ISO-14 062, 2003. *Environmental management - Integrating environmental aspects into product design and development*. AFNOR, 36p.
- Jaskierowicz, D., Valayer, S., Dos Santos Justo, M., Brière, M. et N. Fredon (2003). La Marine nationale et l'environnement. *L'Armement*, vol.1, n°84, p. 52-60.
- Jeong, M.-G, Suh, H.-W et J.-R. Morrison (2010). A Framework for Stepwise Life Cycle Assessment during Product Design with Case-Based Reasoning. *6<sup>th</sup> annual IEEE Conference on Automation Science and Engineering* (p. 118-123), Toronto, 21-24 Août 2010.
- Jespersen, P.-H. et J. Munksgaard (2001). Danish Transport Council and traffic research group on University of Aalborg. *Trafikdage à Université d'Aalborg*, Aalborg, Danemark.
- Jolliet, O., Saadé, M., Crettaz, P. et S. Shaked (2010). *Analyse du cycle de vie : Comprendre et réaliser un écobilan*. 2<sup>e</sup> édition, Suisse, Presses polytechniques et universitaires romandes, 302 p.
- Joshi, S. (1999). Product Environmental Life-Cycle Assessment Using Input-Output Techniques. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 3, p. 95-120.
- Journal du Net (JDN) (2016). RSE (Responsabilité Sociale des Entreprises) : définition, traduction. *In* JDN, Business. *Fiche pratique*. <http://www.journaldunet.com/business/pratique/dictionnaire-economique-et-financier/16621/rse-responsabilite-sociale-des-entreprises-definition-traduction.html> (Page consultée le 15 janvier 2016).
- Kaldas, A., Picard, I., Chronopoulos, C., Chevalier, P., Carabin, P., Holcroft, G., Alexander, G., Spezio, J., Mann, J. et A. Molintas (2006). Plasma arc waste destruction system (PAWDS). A novel approach to waste elimination aboard ships. *In* Kaldas et autres (éd.), *Marine Environmental Engineering Technology Symposium (MEETS)* (p. 1-10), Hilton Crystal City, 23-25 Janvier 2006. Arlington, Société Américaine des Ingénieurs Navals.
- Kallio, I., Rantanen, P., Imperato, M., Antila, E., Sarjovaara, T., Larmi, M., Huhtala, K. et G. Liljenfeldt (2007). The design and operation of the fully controllable medium-speed research engine EVE. *In* 25<sup>ème</sup> Congrès Mondial des Technologies de Combustion de Moteur CIMAC, Vienne, 21-24 mai 2007. Autriche, Europe, Conseil international des machines à combustion.
- Kempf, H. (2004). « Le scénario climatique d'apocalypse... que voulait cacher le Pentagone ». *Le Monde*, 6 mars, p. 1.
- Khazri, A. (2011). Le développement durable et les conflits. *Télescope*, vol. 17, n°2, p. 114-130. [http://www.telescope.enap.ca/Telescope/docs/Index/Vol\\_17\\_no2/Telv17n2\\_Khazri.pdf](http://www.telescope.enap.ca/Telescope/docs/Index/Vol_17_no2/Telv17n2_Khazri.pdf) (Page consultée le 23 avril 2015).
- Koehl, M.A.R (2007). Mini review : hydrodynamics of larval settlement into fouling communities. *Biofouling*, vol. 1, n° 23, p. 357-368.
- Le Pochat, S. (2005). *Intégration de l'éco-conception dans les PME : proposition d'une méthode d'appropriation de savoir-faire pour la conception environnementale des produits*. Thèse de doctorat, Arts et Métiers ParisTech (ENSAM), Paris, France, 279 p.
- Legrand, J. (2010). Les micro-algues fourniront-elles un jour le carburant de nos véhicules ? *Dossier Pour la Science*, vol. 1, n°69, p. 62-63.

- Loi 2000-1208 du 13 décembre 2000 relative à la solidarité et au renouvellement urbains* (2000), JORF, n° 289
- Loi n° 99-533 du 25 juin 1999 d'orientation pour l'aménagement et le développement durable du territoire et portant modification de la loi n° 95-115 du 4 février 1995 d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire* (1999), JORF, n° 99-533
- Loi relative à la solidarité et au renouvellement urbains* (2000), L.R.F., C. III
- Loi sur l'orientation pour l'aménagement et le développement durable du territoire* (1999) L.R.F., art. 2
- Loi sur le développement durable* (2006), L.R.Q., c. Q-2
- Maison, M. (2012). Canada : Mission de découverte du secteur de la construction navale. *In Business France. Environnement, Salon d'informations.*  
<http://export.businessfrance.fr/environnement/001PRG-16151+canada-mission-de-decouverte-du-secteur-de-la-construction-navale-.html> (Page consultée le 05 octobre 2015).
- Man B & W Diesel A/S (2005). Operating on low sulphur fuel : Keeping vessels operating effectively in the light of IMO's MARPOL Annex VI. *In Man B & W Diesel A/S.*  
<http://marine.man.eu/docs/librariesprovider6/technical-papers/operation-on-low-sulphur-fuels.pdf?sfvrsn=20> (Page consultée le 20 décembre 2015).
- Markle, S. P. (2006). Design and prototype development of advanced oxidation black and gray water treatment systems. *In Symposium des Technologies Marines et Environnemental d'Ingénierie (MEETS), Ville de Hilton Crystal, 23-25 Janvier, VA, USA.*
- Marpol 73/78 (1997). La convention internationale de 1973 pour la préservation de la pollution par les navires, telle que modifiée par le protocole de 1978 y relatif. *In Espace juridique. Journal Officiel.*  
<http://www.ue.espacejudiciaire.net/docs/984.PDF> (Page consultée le 11 juillet 2015).
- Marx, S., Nguyen, T., Bourgeault, J. et J. Hansen (2006). The adaptation of a commercial-off-the-shelf (COTS) solid waste incinerator for use aboard U.S. Navy aircraft carriers. *In Marx et autres (éd.), Marine Environmental Engineering Technology Symposium (MEETS)* (p. 1-10), Hilton Crystal City, 23-25 Janvier 2006. Arlington, Société Américaine des Ingénieurs Navals.
- Matveev, K. (2003). Air-cavity ships are ready for a wider market. *Speed at Sea*, vol. 1, n° n.d, p. 13-16.
- Meakin, S. (1992). Le Sommet de la Terre de Rio : Sommaire de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement. *In Publications du Gouvernement du Canada. Archives.*  
<http://publications.gc.ca/collections/Collection-R/LoPBdP/BP/bp317-f.htm> (Page consultée le 3 septembre 2015).
- Melquiot, P. (2003). *1001 mots et abréviations de l'environnement et du développement durable*. 1<sup>e</sup> édition, Lyon, Éditions Recyconsult, 192 p.
- Mer et Marine (2010). Le Canada va mobiliser 35 milliards de dollars pour renouveler sa marine. *In Défense. Toute l'actualité maritime, article de journal électronique.*  
<http://www.meretmarine.com/fr/content/le-canada-va-mobiliser-35-milliards-de-dollars-pour-renouveler-sa-marine> (Page consultée le 04 octobre 2015).
- Meyers Norris Penny (2011). Seaspan Shipyards : Economic Impacts of Expanded Shipbuilding Operations in BC. *In Seaspan Shipyards. Rapport, document d'informations.*  
<http://www.cmaw.ca/sites/default/files/Seaspan%20Economic%20Imact%20Assessment-Final-May16.pdf> (Page consultée le 11 octobre 2015).

- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE) (2013). Empreinte carbone. In MEDDE, Observation et Statistiques, Énergie et Climat. *Document d'informations*. <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/energie-climat/s/climat-effet-serre-empreinte-carbone.html> (Page consultée le 17 janvier 2016).
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE) (2014). Qu'est-ce-que la responsabilité sociétale des entreprises ? In MEDDE. *Développement durable, l'intégration des démarches de développement durable*. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Qu-est-ce-que-la-responsabilite.html> (Page consultée le 10 septembre 2015).
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE) (2016). Natura 2000. In MEDDE, Eau et Biodiversité. *Document d'informations*. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Natura-2000,2414-.html> (Page consultée le 17 janvier 2016).
- Moreau, R. (2009). L'impact environnemental du nautisme : une approche du cycle de vie pour une plaisance bleue. In Confédération Européenne des Industries Nautiques (ECNI). <http://www.nautismequebec.com/doc/ECNI-Environmental%20Report%20FR.pdf> (Page consultée le 28 avril 2015).
- Munksgaard, J., K.A. Pedersen et M. Wier (2001). Changing consumption patterns and CO2 reduction. *International Journal of Environment and Pollution*, vol.2, n°15, p. 146-158.
- Nicholls, C. (2008). Wastewater regs ripple through. *The Naval Architect*, vol. n.d, n° n.d, p. 34-35.
- Novethic (2015). Réchauffement climatique. In Novethic, Détail lexique, Lexique. *Document d'informations*. <http://www.novethic.fr/lexique/detail/rechauffement-climatique.html> (Page consultée le 15 janvier 2016).
- Observatoire des situations de déplacement interne (IDMC) (2014). Communiqué de presse pour diffusion immédiate. In IDMC. *Internal-displacement.org*, 1, 14 mai. <http://www.internal-displacement.org/assets/library/Media/201405-globalOverview-2014/2.-Global-PR-FINAL-UNHCR-fr-no-embargo.pdf> (Page consultée le 25 septembre 2015).
- Organisation Maritime Internationale (OMI) (2003). Resolution MEPC. 107 (49), adopted on 18 July 2003. Revised equipment for machinery space bilge of ships. In Organisation maritime internationale.
- Organisation Maritime Internationale (OMI) (2008). Convention internationale sur le contrôle des systèmes antisalissure nuisibles sur les navires. In Qui sommes nous, Liste des conventions. *Document d'informations*. [http://www.imo.org/fr/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-on-the-Control-of-Harmful-Anti-fouling-Systems-on-Ships-\(AFS\).aspx](http://www.imo.org/fr/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-on-the-Control-of-Harmful-Anti-fouling-Systems-on-Ships-(AFS).aspx) (Page consultée le 25 décembre 2015).
- Organisation Maritime Internationale (OMI) (2009). Guide pour le diagnostic des contaminants dans les eaux de cale pollués dans le cadre de l'entretien, l'exploitation et le dépannage des systèmes de traitement des eaux de cale. In AFCAN (Association Française des Capitaines de Navires). *Document d'informations*. [http://google.fr/url?sa=t&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjm2Y\\_NyPfJAhVMvBokHWDIC14QFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.afcan.org%2Fdossiers\\_reglementation%2Fmepc59%2FMEPC.1-Circ.677.pdf&usg=AFQjCNHPFr8X61Ozc7eDFdMnp8kijFPLQ](http://google.fr/url?sa=t&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjm2Y_NyPfJAhVMvBokHWDIC14QFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.afcan.org%2Fdossiers_reglementation%2Fmepc59%2FMEPC.1-Circ.677.pdf&usg=AFQjCNHPFr8X61Ozc7eDFdMnp8kijFPLQ) (Page consultée le 25 décembre 2015).
- Organisation Maritime Internationale (OMI) (2015). Recyclage des navires. In Ce que nous faisons. *Document d'informations*. <http://www.imo.org/fr/OurWork/Environment/ShipRecycling/Pages/Default.aspx> (Page consultée le 05 janvier 2016).

- ORÉE (2015). Méthodologie de l'ACV. *In* Association Orée – Entreprises, Territoires et Environnement. *Document de consultation et d'informations*. [http://www.oree.org/\\_script/ntsp-document-file\\_download.php?document\\_file\\_id=81](http://www.oree.org/_script/ntsp-document-file_download.php?document_file_id=81) (Page consultée le 29 octobre 2015).
- Organisation Internationale de Normalisation (ISO) (2006a). *Management environnemental. Analyse du cycle de vie. Principes et cadres*. Norme internationale ISO 14040, Genève, ISO, 34 p.
- Organisation Internationale de Normalisation (ISO) (2006b). *Management environnemental. Analyse du cycle de vie. Exigences et lignes directrices*. Norme internationale ISO 14044, Genève, ISO, 48 p.
- Oxfam International, Amnesty International, IANSA (réseau d'action international sur les armes légères) (2004). Armer ou développer ? Évaluer l'impact des commerces d'armes sur le développement durable. *In* Oxfam. Campagne Contrôlez les armes. [http://www.oxfamfrance.org/sites/default/files/file\\_attachments/rapport\\_controlarms\\_armeroudevelooper\\_2004\\_fr.pdf](http://www.oxfamfrance.org/sites/default/files/file_attachments/rapport_controlarms_armeroudevelooper_2004_fr.pdf) (Page consultée le 12 avril 2015).
- Poitrat, E. (2009). Biocarburants. *In* Techniques de l'ingénieur. *Ressources documentaires*. <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/bioprocedes-dans-les-domaines-de-l-energie-et-de-l-environnement-42161210/biocarburants-be8550/> (Page consultée le 12 octobre 2015).
- Prinçaud, M. (2011). *Développement d'un outil d'aide à la décision environnementale basé sur l'Analyse de Cycle de Vie intégré au processus de conception*. Thèse de doctorat, Arts et Métiers Paris Tech, Chambéry, 336 p.
- Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) (2003). Rapport mondial sur le développement humain 2003. *In* PNUD. Les Objectifs du Millénaire pour le développement : Un pacte entre les pays pour vaincre la pauvreté humaine. [http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr03\\_fr\\_complete1.pdf](http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr03_fr_complete1.pdf) (Page consultée le 6 septembre 2015).
- Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) (1992). Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et de leur élimination. *In* PNUE, Convention de Bâle. *Rapport législatif d'informations*. <http://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/text/BaselConventionText-f.pdf> (Page consultée le 05 janvier 2016).
- Quantis (2009). Qu'est-ce que l'analyse de cycle de vie ? *In* Quantis – Sustainability counts. *Accueil. Analyse du cycle de vie*. [http://www.quantis-intl.com/fr/analyse\\_du\\_cycle\\_de\\_vie.php](http://www.quantis-intl.com/fr/analyse_du_cycle_de_vie.php) (Page consultée le 11 décembre 2015).
- Reyssat, M. et D. Quéré (2006). L'effet lotus. *Pour la science*, vol.1, n°347, p. 34-40.
- Rousseau, F. (2009). Solazyme signe avec l'US Navy pour la fourniture d'algo-carburant. *In* Les énergies de la Mer. *Document d'informations*. <http://energiesdelamer.blogspot.com/2009/09/solazyme-signé-avec-lus-navy-pour-la.html> (Page consultée le 10 octobre 2015).
- Salvetti, V., Guerrini, ICA. C., Pitiot, C., Bourrut, C., Fenot, C., Torres, F., Becq, M. et Chabassière, B. (2009). Armement et développement durable : comment concilier le besoin de supériorité technologique, tactique et stratégique de l'armée française avec le respect des contraintes du développement durable ? *In* Salvetti, V. (éd.), *Comité CHEAr sur l'armement militaire* (p.5-84), 45<sup>e</sup> session nationale. France, CHEAr (Centre des hautes études de l'Armement).
- Scott, R. (2010). Imagineering the future frigate. *Jame's Navy International*, vol. 115, n°7, p. 10-11.

- Searle, J. et M. Broussely (2003). Nouvelles sources d'énergie électrochimique de moyenne puissance. *In* Science et défense 2003 – Futures énergies embarquées, Centre des hautes études de l'armement (CHEAr), p. 209-220.
- Seaspan Shipyards (2015a). Industrial and Regional Benefits (IRB). *In* Seaspan Shipyards, National Shipbuilding Program. *Document d'informations*. <http://www.seaspan.com/industrial-regional-benefits-irb> (Page consultée le 08 octobre 2015).
- Seaspan Shipyards (2015b). Care for the Environment : Community, Awareness, and Recognition. *In* Seaspan Shipyards, Corporate & Community. *Document d'informations*. <http://www.seaspan.com/community-awareness-recognition> (Page consultée le 08 octobre 2015).
- Seaspan Shipyards (2015c). Seaspan Shipyards Current Programs. *In* Seaspan Shipyards, Current Programs. *Document d'informations*. <http://www.seaspan.com/seaspan-shipyards-current-programs> (Page consultée le 08 octobre 2015).
- Service de l'énergie et de l'environnement (SENE) (2013). Smog d'été, smog d'hiver. *In* Ne.ch, République Canton de Neuchâtel. *Document informatif*. <http://www.ne.ch/autorites/DDTE/SENE/Documents/ASsmog.pdf> (Page consultée le 14 janvier 2016).
- Shadwick, M. (2012). La Stratégie Nationale d'Approvisionnement en matière de Construction Navale (SNACN) et la Marine Royale Canadienne (MRC). *Revue militaire canadienne*, vol. 12, n°2. <http://www.journal.forces.gc.ca/vol12/no2/doc/Shadwick%20Fr%20Page77-80.pdf> (Page consultée le 05 octobre 2015).
- Sharma, P. et B.K. Pal (2006). Reduced NOx and smoke emission. *In* Symposium des Technologies Marines et Environnemental d'Ingénierie (MEETS), Ville de Hilton Crystal, 23-25 Janvier, VA, USA.
- Sheldon-Duplaix, A. (2012). Les flottes de guerre en 2013. *Marine et Océans*, 08 Octobre, p.1.
- Skysails (2008). Turn wind into profit, novembre, Skyfails GmbH & Co. KG. *In* Skyfails GmbH & Co. KG. *Document d'informations*. <http://www.skysails.info> (Page consultée le 06 novembre 2015).
- Smith, G. et C. Day (2005). Advances in integrated waste management. 2<sup>e</sup> Conférence Annuel sur les Technologies de Navires Écologiques, Amsterdam, 13-14 Avril, Pays-Bas, Europe.
- Solarsailor (2007). Technology solutions – Safe, efficient hybrid marine power, Solar Sailor Holdings Ltd. (SSHL), mai. *In* Solarsailor. *Document d'informations*. <http://ocius.com.au> (Page consultée le 10 décembre 2015).
- Spivey, D. (2007). How distillate fuel additives can benefit operators. *Marine propulsion*, vol. n .d, n° n.d, 175-178.
- Steinberger, J.K., Friot, D., Jolliet, O. et S. Erkman (2009). A spatially explicit life cycle inventory of the global textile chain. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 14, n°5, p. 443-455.
- Stoppa, M. (2013). Biomimetic and sustainable design : a virtuous relationship. *WIT Transactions on Ecology and The Environnement*, vol. 175, n°IX, p. 247-260.
- Suh, S. et G. Huppés (2000). *Gearing input-output model to LCA!Part I: General framework for hybrid approach*. Centre de Science Environnemental, Université Leiden, Leiden, Pays Bas.
- Sustainable Measures (2010). Characteristics of effective indicators. *In* Sustainable Measures. Indicateurs de développement 101, Indicateurs de développement. <http://www.sustainablemeasures.com/node/92> (Page consultée le 21 décembre 2015).

- Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA) (2016). La récupération des eaux noires des navires. In Nos compétences, le Pôle Maritime. *Document d'informations*. <http://www.siba-bassin-arcachon.fr/nos-competences/le-pole-maritime/la-navigation-sur-le-bassin-darcachon/la-recuperation-des-eaux-noir> (Page consultée le 17 janvier 2016).
- Thériault, N. (2011). *Dans le cadre d'une ACV, conception d'un outil d'aide à la sélection d'un jeu de catégories d'impact pour les entreprises européennes et nord-américaines du secteur textile*. Essai de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, 126 p.
- Thibault, J.-P., Convert, D., Alémany, A. et J. Etay (1992). Des navires pour le troisième millénaire ? *La Recherche*, vol. 23, n°247, p. 1180-1182.
- Thomas, I. et J.-L. Jaglin (2006). Réutilisation des eaux usées à usages sanitaires et technique : application aux eaux grises dans le bâtiment et aux eaux usées dans les navires. In Pôle de compétitivité EMC2.
- Tixador, P. (2003). Stockage d'énergie par bobine supraconductrice. In Science et défense 2003 – Futures énergies embarquées, Centre des hautes études de l'armement (CHEAr), p. 221-229.
- Townsend, M. et P. Harris (2004). « Now the Pentagon tells Bush: climate change will destroy us ». *The Observer*, 22 février, p. A4.
- Transport Canada (2010). Définition de ballast. In Transport Canada, Exploitation & Environnement, Transport Maritime. *Site d'informations*. <https://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/epe-environnement-ballast-definition-249.htm> (Page consultée le 17 janvier 2016).
- United Nations (2015). Convention on the Prohibition of Military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques. In Un Documents. *NGO Committee on Education of the Conference of NGOs*. <http://www.un-documents.net/enmod.htm> (Page consultée le 10 septembre 2015).
- United Nations Environnement Programme (UNEP) (2015). Stockholm 1972. In UNEP. *Rapport de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement Humain*. <http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=97> (Page consultée le 14 septembre 2014).
- Université Virtuel Environnement et Développement Durable (UVED) (2012). Les outils de l'éco-conception. In UVED. *L'éco-conception et ses outils*. [http://stockage.univ-valenciennes.fr/MenetACVBAT20120704/acvbat/chap02/co/ch02\\_010\\_acv\\_4.html](http://stockage.univ-valenciennes.fr/MenetACVBAT20120704/acvbat/chap02/co/ch02_010_acv_4.html) (Page consultée le 30 novembre 2015).
- Vedura (2015). Principe de précaution et développement durable. In Vedura, Développement durable. *Site internet d'informations*. <http://www.vedura.fr/developpement-durable/cadre/principe-precaution> (Page consultée le 17 janvier 2016).
- Veyret, Y. (2007). *Dictionnaire de l'Environnement*. Paris, Armand Colin, 400 p.
- Viano, Y. (2010). *Recherche de molécules non-toxiques actives en antifouling à partir d'organismes marins en Méditerranée*. Thèse de doctorat, Université du Sud Toulon-Var, Toulon, France, 254 p.
- Vincent, M.-C. (2014). *GDD 703 – Développement durable : Projets et produits, Notes de cours*. Sherbrooke, Centre universitaire de formation en environnement et développement durable (CUFE), Université de Sherbrooke, 4 p.

- Weisbuch, C. (2001). La peau du dauphin : un matériau-système extraordinaire. *In* Sanchez, C., *Biomimétisme et matériaux* (p. 133-138). Observatoire français des techniques avancées (OFTA), OFTA Éditeur et Éditions Tec&Doc.
- Wik, C. et B. Hallback (2007). Utilisation of 2-stage turbo charging as an emission reduction mean on a Wartsila 4-stroke medium-speed diesel engine. *In* 25<sup>ème</sup> Congrès Mondial des Technologies de Combustion de Moteur CIMAC, Vienne, 21-24 mai 2007. Autriche, Europe, Conseil international des machines à combustion.
- Willett, S. (2005). La maîtrise des armements : quels coûts, quels bénéfices ? *Forum du désarmement*, vol. 1, p. 21-30. <http://www.unidir.org/files/publications/pdfs/investir-dans-la-securite-en-502.pdf> (Page consultée le 12 juillet 2015).
- World Wildlife Fund (WWF) (2015). Qu'est-ce que l'empreinte écologique ? *In* WWF. *Thèmes d'action. Modes de vie durable. L'empreinte écologique expliquée.* [http://wwf.panda.org/fr/wwf\\_action\\_themes/modes\\_de\\_vie\\_durable/empreinte\\_ecologique/](http://wwf.panda.org/fr/wwf_action_themes/modes_de_vie_durable/empreinte_ecologique/) (Page consultée le 11 septembre 2015).

## BIBLIOGRAPHIE

- 3eD collège Saint Paul Cherbourg (2015). Les plastiques dans le vent ! *In* Collège Saint Paul. *Cherbourg*. [http://www.lesplastiquesendebat.com/wp-content/uploads/2012/08/120\\_DELAHAYE\\_COLLEGE\\_ST\\_PAUL\\_4\\_3eD.pdf](http://www.lesplastiquesendebat.com/wp-content/uploads/2012/08/120_DELAHAYE_COLLEGE_ST_PAUL_4_3eD.pdf) (Page consultée le 06 septembre 2015).
- Abbod, M., Beleca, R., Peirce, D., Ganippa, L., Manivannan, N. et W. Balachandran (2014). Power Controlled Microwave Reactor for the Removal of NOx and SOx from the Exhaust of Marine Diesel Engine. *Transport Research Arena*, vol.1, p.1-9. [http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014\\_Fpaper\\_19706.pdf](http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_19706.pdf) (Page consultée le 02 juillet 2015).
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) (2011). Synthèse feuille de route sur les navires du futur. *In* ADEME. [http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/88724\\_synthese-feuille-de-route-navires-futur.pdf](http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/88724_synthese-feuille-de-route-navires-futur.pdf) (Page consultée le 08 septembre 2015).
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) (2014). Voilier du Futur : Eco-innovations dans le domaine du nautisme. *In* Investissements d'Avenir. *Ami Navires du Futur*. <http://www.corican.fr/wp-content/uploads/2014/05/Voilier-du-Futur-Fiche-lauréat.pdf> (Page consultée le 08 septembre 2015).
- Ahlers, R. et R. Doyle (2014). Stabilisation of vessels with support of balloons. *Transport Research Arena*, vol.1, p.1-10. [http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014\\_Fpaper\\_29368.pdf](http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_29368.pdf) (Page consultée le 17 juin 2015).
- Altmann, M. Weindorf, W. et M. Weinberger (2004). *Life Cycle Analysis results of fuel cell ships : Recommendations for improving cost effectiveness and reducing environmental impacts* (rapport interne de FCSHIP numéro DTR-4.5-LBST-05.2004). 2<sup>e</sup> édition, Ottobrunn, L-B-Systemtechnik, MTU Friedrichshafen, 58 p.
- Association Française de NORmalisation (AFNOR) (2008). Panorama des initiatives françaises dans le domaine de l'écoconception. *In* AFNOR Normalisation. *Synthèse, norme expérimentale XP ISO/TR 14062*. <http://www.eco-conception.fr/data/exports/4/ZGF0YS9zb3VyY2VzL3VzZXJzLzQvZG9jcy9vdXRpbHMtZXQtZWV0aG9kZXZXR1ZGUtYWZub3ltZWVvLWNvbmNlchRpb24yMDA5LnBkZg==/MTc=.pdf> (Page consultée le 04 septembre 2015).
- Audoly, C., Rousset, C., Folegot T., André, M., Benedetti, L. et E. Baudin (2014). Development of methods and indicators for the assessment of shipping noise footprint on underwater environment and impact on marine life. *Transport Research Arena*, vol.1, p. 1-10. [http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014\\_Fpaper\\_18455.pdf](http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_18455.pdf) (Page consultée le 21 juin 2015).
- Baradel, A., Fromentoux, M. et S. Manceau (2012). *Les bateaux de plaisance en fin de vie*. Projet d'étude, École des Métiers de l'Environnement, Rennes, France, 36 p.
- Blas Galindo, E., Barros Garcia, R., Pfeifer, S., Ullán Vicente, R. et E. Guedella Bustamante (2014). New bio coating for corrosion inhibition on maritime infrastructures and transportation. *Transport Research Arena*, vol.1, p. 1-9. [http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014\\_Fpaper\\_19915.pdf](http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_19915.pdf) (Page consultée le 11 juillet 2015).

- Bobbera, C. (2012). Déconstruire des navires en respectant l'environnement. *In* Ministère de la défense. *Actualités*. <http://www.defense.gouv.fr/actualites/dossiers/environnement-durable-pour-la-defense/deconstruire-des-navires-en-respectant-l-environnement> (Page consultée le 28 mai 2015).
- Bougataya, I., De Bruyne, C et P. M'baki Helu (2007). MARPOL et ses annexes : quelle efficacité ? *Neptunus*, vol. 13, p. 1-27. [http://www.cdm.univ-nantes.fr/96053546/1/fiche\\_\\_\\_pagelibre/&RH=1380007571599&RF=1380008642250](http://www.cdm.univ-nantes.fr/96053546/1/fiche___pagelibre/&RH=1380007571599&RF=1380008642250) (Page consultée le 06 septembre 2015).
- Castelnérac, P.G., Tincelin, T. et G. Jouanne (2010). L'écoconception : Avenir de la construction navale ? *In* SSD (Sustainable Ship Design), *Compte rendu de la Conférence Econav – « Les Bateaux du futur »*, Vendredi 5 mars 2010. SSD, Sustainable Ship Design.
- Commission au Parlement européen et au Conseil (2006). Une stratégie de l'Union européenne pour réduire les émissions atmosphériques des navires de mer. *Communiqué de presse 0595*. 19 juin.
- Commission of the European Communities (CEC) (2001). *Technological and Economic Feasibility Study of Ship Scrapping in Europe* (rapport interne numéro 2000-3527). 1<sup>e</sup> édition, Hovik, Services consultatifs environnementaux, 117 p.
- Duthoit, M. (2010). Eco-conception des navires, Présentation de la démarche DCNS. *In* DCNS. *Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA)*, 10 mars. [http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/IMG/ppt/12\\_JPE\\_10\\_mars\\_cle5fc271-2.ppt](http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/IMG/ppt/12_JPE_10_mars_cle5fc271-2.ppt) (Page consultée le 08 septembre 2015).
- Duviella, E. Horváth, K., Rajaoarisoa L. et K. Chuquet (2014). Multi-scale modeling approaches of inland navigation networks for their management in a global change context. *Transport Research Arena*, vol.1, p.1-10. [http://www.researchgate.net/publication/260530598\\_Multi-scale\\_modeling\\_approaches\\_of\\_inland\\_navigation\\_networks\\_for\\_their\\_management\\_in\\_a\\_global\\_change\\_context](http://www.researchgate.net/publication/260530598_Multi-scale_modeling_approaches_of_inland_navigation_networks_for_their_management_in_a_global_change_context) (Page consultée le 27 juin 2015).
- EcoNav (2015). Guide EcoNAv pour un bateau responsable. *In* EcoNAv. *CCI-info*. <http://www.veillestrategique-champagne-ardenne.fr/static/pdf/ecoconception/numero1/guides/guide-econav-pour-un-bateau-responsable.pdf> (Page consultée le 10 juillet 2015).
- European Commission (2010). Cooperation : Thème 7 : Transport (including aeronautics). *In* European Commission. *Work Programme 2011*. [http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/fp7/192048/g-wp-201302\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/fp7/192048/g-wp-201302_en.pdf) (Page consultée le 19 juillet 2015).
- Franc, P. (2014). Mitigating maritime transport emissions : diversified effects between European short sea and deep sea shipping. *Transport Research Arena*, vol.1, p.1-11. [http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014\\_Fpaper\\_18216.pdf](http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_18216.pdf) (Page consultée le 22 juillet 2015).
- France. Ministère de la défense. Institut de Recherche Stratégique de l'École Militaire (2012). L'industrie de l'armement naval. *In* Ministère de la défense. *Lettre de l'IRSEM*. <http://www.defense.gouv.fr/irsem/publications/lettre-de-l-irsem/les-lettres-de-l-irsem-2012-2013/2012-lettre-de-l-irsem/lettre-de-l-irsem-n-8-2012/actualites-de-l-irsem/l-industrie-de-l-armement-naval> (Page consultée le 25 avril 2015).
- France. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer (MEEDDM) (2009). La première loi du Grenelle – Les 13 domaines d'action. *In* MEDDE. *Salle de lecture. Développement durable : Grenelle Environnement*. [http://www.developpement-durable.gouv.fr/spip.php?page=article&id\\_article=7249](http://www.developpement-durable.gouv.fr/spip.php?page=article&id_article=7249) (Page consultée le 24 mai 2015).

- France. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) (2014a). Stratégie nationale de développement durable 2010-2013. In MEDDE. Développement durable. *Tour d'horizon*. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Strategie-nationale-de,3900-.html> (Page consultée le 06 juin 2015).
- France. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) (2014b). Les 9 défis de la stratégie nationale de développement durable. In MEDDE. Développement durable. *Tour d'horizon*. *Stratégie nationale de développement durable 2010-2013*. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Les-9-defis-.html> (Page consultée le 19 juin 2015).
- France. Ministère de la Défense (2014). Rapport au parlement 2014 sur les exportations d'armement de la France. In Ministère de la Défense. *Rapport. Analyses et références*. <http://www.defense.gouv.fr/salle-de-presse/dossiers-de-presse/rapport-au-parlement-2014-sur-les-exportations-d-armement-de-la-France> (Page consultée le 03 septembre 2015).
- France. Ministère de la Défense et des Anciens Combattants (2015). Stratégie de développement durable de la défense (S3D). In Ministère de la Défense et des Anciens Combattants. *Choix stratégiques*. [http://www.defense.gouv.fr/content/download/158436/1629459/file/Stat%C3%A9gie%20de%20D%C3%A9veloppement%20Durable%20de%20la%20D%C3%A9fense%20\(S3D\).pdf](http://www.defense.gouv.fr/content/download/158436/1629459/file/Stat%C3%A9gie%20de%20D%C3%A9veloppement%20Durable%20de%20la%20D%C3%A9fense%20(S3D).pdf) (Page consultée le 01 juin 2015).
- Goubault, P., Garcia, J., Thieffry, P. et C. Chabert (2009). Le concept ECOSHIP, une illustration de la démarche d'éco-conception mise en place par DCNS dans les dernières années. *Recherche et innovation maritime*, vol. 1, n°484. <http://ifm.free.fr/htmlpages/pdf/2009/484-5-le-concept-ECOSHIP.pdf> (Page consultée le 08 septembre 2015).
- Gratsos, G.A et P. Zachariadis (2009). Life cycle cost of maintaining the effectiveness of a ship's structure and environmental impact of ship design parameters : an update. In RINA, *Conference on the Design and Operation of Bulk Carriers* (p. 1-16), Athènes, Grèce. RINA.
- Greenpeace, International Federation for Human Rights (FIDH), Young Power in Social Action (YPSA) (2005). End of life ships : The Human cost of breaking ships. In Greenpeace-FIDH-YPSA. *FIDH*. <https://www.fidh.org/IMG/pdf/shipbreaking2005a.pdf> (Page consultée le 15 juillet 2015).
- Janeau, I. et A. Lave (2013). *Navires de plaisance du futur – "RELAX" BOAT*. Rapport en Architecture Navale et Ingénierie Offshore, ENSTA Bretagne, Brest, France, 62 p.
- Jivén, K., Sjöbris, A., Nilson, M., Ellis, J., Trägårdh, P. et M. Nordström (2004). LCA-ship : Design tool for energy efficient ships, A Life Cycle Analysis Program for Ships. In SSPA, TEM, MariTerm AB. *Vinnova, Energimyndigheten*. <http://www.mariterm.se/download/Rapporter/Final%20report%20LCA-ship.pdf> (Page consultée le 17 juillet 2015).
- Köpke, M., Papanikolaou, A., Harries, S., Nikolopoulos, L. et P. Sames (2014). Holistic Optimisation of a High Efficiency and Low Emission Containership. *Transport Research Arena*, vol.1, p.1-10. [http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014\\_Fpaper\\_19495.pdf](http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_19495.pdf) (Page consultée le 23 juin 2015).
- Lundquist, E. (2009). Naval power. Solutions to drive tomorrow's fleet. *Marine Reporter & Engineering News*, 10 Juin, p. 64-69.
- Magerholm Fet, A. (2001). Environmental reporting in marine transport based on LCA. In The Norwegian University of Science and Technology (NTNU). *NTNU*. <http://www.iot.ntnu.no/users/fet/Konferanser/2001-IMAResT-London.pdf> (Page consultée le 05 juillet 2015).

- Magerholm Fet, A., Michelsen, O. et T. Johnsen (2000). *Environmental performance of transportation – a comparative study* (Rapport interne de l'Université Norvégienne de Science et de Technologies numéro 3/2000). Trondheim, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), 103 p.
- Malakhoff, A., Klinkhamer USN, D. et C.-B. McKesson (1998). Analysis of the Impact of Reliability, Availability and Maintainability on Ship Survivability. *In* JJMA, Norwegian Society of Chartered Engineers' Conference on High Speed Ferries, Oslo, Danemark.
- National Renewable Energy Laboratory (NREL) (2015). Life Cycle Assessments of Energy Technologies. In U.S Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. Energy Analysis. [http://www.nrel.gov/analysis/sustain\\_ica\\_about.html](http://www.nrel.gov/analysis/sustain_ica_about.html) (Page consultée le 22 juillet 2015).
- Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) (2010). L'industrie de la construction navale : problèmes d'environnement et de changement climatique. *In* OCDE. *Groupe de travail du Conseil sur la construction navale (GT6)*. <http://www.oecd.org/fr/sti/ind/47154782.pdf> (Page consultée le 06 septembre 2015).
- Pedrazzini, S. (2007). Analyse du cycle de vie des coques de l'Ecoprao. Projet de Semestre, Master. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Suisse, 41 p.
- Princaud, M., Cornier, A., Froelich, D. et Y. Pierson (2012). Développement d'un outil d'écoconception et d'évaluation des impacts d'un navire sur l'environnement marin. *HAL archives-ouvertes.fr*, vol. n.d, n° n.d. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00719297/document> (Page consultée le 08 septembre 2015).
- Reenaas, M. (2005). *Solide oxide fuel cell combined with gas turbine versus diesel engine as auxiliary power producing unit onboard a passenger ferry : A comparative Life Cycle Assessment And Life Cycle Cost Assessment*. Mémoire de maîtrise, Université Norvégienne de Science et de Technologies, Trondheim, Norvège, 94 p.
- Sammeth, F. et S. Moura (2012). Les grandes entreprises européennes d'armement. *Le bulletin de l'observatoire économique de la défense (SGA/DAF/OED)*, décembre 2012, p. 1-8.
- Secret Difa (2012). Pas de FREMMs Italiennes pour l'Algérie. *In* Secret Difa. Blog d'informations. <http://secret-difa3.blogspot.fr/2012/12/pas-de-fremms-italiennes-pour-lalgerie.html> (Page consultée le 02 décembre 2015).
- Stratégie Nationale d'Approvisionnement en matière de Construction Navale (SNACN)* (2013). TPSGCanada, réalisateur, Canada, You Tube.com (11 minutes 40).
- Tchertchian, N., Yvars, P.-A et D. Millet (2013). Bénéfices et limites d'une approche CSP/ACV pour l'écoconception de systèmes complexes; application à une navette maritime à motorisation hybride; Application navette maritime. *HAL archives-ouvertes.fr*, vol. n.d, n° n.d. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00832425/document> (Page consultée le 08 septembre 2015).
- Toumpis, A., Galloway, A., Cater, S., Micallef, D., Camilleri, D., Poletz, N. et L. Arbaoui (2014). Advances in friction stir welding of steel : project HILDA. *Transport Research Arena*, vol.1, p.1-10. [http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014\\_Fpaper\\_19953.pdf](http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_19953.pdf) (Page consultée le 28 mai 2015).
- Tran, K.T, Ouahsine, A., Hissel, F. et P. Sergent (2014). Identification of hydrodynamic coefficients from sea trials for ship maneuvering simulation. *Transport Research Arena*, vol. 1, p. 1-10. [http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014\\_Fpaper\\_29026.pdf](http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_29026.pdf) (Page consultée le 18 juillet 2015).

- Vallat, F. (2006). Quelle retraite pour le *Clemenceau* ? *Pour la science*, vol.1, n°342. [http://www.ifmer.org/assets/documents/files/lu\\_presse/ludanslapresse\\_vallat\\_avril2006.pdf](http://www.ifmer.org/assets/documents/files/lu_presse/ludanslapresse_vallat_avril2006.pdf) (Page consultée le 09 juillet 2015).
- Van Bree, B. et P. Colon (2014). Stimulus for SME innovations in inland navigation. *Transport Research Arena*, vol. 1, p.1-9. [http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014\\_Fpaper\\_19792.pdf](http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_19792.pdf) (Page consultée le 18 mai 2015).
- Vincent, M.-C. (2013). *GDD 703 Projets et produits, Notes de cours*. Sherbrooke, Centre universitaire de formation en environnement et développement durable (CUFE), Université de Sherbrooke, 78 p.
- Waterborne (2005). *Waterborne Strategic Research Agenda Overview Issue 2* (document interne numéro 234252). Europe, Waterborne, 35 p.
- Waterborne (2005). Waterborne Transport and Operations : A Key Asset for Europe's Development and Future. *In* WSRA Overview. *Waterborne TP*. [http://www.fargisinfo.com/Strategi/HITS-Strategi/LinkedDocuments/WATERBORNE\\_SRA%20Overview%20Text.pdf](http://www.fargisinfo.com/Strategi/HITS-Strategi/LinkedDocuments/WATERBORNE_SRA%20Overview%20Text.pdf) (Page consultée le 26 juillet 2015).
- Waterborne (2010). Waterborne Transport and Operations : A Key Asset for Europe's Development and Future. *In* WSRA Overview. Strategic Research Agenda : Implementation. [http://www.emec.eu/docs/waterborne\\_wirm\\_executive\\_report.pdf](http://www.emec.eu/docs/waterborne_wirm_executive_report.pdf) (Page consultée le 27 juin 2015).
- Waterborne (2015). Waterborne Transport & Operations : A Key Asset for Europe's Development and Future. *In* Vision 2020. *Waterborne TP*. [http://www.emec.eu/docs/waterborne\\_vision\\_2020.pdf](http://www.emec.eu/docs/waterborne_vision_2020.pdf) (Page consultée le 10 juillet 2015).
- Winebrake, J.-J., Corbett, J.-J. et P.-E. Meyer (2007). Energy Use and Emissions from Marine Vessels : A Total Fuel Life Cycle Approach. *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 57, n° 1, p. 102-110. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10473289.2007.10465301#.VbTsjOs79Ic> (Page consultée le 06 juillet 2015).

ANNEXE 1 – PRÉSENTATION DE LA STRATÉGIE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE DE LA DÉFENSE FRANÇAISE (S3D) EN 2012 (Tiré de : France, 2012a, p. 1)

- Objectif 1 : Consommation et production durables

Choix stratégiques	Actions	Exemples	
Limiter les impacts environnementaux des matériels en service et après leur retrait du service	Allonger la durée de vie des matériels et préserver le potentiel	Entretien : maintien en conditions opérationnelles, remise à niveau des matériels Utilisation raisonnée des matériels : recours aux simulateurs (lorsque cela est possible) Eco-corrrection des matériels : modification des systèmes d'armes pendant leur cycle de vie quand celle-ci est possible	
	Prévenir l'utilisation des matériels	Limitation la gêne sonore générée par les aéronefs militaires (air, marine)	
	Gérer la fin de vie des matériels de guerre	Inventaires de substances potentiellement dangereuses : cartographie des substances dangereuses pour les navires (« Passeports verts ») Notification de marchés de démantèlement Poursuite des ventes de matériels militaires au titre du marché de l'occasion	
	Éco-concevoir les matériels de demain sur l'ensemble de leur cycle de vie	Mettre à disposition un guide interactif sur l'intranet Défense sur la prise en compte de l'environnement dans la conduite des opérations d'armement	
		Analyser systématiquement les risques environnementaux dans les stades amont des projets	Cartographie des substances dangereuses et élaboration d'un manuel de fin de vie requis dans les nouvelles opérations
		Analyser systématiquement les possibilités d'éco-conception favorisant la déconstruction future et le caractère recyclable des équipements	
Diffuser à l'interne au ministère du recueil DGA des clauses types administratives des projets de marchés depuis 2006 comportant des clauses environnementales			
Ouvrir un portail d'exemption REACH et définir des modalités d'exemption Défense sur l'étiquetage des substances dangereuses			
Mettre en place une expertise technique dédiée à l'activité « écoconception » au sein de la direction technique de la DGA (13 experts)			
Maîtriser les risques sur la santé ou sur l'environnement des substances dangereuses, traitement des obsolescences des composants induites par le retrait du marché de certaines de ces substances			
S'efforcer de standardiser des exigences environnementales en participant à des groupes de travail internationaux (AED, OTAN)			
Réaliser des efforts de recherche et développement en matière d'éco-conception des opérations d'armement, notamment dans les domaines des nouvelles énergies, du génie électrique, de la réduction de consommation d'énergie des équipements et de la gêne des mammifères marins par les sonars			
Stimuler le tissu économique autour des activités de Défense en soutenant les PME et les ETI (Entreprises de Taille Intermédiaire)	Mettre en place une organisation dédiée. Au niveau central, la mission ministérielle PME, rattachée directement au ministre, anime désormais la politique de soutien aux PME avec le concours de tous les organismes du ministère notamment du SGA, de la DGA et des services acheteurs, et au niveau territorial, avec des délégués régionaux de la Délégation aux Restructurations		
	Intégrer la dimension PME dans les procédures et les stratégies d'achats du ministère ainsi que dans les actions d'information en direction des entreprises pour renforcer l'attractivité des commandes du ministère		
	Mettre en place des points de contact PME dans les entités du ministère notamment en région (délégués régionaux), pour les aider à connaître et à accéder à sa fonction achats et à ses dispositifs économiques		
	Mettre en place une structure de médiation pour résoudre les difficultés survenant lors de l'exécution des marchés		
	Développer des capacités d'innovation des PME (et des ETI) pour des applications militaires, mais aussi duales		
	Présenter régulièrement aux PME des orientations technologiques et des futurs programmes d'équipement		
	Accompagner des PME (et des ETI) en matière d'exportation : guichet unique PME export, journées, soutien à l'export, renforcement des fonds propres, intelligence économique		
Être exemplaire en matière d'achats responsables	Mettre en place, avec le service des achats de l'État, une démarche « Achats Responsables » sur les segments achats courants et travaux avec des objectifs chiffrés	Achats courants, tels qu'un parc automobile, du matériel informatique, des achats de papier de reprographie, des solutions d'impression, des achats de produits issus de l'agriculture biologique, des habillements, etc.	

	Intégrer systématiquement des critères de développement durable dans la détermination des besoins achats grâce aux outils suivants : analyse du cycle de vie, coût complet, audit fournisseurs, convention avec le réseau des Maisons de l'emploi sur le développement des clauses sociales dans les marchés du ministère, etc.	
	Mettre en place depuis 2010 un réseau de référents achats durables en charge de relayer les principes du développement durable au sein de l'ensemble des services achats du ministère	
	Former des acheteurs aux enjeux du développement durable et fourniture d'outils en vue d'intégrer le DD dans les achats courants et travaux	
	Sensibiliser les acteurs de l'achat (bénéficiaires, prescripteurs, acheteurs et fournisseurs) à l'occasion de colloques dédiés aux achats responsables	
	Privilégier les équipements et fournitures avec un éco label (écoresponsable ou recyclé)	
	Mettre en place d'un groupe de travail ISO 26000 : auto-évaluation de la fonction achats du ministère, document d'information à l'attention des industriels avec l'objectif de sensibiliser les entreprises, en particulier les PME-PMI quant à l'intérêt d'appliquer la norme ISO 26000, document d'information sur la responsabilité sociétale des entreprises (RSE) à l'attention des candidats aux marchés publics, analyse juridique des clauses réglementaires d'application de la norme ISO 26000	
Systématiser le recyclage et la valorisation des déchets	Optimiser et mutualiser l'organisation de la gestion des déchets au sein du ministère	
	Prévenir la production et la nocivité des déchets à la source : définir une politique d'achats pour réduire les emballages inutiles de biens achetés, intégrer dans les cahiers des charges des fournisseurs de clauses particulières de réduction des emballages, diminuer le nombre de copieurs ou imprimantes et réduire les consommations de papier	
	Organiser le transport des déchets et limiter en distance et en volume	
	Mettre aux normes des zones d'entreposage des déchets	
	Trier les déchets selon leur nature et leur dangerosité	Exemple des Déchets d'Activité de Soins à Risques Infectieux (DASRI) : regroupement de certains types de déchets particuliers et signature de contrats globaux avec les prestataires
	Recycler et valoriser les déchets	Recyclage des cartouches d'imprimantes usagées et des papiers blancs ainsi que la collecte sélective des emballages, les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), les piles, les emballages souillés, les huiles usagées et les bio-déchets
	Planifier la gestion des déchets	
	Financer des études amont DGA sur la gestion des déchets inhérents à l'utilisation des systèmes d'armes	« Nacre » est un projet de pôle de compétitivité du pôle mer-Bretagne sur la gestion des déchets dans les bâtiments de surface (BS) « GID » sur la gestion des déchets dans les sous-marins, voire BS. Une étude amont également en zone vie (études amont POUBELLE relative à la gestion des déchets en opération extérieure)
	Gérer les déchets de chantiers dans les marchés de BTP	

• Objectif 2 : Société de la connaissance

Choix stratégiques	Actions	Exemples
Instruire et former le personnel de la Défense tout au long de sa carrière et en assurer la reconversion	Éduquer hors agents du ministère	
	Insérer socialement par la formation qualifiante	
	Former les militaires	Écoles de formation initiale : centres de formation initiale militaire, grandes écoles militaires, écoles de formation interne d'officiers, initiale d'officiers et de sous-officiers Écoles d'application : de l'armée de Terre, de la marine nationale, de l'armée de l'Air, du service de santé des armées, du service des essences des armées Écoles ou centres spécialisés : formations d'experts de l'armée de Terre, de l'Armée de l'Air et de la marine nationale Écoles militaires supérieures de formation continue à destination des cadres
	Former le personnel civil et militaire	Centre de formation de Bourges (CFD), Centre de formation au management de la défense (CFMD)
Analyser, anticiper et préparer les évolutions politiques, industrielles et scientifiques	Validation des Acquis d'Expérience (VAE)	« 1000 parcours VAE »
	Conduire des études prospectives	Études prospectives et stratégiques, études à caractère opérationnel et technico-opérationnel, études amont
	Conduire des programmes de recherche à finalité purement militaire	Études amont liées à des technologies d'armement
	Conduire des programmes de recherche duale	SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine), dispositif RAPID (Régime d'Appui pour l'Innovation Duale), dispositif ASTRID (Accompagnement Spécifique

		des Travaux de Recherches et d'Innovation Défense)
	Financer des thèses, des partenariats scientifiques, des partenariats avec des établissements académiques	
Favoriser l'appropriation par les hommes et les femmes de la Défense des problématiques de développement durable	Sensibiliser toute une classe d'âge	Développement durable inclus dans les modules de la Journée Défense Citoyenneté en tant que « grande cause nationale »
	Intégrer des modules spécifiques dans les écoles et les lycées militaires	
	Mettre en place des dispositifs auprès des personnels civils et militaires	Sensibilisation/communication : Initiatives lors de la semaine DD, signature par le personnel de la charte écoresponsable, actions locales de sensibilisation en matière de tri et recyclage des déchets, gestion de l'eau, économie d'énergie (ex. opérations rade propre)
		Formation spécifique pour les chargés d'environnement par le centre de formation de Bourges : adaptation du contenu des formations relatives à la réglementation (installations classées et déchets). Renforcement de l'accès de référents régionaux biodiversité aux formations proposées par l'IFORE et les centres de valorisation des ressources humaines (partenariat avec le ministère en charge de l'écologie) et constitution d'un réseau de formateurs relais (en biodiversité notamment)
		Formation des décideurs : formation des officiers de programme et directeurs de programme (OPDP), des commandants en second pour les armées, intégration au cursus IHEDN, partenariat IHEDATE
Sensibiliser les partenaires du ministère	Développement d'outils spécifiques ou globaux efficaces d'échange d'information, de communication et de remontées d'information	
Valoriser les patrimoines culturel et mémoriel de la Défense	Préserver la mémoire	Journées d'échange avec les partenaires industriels, notamment au travers des réseaux que constituent les syndicats professionnels GICAT, (armement terrestre) GICAN (industrie navale), GIFAS (aéronautique et aérospatial) ainsi que l'association des entreprises partenaires de la Défense
	Transmettre la mémoire	Archives et bibliothèques
	Valoriser la culture	Cérémonies, soutien à la vie associative, actions éducatives, haut lieux de mémoire, sépultures et monuments aux morts, tourisme de mémoire et mémoire partagée
		Monuments et lieux historiques, musées, publications, musique militaire, peintres aux armées

• Objectif 3 : Gouvernance

Choix stratégiques	Actions	Exemples
Permettre l'appropriation des objectifs du développement durable à tous les niveaux de la chaîne hiérarchique	Impulser au niveau ministériel	Création de missions spécifiques sur les questions relatives au développement durable rattachées au Ministre (Égalité des Chances, Mission ministérielle PME ....)
	Organiser transversalement et spécifiquement et développement durable au sein du ministère	Des représentants à tous les niveaux : conseiller en charge du DD au sein du cabinet ministériel, haut fonctionnaire au développement durable (HFDD), mise en place d'une vision intégrée du DD dans le pilotage des organismes du ministère, réseau de référents DD au sein des organismes, mission développement durable
		Une vision transverse au ministère des dépenses liées au développement durable
		Suivi de la S3D en comité DD et mise en place d'un point annuel au niveau du comité exécutif ministériel
	Créer, structurer et optimiser des réseaux sur des sujets spécifiques relatifs aux trois piliers du DD (développement durable, environnement, achats, éco-conception, pollution des sols, biodiversité, handicap et égalité des chances,...) et création d'outils de communication adaptés	Mise en place, au sein des Groupements de Soutien des Bases de Défense (GSBdD), de chargés d'environnement
Élaborer un certain nombre de politiques sectorielles (stratégie ministérielle de la performance énergétique, directive achats responsables, etc.), de groupes de travail transverses (approche RSO/ISO 26000) et d'un rapport développement durable (4 <sup>e</sup> édition en 2012) qui fera également office de rapport annuel de suivi de la S3D	Identification par les commandants des bases de défense de tous les chargés d'environnement en poste dans les différents organismes en vue de favoriser un fonctionnement en réseau	
		Ouverture sur l'intranet d'un espace transverse de type « réseau social professionnel » afin de fédérer des informations métier dispersées et de favoriser un fonctionnement en réseau
Favoriser au niveau local les initiatives et innovations des unités et organismes du ministère en lien avec leur environnement public, économique et associatif	Organiser des réseaux au niveau local	Chargés d'environnement au sein des bases de défense et des différents organismes
	Décliner localement des accords permettant la prise en compte des spécificités territoriales	
	Concerter localement	Liens avec les PME, comités de pilotage Natura 2000
	Réaliser des méthodes participatives	Fonds d'intervention pour l'environnement (FIE), mission Innovation et progrès, trophée 3D, groupe de travail interne sur l'ISO 26000
Poursuivre la coopération avec les	Faire exister un partenariat DAR et déléguer au niveau interministérielle un aménagement	

acteurs territoriaux dans la mise en œuvre des réformes de la Défense	du territoire et une attractivité régionale (DATAR)	
	Récolter les Fonds pour les restructurations de la Défense (FRED)	
	Concerter avec les parties prenantes locales	Pilotage de la mise en œuvre des dispositifs d'accompagnement par le préfet du département concerné, constitution d'un comité de site composé de représentants des services déconcentrés de l'État, des collectivités territoriales concernées, des acteurs économiques et sociaux (chambres consulaires)
Maintenir une haute qualité de dialogue social et de concertation notamment dans la conduite des transformations du ministère	Disposer de réunions de concertation civiles	Comités techniques (CT) : lieux de discussion et d'information entre l'administration et les organisations syndicales qui représentent le personnel, déclinés au niveau ministériel, des bases de défense, de l'administration centrale,...consultés notamment sur les questions et projets de textes relatifs à la gestion prévisionnelle des effectifs, à l'égalité professionnelle, à l'insertion professionnelle, à la formation et au développement des compétences
	Élaborer des dispositifs de concertation militaires	Président de catégorie, Commissions participatives, Conseil Supérieur de la fonction Militaire (CSFM)
	Élaborer un dispositif de reconversion et d'accompagnement	

• Objectif 4 : Changement climatique et énergies

Choix stratégiques	Actions	Exemples
Parfaire la connaissance des consommations d'énergie et de l'empreinte carbone de la Défense	Mettre en place une gouvernance globale du sujet énergétique au sein du ministère	Développement d'outils de pilotage opérationnel : comité énergie, comités mixtes énergies locaux (CMEL) Création d'une fonction énergie clairement identifiée, structurée et professionnalisée au sein des organismes du ministère (états-majors, services, grand commandement, échelon territoriale etc.)
	Étudier de manière approfondie les consommations en énergie de réseau	Déploiement de l'outil de suivi des fluides
		Mesure des performances énergétiques du patrimoine Diagnostic des installations de chauffage et de climatisation
	Évaluer la consommation de carburants	Analyse des consommations de carburant
		Préserver la capacité opérationnelle des armées (viabilité et sécurité énergétique avec les armées étrangères)
		Sécurité des approvisionnements tout en recherchant un gain économique et en stimulant la concurrence par la segmentation Veille technologique dans le domaine des produits pétroliers nationaux (participation aux comités techniques pétroliers nationaux et internationaux et aux projets de suivi ou développement des carburants de substitution)
Renforcer la politique énergétique qui combine sécurité des approvisionnements et maîtrise de la consommation et des émissions de gaz à effet de serre	Prendre en compte le paramètre énergétique dans les politiques ministérielles	Intégration dans la politique immobilière, dans les politiques d'investissement et de maintenance du ministère
	Rationaliser la consommation énergétique	Optimisation des contrats de fourniture énergétique et de services énergétiques Intégration de clauses relatives à l'efficacité énergétique dans les marchés, recours aux certificats d'économie d'énergie et aux contrats de performance énergétique
	Avoir recours à des énergies faiblement émettrices de gaz à effet de serre (GES)	Augmentation de la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique du ministère
		Construction et utilisation de capacités de production d'appoint d'énergie renouvelable (solaire, hydroélectrique) sur certains sites, répondant également à un impératif de sécurité d'approvisionnement Consommation d'énergies produites localement, au plus proche des lieux de consommation
	Optimiser les infrastructures	Amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments en rénovation ou en construction
	Optimiser les transports	
Inciter à un changement des mentalités et des pratiques	Actions de communication envers les personnels, formation à l'éco-conduite hors activité opérationnelle et d'entraînement, visioconférence, etc.	

• Objectif 5 : Transport et mobilité durables

Choix stratégiques	Actions	Exemples
Adopter des modes de transport moins consommateurs d'énergie et moins polluants	Agir sur les comportements	Hors activités opérationnelles et d'entraînement : éco-conduite, limitation de la vitesse dans les enceintes militaires
		En opération : étude en vue d'adopter des profils de conduite moins consommateurs de carburant, lorsque cela est possible

	Réduire le mode routier et aérien et promouvoir des modes alternatifs	Utilisation pour les déplacements professionnels inférieurs à 3h de trajet
	Inciter au déploiement du covoiturage et à l'utilisation des transports en commun et/ou du vélo pour les individuels, développement des modes massifiés (train, combiné) pour transporter le matériel	Étude du transport de fret
	Créer une nouvelle gestion du parc	Pré-positionnement sur les lieux d'emploi des matériels et d'engins terrestres
	Utiliser des véhicules faiblement polluants (parfois électriques) (véhicules de liaison et transports non opérationnels)	
Rationaliser puis réduire les besoins de déplacements	Réfléchir en amont sur l'accessibilité par les transports en commun dans les choix de densification des sites et organisation avec les collectivités locales de la desserte des sites	
	Rationaliser les déplacements professionnels	Visio et web-conférence, formation à distance ou en ligne
	Favoriser le soutien de proximité	
Demeurer un acteur majeur de la sécurité de la navigation maritime dans toutes ses dimensions	Favoriser la connaissance	Cartographie et normalisation des cartes maritimes; référent national pour l'observation du niveau de la mer
	Contribuer à l'action de l'État en mer et à la fonction garde-côtes. Préfecture maritime et sauvegarde maritime	Sécurité maritime et sauvetage en mer, sûreté maritime et portuaire, lutte contre les activités illicites, action de l'État contre les rejets illicites en mer (pollutions volontaires), surveillance et contrôle des pêches, lutte contre les infractions, lutte contre les pollutions accidentelles

• Objectif 6 : Conservation et gestion durable de la biodiversité et des ressources naturelles

Choix stratégiques	Actions	Exemples
Concilier les impératifs de conservation de la biodiversité dans les espaces naturels du ministère avec ses activités opérationnelles	Identifier les contraintes et maîtriser la réglementation environnementale applicable aux zones classées des terrains militaires	Mettre en place une démarche de cartographie des contraintes sur les sites du ministère de la Défense qui présentent des enjeux environnementaux Mettre à jour un guide pratique biodiversité pour intégrer les retours d'expérience déjà rencontrés sur des terrains militaires Réaliser un bilan de la biodiversité la plus remarquable située sur sites militaires
	Connaître les sites	Développement de bases de données (SIG biodiversité)
	Structurer et organiser des réseaux ad hoc	Constitution d'un réseau de référents « biodiversité »
	Développer et valoriser des partenariats avec des organismes publics et les associations du domaine de la biodiversité	
	Former spécifiquement le personnel en liaison avec l'Institut de FORMation de l'Environnement (IFORE)	
	Participer en tant que besoin aux travaux de la trame verte et bleue (TVB)	
	Gérer durablement les sites Natura 2000	Établissement et mise en œuvre des DOCOB (documents d'objectifs) Signature de contrats Natura 2000 et de chartes Natura 2000
	Gérer les sites naturels (qui ne sont pas inclus dans le réseau Natura 2000)	Mise en œuvre d'une gestion dynamique de ces sites naturels avec l'aide de quatre partenaires (CREN, ONF, ONCFS et LPO) en liaison avec le ministère de l'Écologie
	Mettre en œuvre un protocole d'accord visant à la sauvegarde d'espèces en voie de disparition (LPO – Lige de Protection des Oiseaux)	
	Établir, avec l'appui de l'agence des aires marines protégées (AAMP) et du muséum national d'histoire naturelle (MNHN), d'un référentiel technique pour la gestion des activités de la Défense dans les sites Natura 2000 en mer	
Préserver les ressources naturelles, en particulier la ressource en eau	Préserver les ressources en eau	Préserver les nappes phréatiques, réduire les consommations, audit des réseaux d'eau, réduction d'utilisation des produits phytosanitaires dans la gestion de ses espaces verts
		Intégration des enjeux environnementaux dans les autorisations d'occupation temporaires (AOT) agricoles des terrains militaires
Contribuer à la mission de protection de la biodiversité dans le milieu maritime	Exercer une lutte antipollution en mer	Préparation à la lutte contre les pollutions en mer et expertise travaux du Centre d'expertises pratiques de lutte antipollution (CEPPOL), cofinancement et participation à la gestion du CEDRE (Centre de documentation, de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux)
		Actions de lutte : assistance aux navires en difficulté transportant des produits dangereux et polluants, récupération de ces polluants en mer et sur le littoral, pose de barrage flottant afin de protéger une zone naturelle sensible, aide et participation à des opérations de nettoyage et restauration du littoral, etc.
	Contribuer à la surveillance et à la police des pêches	Interrogation de navires de pêche, vérification des journaux de bord, examen des captures, des installations de stockage ou de traitement, vérification des engins de pêche et contrôle des maillages, appréhension des navires...

	Participer à la surveillance des nouvelles aires marines protégées (Zone Natura 2000) en mer	
	Préserver les ressources naturelles sous-marines dans une vision de long terme et dans une logique d'anticipation	
	Participer à des actions terrestres de protection de l'environnement	Opération HARPIE de lutte contre l'orpaillage clandestin en Amazonie en liaison avec l'Office national des forêts (ONF) et le parc Amazonien de Guyane
		Contribution annuelle à la lutte contre les feux de forêts en zone méditerranéenne dans le cadre de mission
		Mise en place dans plusieurs camps de l'armée de Terre d'unités de lutte contre l'incendie

• Objectif 7 : Santé publique, prévention et gestion des risques

Choix stratégiques	Actions	Exemples
Contribuer aux capacités de veille, de prévention et d'intervention pour la gestion des crises de nature sanitaire, environnementale ou technologique	Participer aux plans de Défense, de prévention et de gestion de crise gérés au niveau ministériel ou Interministériel	Plan Vigipirate (menace terroriste), opération Héphaïstos (feux de forêts), pandémie grippale, lutte contre les pollutions en mer, etc.
	Intégrer la veille sanitaire	Expertise scientifique et technique : bureau expertise des risques sanitaires (service de santé des armées) Suivi épidémiologique, production de médicaments spécifiques (pharmacie centrale des armées), etc.
	Contribuer à la gestion des crises majeurs	Crise NRBS (nucléaire, radiologique, biologique et chimique), catastrophe naturelle, catastrophe technologique, lutte contre les pollutions en mer
Assurer les missions spécifiques du système de médecine militaire et sa contribution au service hospitalier et maintenir un haut niveau de qualification médicale	Participer au service public hospitalier et contribuer à l'offre de soins régionalisée	
	Concevoir des centres d'expertise au niveau national	Centre national de référence (CNR) pour certaines pathologies infectieuses
Veiller et œuvrer à la santé, la prévention des risques et l'aptitude du personnel militaire et civil	Vérifier l'aptitude et le suivi médical de l'ensemble du personnel du ministère et de la gendarmerie	
	Faire agir les vétérinaires des armées	Hygiène et sécurité de la chaîne alimentaire et des eaux destinées à la consommation humaine
	Élaborer une politique de prévention des risques professionnels	Plan de prévention de l'alcoolisme et des comportements addictifs, plan de prévention des accidents dus à la préparation physique, plan de prévention des troubles psychiques post-traumatiques, etc.
	Prendre en charge médicalement les personnels blessés en service	Hôpitaux d'Instruction des Armées (HIA)
Poursuivre la mise en conformité des installations industrielles et technologiques	Prévenir des risques et des pollutions	Maîtrise des rejets d'hydrocarbures, des émissions de polluants dans l'air, l'eau et le sol, limitation de produits chimiques toxiques et dangereux
	Réduire le nombre d'installations classées au strict nécessaire	Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), Installations, ouvrages, travaux et activités au titre de la loi sur l'eau (IOTA)
	Poursuivre les efforts de maîtrise des risques pour les installations à risques	Mise à niveau des stations d'épuration et rejets d'eau pluviale, réalisation des plans de prévention des risques technologiques (PPRT), mise en conformité des réservoirs de liquides inflammables
	Réparer les dommages à l'environnement en cas de pollution	Connaissance : fiabilisation de la base de données des sites et sols pollués
		Technique : recours aux techniques biologiques pour le traitement des sols pollués aux hydrocarbures

• Objectif 8 : Démographie, immigration, inclusion sociale

Choix stratégiques	Actions	Exemples
Maintenir la dynamique forte du ministère en matière d'accès, de maintien et de retour à l'emploi	Au sein du ministère, recruter et promouvoir	Importance en nombre, importance accordée aux qualités de savoir-être (solidarité, courage), formation professionnelle et promotion au mérite ou pas
	Féminiser les armées	Politique de stricte égalité garantie par le statut général des militaires. Les femmes militaires peuvent servir dans la quasi-totalité des emplois
	Répartir les postes de responsabilité entre les hommes et les femmes	
	Rendre possible l'intégration des clauses sociales dans les marchés publics afin de faciliter l'accès à l'emploi des publics qui en sont éloignés	
	Accompagner individuellement des agents concernés par les restructurations et mise en	

	œuvre de mesures sociales et financières dans le cadre du Plan d'accompagnement des restructurations (PAR)	
Favoriser l'insertion professionnelle et le maintien dans l'emploi des personnes en situation de handicap et prendre en charge tout au long de leur vie les blessés en opérations	Créer un tissu dense de structures de prise en charge et d'aide aux blessés en opérations et à leurs familles	Action sociale des armées, cellules d'assistance aux blessés des armées assurant le suivi dans la durée des blessés Associations Institution nationale des Invalides (INI) chargés d'accueillir les victimes de lourds handicaps liés à des blessures de guerre
	Élaborer une politique de recrutement des personnels en situation de handicap	Mobilisation de son réseau et développement de partenariats avec des organismes spécialisés, communication sur les opportunités d'emploi tant en interne qu'en externe
	Adapter les conditions de travail en fonction du handicap	Aménagement individualisé des postes de travail et de leur environnement, accompagnement pour les trajets domicile-travail et lors des mutations
	Rendre accessible une partie du patrimoine bâti par la programmation de travaux de mise aux normes	
	Former à la profession et rendre accessible les formations spécialisées	Langue des signes
	Sensibiliser et informer les personnels d'encadrement	Stage d'adaptation des fonctionnaires, des chargés de prévention des risques professionnels
	Accueillir des jeunes en situation de handicap	
	Étudier systématiquement la pertinence du recours au secteur protégé et aux personnes en situation de handicap	
	Prendre en compte les conséquences humaines et sociales de la réorganisation de la Défense pour les personnels en situation de handicap	Concertation pluridisciplinaire dans le contexte de maintien dans l'emploi soit pour un reclassement, soit pour faire face aux restructurations
	Expérimenter de manière ciblée le télétravail au sein de certains organismes du ministère	
Accroître la participation du ministère à des dispositifs d'insertion et de cohésion sociale pour l'égalité des chances	Gouvernance : nommer un délégué à l'égalité des chances auprès du ministre	
	Lutter contre l'illettrisme et le décrochage scolaire	Détection lors de la journée Défense citoyenneté
	Disposer d'une insertion et d'une aide aux jeunes en difficulté	
Poursuivre les actions de solidarité au sein de la communauté de Défense	Mobiliser les réservistes	Intervention sur les missions intérieures comme sur les théâtres d'opérations, préparation opérationnelle des forces, conduite d'opération, travaux d'inspection, missions d'étude ou de conduite de projets
	Agir socialement	Mise en œuvre d'une politique sociale du ministère au profit de l'ensemble des personnels, des familles, des enfants et des retraités
	Établir un lien avec les anciens combattants, les retraités et les familles au sein de la communauté Défense	Écoute, soutien efficace, et aide morale aux familles, et conjoints de militaires, entraide, solidarité, amicales et associations d'officiers

• Objectif 9 : Défis internationaux en matière de développement durable et de pauvreté dans le monde

Choix stratégiques	Actions	Exemples
Être acteur de la solidarité internationale à travers la participation des armées à des actions civilo-militaires	Sensibiliser et acculturer pour les militaires et leurs familles avant leur départ en mission à l'étranger, en collaboration avec le Ministère des Affaires étrangères et européennes, et sur place, diffusion de guides d'accueil aux nouveaux arrivants	
	Élaborer des actions civilo-militaires au profit des populations	En matière d'environnement : accès aux biens essentiels y compris recours à des actions vétérinaires (qualité, eau), dépollution, gestion des déchets En matière économique : construction d'infrastructures, préparation des investissements privés (compétitivité, contrats de gestion déchets confiés à des acteurs locaux) En matière sociale : embauche de personnels civils, aide médicale gratuite, déminage, actions de formation notamment dans le cadre d'un partenariat avec des institutions locales
Contribuer à la prise en compte du Développement Durable dans les organisations internationales	Proposer des actions de prévention de crises et de conflits internationaux	Identification des bassins hydrographiques pouvant provoquer des conflits au niveau international et proposition de modalités de mise en place de gouvernance locale pour éviter ces conflits
	Participer à l'élaboration de normes internationales plus respectueuses de l'Homme	Armement, prolifération, Droits de l'Homme, contribution en amont à l'élaboration de la réglementation européenne et des standards OTAN en matière d'environnement
Rechercher une conduite exemplaire, dans le champ environnemental, pour les activités du ministère hors du territoire national	Prendre en compte l'environnement hors du territoire national	Appliquer, quand c'est possible, la réglementation la plus contraignante entre la réglementation locale et la réglementation française
		Réalisation de diagnostics environnementaux d'entrée de sorties des théâtres d'opérations

**ANNEXE 2 – PRÉSENTATION DE LA STRATÉGIE ENVIRONNEMENTALE DE LA DÉFENSE CANADIENNE (SED) EN 2008** (Tiré de : Canada, 2014, p. 1)

- Objectif 1 : Assurer l’approvisionnement, la mise en place de contrats et de services commerciaux

Choix stratégiques	Actions	Exemples
Gérer les marchés d’approvisionnement et les autres services obtenus auprès des entreprises	Intégrer l’environnement dans le processus d’approvisionnement, de la planification à l’élimination définitive	<b>Intégration de l’environnement aux activités navales</b> Mise en place par la Marine royale canadienne d’un système de sécurité et de gestion environnementale (SSGE). L’objectif est de gérer les activités navales en matière de santé, de sécurité humaine et d’environnement. Il a été utilisé pour intégrer les exigences environnementales aux activités quotidiennes, vérifier la prise en compte des risques et les mesures d’atténuation. Employé régulièrement, le SSGE permet à la Marine royale d’être efficace et de réaliser des progrès en matière de protection de l’environnement.
	S’assurer que les transactions immobilières sont axées sur les pratiques relatives à l’environnement	Revalorisation des terres excédentaires de la caserne à Griesbach (Edmonton, Alberta) avec la Société immobilière du Canada limitée. En étant conformes aux normes environnementales de l’armée, les différentes parties prenantes ont effectué une analyse complète de l’état de la propriété. Il a été possible de repérer les matériaux dangereux des locaux, de nettoyer les sites contaminés et estimer les immeubles ayant une vraie valeur patrimoniale. La caserne est actuellement devenue un village résidentiel.
	Adapter et améliorer continuellement les services internes et les activités opérationnelles afin de réduire au maximum leurs empreintes environnementales	

- Objectif 2 : Veiller à la sécurité des biens

Choix stratégiques	Actions	Exemples
Protéger les biens	Gérer l’équipement électrique et électronique du berceau à la tombe de façon à prévenir la génération de déchets	<b>Gestion des risques environnementaux</b> Un programme existe pour gérer, réduire et éliminer les risques exposés par l’utilisation constante de munitions pour le tir réel. Il s’agit du Programme de gestion des contaminants dans les zones de tir et les secteurs d’entraînement. La solution est la mise en place de nouvelles politiques et de nouvelles techniques basées sur des études solides. Il est alors possible aux forces militaires de poursuivre leurs entraînements tout en réduisant leurs impacts sur l’environnement.
	Construire, rénover et démolir les installations d’une manière qui appuie la disponibilité militaire et réduit l’empreinte environnementale	
	Gérer les établissements de la Défense et les zones de formation et d’opération afin de réduire au minimum les effets sur l’environnement, tout en assurant la disponibilité militaire	<b>Vers l’élaboration de camps durables</b> Actuellement, le pôle Recherche et développement de la Défense canadienne et le Commandement des opérations interarmées du Canada s’intéressent aux techniques de génération d’énergie (dont l’énergie électrique). Celles-ci visent à diminuer ou éliminer la consommation en énergies fossiles dans les camps d’entraînements.
	Insister sur l’utilisation de nouvelles sources d’énergie, lorsque c’est possible, pour l’alimentation du parc de véhicules commerciaux	
	Gérer le plus durablement possible l’équipement essentiel aux missions militaires	
	S’assurer que les munitions et les explosifs soient sûrs et adéquats par rapport à l’utilisation qui en est faite et qu’ils sont gérés de façon à réduire l’empreinte environnementale de la Défense	

- Objectif 3 : Gérer efficacement les ressources

Choix stratégiques	Actions	Exemples
Améliorer l’utilisation des ressources	Optimiser la façon d’utiliser l’énergie et de réduire la dépendance à l’égard des sources d’énergie habituelles Changer de comportement afin d’assurer un accès constant à l’eau potable et en utiliser le moins possible	À titre d’exemple, en 2010, la Force aérienne canadienne a créé un bureau du développement durable au sein de l’aviation. Il a lancé de nombreuses actions afin d’augmenter l’efficacité du secteur aérien. Parmi celles-ci, il faut retenir :

	Déployer des efforts en vue de la réduction, de la réutilisation et du recyclage des déchets solides générés par les opérations militaires	<ul style="list-style-type: none"> <li>la création d'un programme de surveillance et d'analyse de la consommation énergétique de tous les immeubles dont la superficie est supérieure à 500 m<sup>2</sup></li> <li>la mise en place d'évaluations sur l'état des installations</li> <li>la fabrication de matériel promotionnel et de formation dans le but de soutenir les programmes locaux de conservation d'énergie de l'aviation militaire</li> </ul>
--	--	--

- Objectif 4 : Contrôler et manipuler utilement les substances et les produits

Choix stratégiques	Actions	Exemples
Manipuler adéquatement les produits et les services	Gérer les matières dangereuses et les substances chimiques avec soin, de leur achat jusqu'à leur élimination, et réduire au mieux l'utilisation de ces matières et substances	
	Manipuler convenablement le pétrole, les huiles et les lubrifiants et l'infrastructure d'entreposage, et adopter des pratiques de prévention de la pollution	<b>Vers les fluides hydrauliques durables</b>
	Gérer les hydrocarbures et les substances qui détruisent la couche d'ozone	À l'heure actuelle, les parcs aériens emploient des fluides hydrauliques minéraux nocifs pour l'environnement. La plupart des ministères, dont la Défense canadienne, optent pour des fluides synthétiques moins dommageables aux écosystèmes. Il s'en dégage un impact positif sur l'interopérabilité des aéronefs militaires canadiens et alliés.
	Utiliser les sources de rayonnement ionisant de manière réduite afin de ne pas provoquer de risques pour la santé humaine et l'environnement	
	Gérer et traiter les eaux usées des établissements avant leur rejet dans l'environnement	

ANNEXE 3 – PRÉSENTATION DE L'OUTIL

➤ ONGLET « Accueil »

The screenshot displays the GreenShip software interface within a spreadsheet-like grid. The main area features a central diagram of a ship surrounded by six colored boxes representing a process flow: 'Notation' (grey), 'Règlementation' (orange), 'Éco-conception' (blue), 'Synthèse' (red), 'Objectifs de l'entreprise' (yellow), and 'Résultats d'ACV' (green). A 'SOMMAIRE' (Summary) callout box is positioned over the 'Éco-conception' box, containing text about the tool's purpose and logos for 'CONTACT' and 'LEXIQUE ABC'. To the right, a 'PROJET' (Project) form includes fields for 'Numéro', 'Nom du projet', 'Date' (05/01/2016), 'Organisme', 'Consultant DD' (PIERRE MEYER-BISCH), 'Nom du responsable', and 'Gestionnaire(s)'. A 'Commentaires' (Comments) text area is located below the form. At the bottom, a navigation bar contains tabs for 'Modalités d'utilisation', 'Objectifs', 'ACV\_1', 'ACV\_2', 'Notation', 'Règlementation', 'Écoconception', 'Bilan synthèse', and 'Contact'.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
1																												
2																												
3																												
4																												
5																												
6																												
7																												
8																												
9																												
10																												
11																												
12																												
13																												
14																												
15																												
16																												
17																												
18																												
19																												
20																												
21																												
22																												
23																												
24																												
25																												
26																												
27																												
28																												
29																												
30																												
31																												
32																												
33																												
34																												
35																												
36																												
37																												
38																												
39																												
40																												
41																												



Champ d'étude

**Unité Fonctionnelle :**

*Une frégate est un navire caractérisé par ses performances militaires. Conçue pour assurer X jours opérationnels en mer ou à quai pour une année selon sa durée de vie définie, la frégate possède une autonomie ayant un rayon d'action de Y milles nautiques ou de Z mesures de temps entre deux ravitaillements. Elle possède un équipage de W personnes embarquées et doit permettre un déplacement de T tonnes en charge. Avec une vitesse maximale de V<sub>1</sub> nœuds et une vitesse de transit V<sub>2</sub> nœuds, la frégate doit être manœuvrable et assurer une certaine stabilité en mer.*

1) Concevoir et réaliser un navire

2) Concevoir et réaliser un navire de type standard  
Code couleur :

Quels sont vos objectifs d'entreprise ?

3) Concevoir et réaliser un navire de type volontariste  
Code couleur :

4) Concevoir et réaliser un navire éco-conçu  
Code couleur :

Modalités d'utilisation

**Objectifs**

ACV\_1

ACV\_2

Notation

Règlementation

Ecoconception

Bilan synthèse

Contact

Lexique

Références

+

PHASES	TABLEAU DES SEUILS	Groupes fonctionnels	Émissions par catégories d'impacts intermédiaires (en Kpt)										TOTAUX	
	GRAPHIQUES		Gaz à effet de serre	Couche d'ozone	Acidification	Eutrophisation	Métaux lourds	Éléments carcinogènes	Smog d'hiver	Smog d'été	Pesticides	Ressources énergétiques	Déchets solides	
 <b>FABRICATION</b>		Coque												0
		Équipement de communication												0
		Propulsion												0
		Systèmes d'armes												0
		Traitement et exploitation des informations												0
		Usine électrique												0
		Vie à bord												0
		Lestage												0
		<b>TOTAL</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
 <b>UTILISATION</b>		Consommations et émissions propulsion												0
		Consommations et émissions usine électrique												0
		Consommation eau douce												0
		<b>TOTAL</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

➤ ONGLET « ACV\_Mid\_Point » (suite)

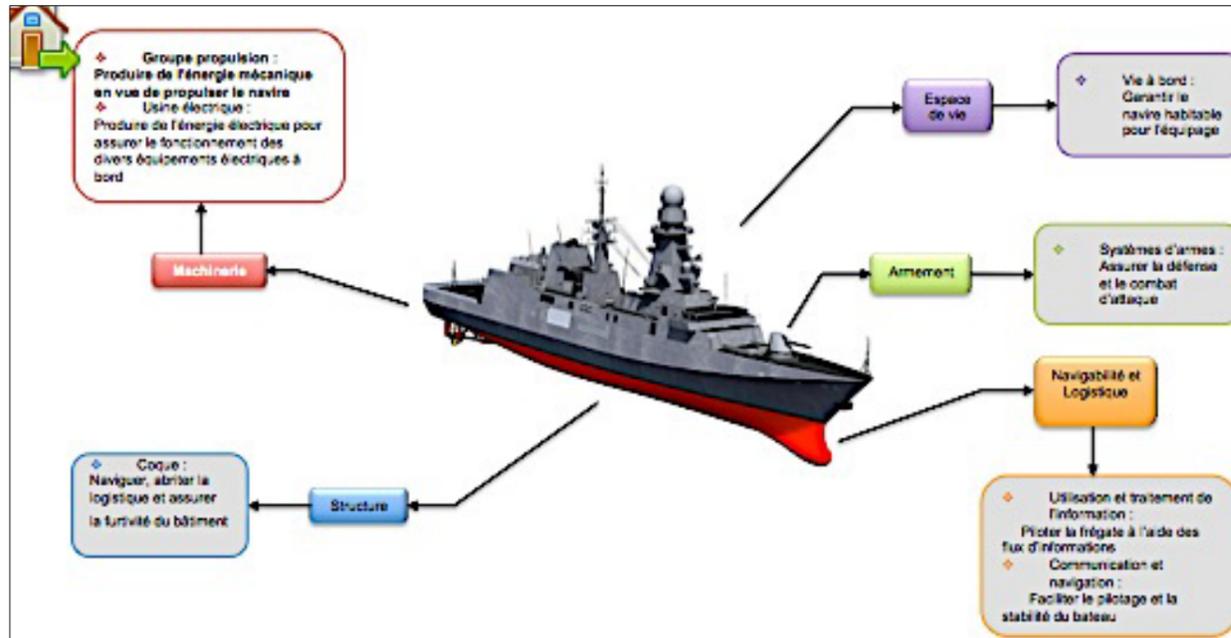
 <b>TABLEAU DES SEUILS</b> <b>GRAPHIQUES</b>	<b>Groupes fonctionnels</b>	<b>Émissions par catégories d'impacts intermédiaires (en Kpt)</b>											<b>TOTAUX</b>	
		<b>PHASES</b>	Gaz à effet de serre	Couche d'ozone	Acidification	Eutrophisation	Métaux lourds	Éléments carcinogènes	Smog d'hiver	Smog d'été	Pesticides	Ressources énergétiques		Déchets solides
 <b>MAINTENANCE</b>	Colis de maintenance													0
	RGP													0
	Maintenance coque													0
	Huiles de maintenance													0
	Graisses de maintenance													0
	<b>TOTAL</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	 <b>FIN DE VIE</b>	Recyclage des éléments												
Découpe et broyage														0
Traitement des matériaux														0
Incinération des éléments														0
Tri et valorisation														0
<b>TOTAL</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

PHASES	Groupes fonctionnels	Émissions par catégories d'impacts finaux (en Kpt)										TOTAUX	
		Couche d'ozone	Éléments carcinogènes	Déchets solides	Acidification	Eutrophisation	Métaux lourds	Pesticides	Gaz à effet de serre	Smog d'hiver	Smog d'été		Ressources énergétiques
		SANTÉ HUMAINE			QUALITÉ DES ÉCOSYSTÈMES				CHANGEMENT DU CLIMAT		ÉPUISEMENT DES RESSOURCES		
FABRICATION	Coque	0		0				0		0		0	
	Équipement de communication	0		0				0		0		0	
	Propulsion	0		0				0		0		0	
	Systèmes d'armes	0		0				0		0		0	
	Traitement et exploitation des informations	0		0				0		0		0	
	Usine électrique	0		0				0		0		0	
	Vie à bord	0		0				0		0		0	
	Lestage	0		0				0		0		0	
	<b>TOTAL</b>	<b>0</b>		<b>0</b>				<b>0</b>		<b>0</b>		<b>0</b>	
UTILISATION	Consommations et émissions propulsion	0		0				0		0		0	
	Consommations et émissions usine électrique	0		0				0		0		0	
	Consommation eau douce	0		0				0		0		0	
	<b>TOTAL</b>	<b>0</b>		<b>0</b>				<b>0</b>		<b>0</b>		<b>0</b>	

➤ ONGLET « ACV\_End\_Point » (suite)

PHASES	Groupes fonctionnels	Émissions par catégories d'impacts finaux (en Kpt)										TOTAUX	
		Couche d'ozone	Éléments carcinogènes	Déchets solides	Acidification	Eutrophisation	Métaux lourds	Pesticides	Gaz à effet de serre	Smog d'hiver	Smog d'été		Ressources énergétiques
		SANTÉ HUMAINE			QUALITÉ DES ÉCOSYSTÈMES				CHANGEMENT DU CLIMAT		ÉPUISEMENT DES RESSOURCES		
MAINTENANCE	Colis de maintenance	0			0				0		0	0	
	RGP	0			0				0		0	0	
	Maintenance coque	0			0				0		0	0	
	Huiles de maintenance	0			0				0		0	0	
	Graisses de maintenance	0			0				0		0	0	
	<b>TOTAL</b>	0			0				0		0	0	0
FIN DE VIE	Recyclage des éléments	0			0				0		0	0	
	Découpe et broyage	0			0				0		0	0	
	Traitement des matériaux	0			0				0		0	0	
	Incinération des éléments	0			0				0		0	0	
	Tri et valorisation	0			0				0		0	0	
	<b>TOTAL</b>	0			0				0		0	0	0

➤ ONGLET « Notation »



Application d'une notation pour le groupe de propulsion (Machinerie)

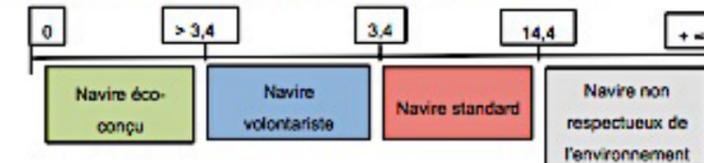
Fonction : Produire de l'énergie mécanique en vue de propulser le navire

Impacts : Émissions de GES (SOx et NOx)

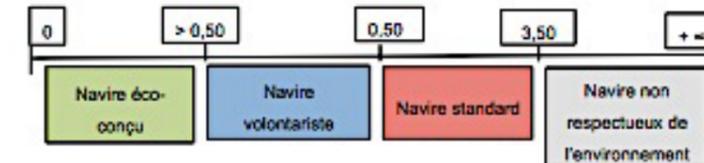
Catégorie d'impacts intermédiaires : Gaz à effet de serre

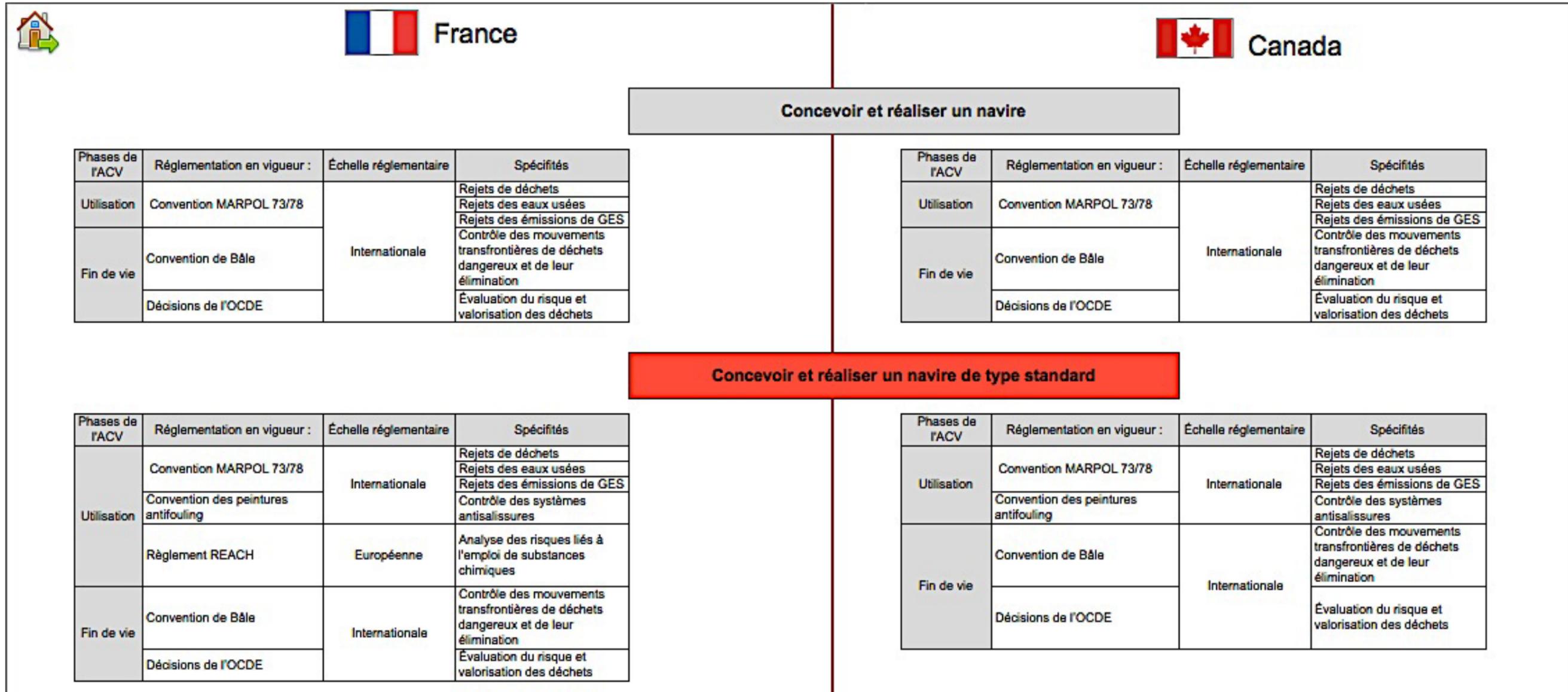
	Type de navires			
	1) Simple	2) Standard	3) Volontariste	4) Éco-conçu
Valeurs seuils de NOx	> 14,4 g/kWh	14,4 g/kWh	3,4 g/kWh	< 3,4 g/kWh
Valeurs seuils de SOx	> 3,5%	3,50%	0,50%	< 0,50 %

Catégories d'impacts : Gaz à effet de serre (GES) - cas des NOx



Catégories d'impacts : Gaz à effet de serre (GES) - cas des SOx







**Concevoir et réaliser un navire de type volontariste**

Phases de l'ACV	Réglementation en vigueur :	Échelle réglementaire	Spécificités
Utilisation	Convention MARPOL 73/78	Internationale	Rejets de déchets
			Rejets des eaux usées
	Résolution OMI MEPC.107(49)		Rejets des émissions de GES
			Prévention de la pollution par les hydrocarbures
	Convention sur les eaux de Ballast		Prévention de la pollution par les eaux grises et noires
	Protocole de Montréal		Prévention de la pollution par les eaux usées
Fin de vie	Convention de Bâle		Utilisation des fluides frigorigènes
	Décisions de l'OCDE		Contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination
			Évaluation du risque et valorisation des déchets

Phases de l'ACV	Réglementation en vigueur :	Échelle réglementaire	Spécificités
Utilisation	Convention MARPOL 73/78	Internationale	Rejets de déchets
			Rejets des eaux usées
	Résolution OMI MEPC.107(49)		Rejets des émissions de GES
			Prévention de la pollution par les hydrocarbures
	Convention sur les eaux de Ballast		Prévention de la pollution par les eaux grises et noires
	Protocole de Montréal		Prévention de la pollution par les eaux usées
Fin de vie	Convention de Bâle		Utilisation des fluides frigorigènes
	Décisions de l'OCDE		Contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination
			Évaluation du risque et valorisation des déchets

**Concevoir et réaliser un navire de type éco-conçu**

Phases de l'ACV	Réglementation en vigueur :	Échelle réglementaire	Spécificités
Utilisation	Convention MARPOL 73/78	Internationale	Rejets de déchets
			Rejets des eaux usées
	Principe de précaution		Rejets des émissions de GES
			Prévention de la pollution par les hydrocarbures
	Convention Solas		Prévention de la pollution par les eaux grises et noires
			Prévention de la pollution par les eaux usées
Fin de vie	Convention de Bâle		Contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination
	Décisions de l'OCDE		Évaluation du risque et valorisation des déchets

Phases de l'ACV	Réglementation en vigueur :	Échelle réglementaire	Spécificités
Utilisation	Convention MARPOL 73/78	Internationale	Rejets de déchets
			Rejets des eaux usées
	Principe de précaution		Rejets des émissions de GES
			Prévention de la pollution par les hydrocarbures
	Convention Solas		Prévention de la pollution par les eaux grises et noires
			Prévention de la pollution par les eaux usées
Fin de vie	Convention de Bâle		Contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination
	Décisions de l'OCDE		Évaluation du risque et valorisation des déchets



➤ ONGLET « Bilan synthèse »

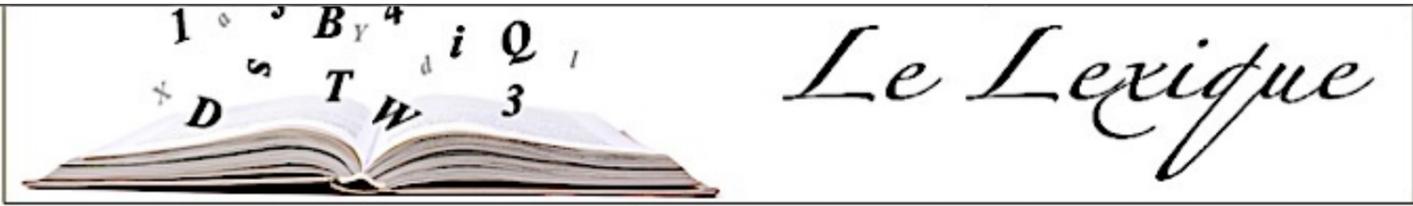
				Réduction d'impacts finaux selon les stratégies et les actions souhaitées (Kpt)																				
				SANTÉ HUMAINE					QUALITÉ DES ÉCOSYSTÈMES					CHANGEMENT DU CLIMAT					ÉPUISEMENT DES RESSOURCES					
Concevoir et réaliser un navire	Stratégies d'éco-conception	Actions	Impacts de l'action en Kpt	Fabrication	Utilisation	Maintenance	Fin de vie	Bilan ACV toutes phases	Fabrication	Utilisation	Maintenance	Fin de vie	Bilan ACV toutes phases	Fabrication	Utilisation	Maintenance	Fin de vie	Bilan ACV toutes phases	Fabrication	Utilisation	Maintenance	Fin de vie	Bilan ACV toutes phases	
Standard	1) Réduire la demande énergétique du navire	1) Réduire la consommation de carburant	1	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	
		2) Redéfinir le système énergétique du navire	1	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	
		3) Réduire la résistance à l'avancement du navire (améliorer l'hydrodynamisme)	1	-1		-1	-1	-3	-1		-1	-1	-3	-1		-1	-1	-3	-1		-1	-1	-3	-1
		4) Réduire les pertes énergétiques	1	-1	-1			-2	-1	-1			-2	-1	-1			-2	-1	-1			-2	-1
Volontariste	1) Réduire la demande énergétique du navire	1) Réduire la consommation de carburant	1	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	
		2) Redéfinir le système énergétique du navire	1	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	
		3) Réduire la résistance à l'avancement du navire (améliorer l'hydrodynamisme)	1	-1		-1	-1	-3	-1		-1	-1	-3	-1		-1	-1	-3	-1		-1	-1	-3	-1
		4) Réduire les pertes énergétiques	1	-1	-1			-2	-1	-1			-2	-1	-1			-2	-1	-1			-2	-1
Eco-conçu	2) Diminuer les émissions de GES du navire	1) Modifier la composition des émissions d'échappement	1	-1	-1	-1	-1	-4	-1	-1			-2	-1	-1			-2	-1	-1			-2	-1
		3) Réduire les impacts de la « vie à bord »	1	-1	-1	-1	-1	-4	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	
		2) Améliorer les capacités de stockage	1	-1		-1	-1	-4	-1		-1		-1	-1		-1		-1	-1		-1		-1	-1
		1) Réduire la consommation de carburant	1	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	-1
Eco-conçu	1) Réduire la demande énergétique du navire	2) Redéfinir le système énergétique du navire	1	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	
		3) Réduire la résistance à l'avancement du navire (améliorer l'hydrodynamisme)	1	-1		-1	-1	-3	-1		-1	-1	-3	-1		-1	-1	-3	-1		-1	-1	-3	-1
		4) Réduire les pertes énergétiques	1	-1	-1			-2	-1	-1			-2	-1	-1			-2	-1	-1			-2	-1
		2) Diminuer les émissions de GES du navire	1) Modifier la composition des émissions d'échappement	1	-1	-1			-2	-1	-1			-2	-1	-1			-2	-1	-1			-2
	3) Réduire les impacts de la « vie à bord »	1) Générer efficacement les déchets et les effluents	1	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	-1	-1	-1		-3	
		2) Améliorer les capacités de stockage	1	-1				-1	-1				-1	-1				-1	-1				-1	-1
4) Réduire la demande énergétique du navire	1) Opter pour de nouvelles sources énergétiques	1	-1				-1	-1				-1	-1				-1	-1				-1	-1	
	5) Optimiser la gestion des consommations et des émissions	1) Améliorer la connaissance en temps réel	1	-1				-1	-1			-1	-1				-1	-1				-1	-1	
6) Optimiser les opérations courantes et critiques	3) Générer efficacement l'énergie à bord	2) Améliorer les conditions de navigation	1	-1				-1	-1			-1	-1				-1	-1				-1	-1	
		1) Générer l'état du navire en temps réel	1	-1		-1		-2	-1		-1		-2	-1		-1		-2	-1		-1		-2	-1
		2) Assurer une aide pour les manœuvres	1	-1				-1	-1			-1	-1				-1	-1				-1	-1	

Catégories d'impacts finaux (Kpt)				
Phases	SANTÉ HUMAINE	QUALITÉ DES ÉCOSYSTÈMES	CHANGEMENT DU CLIMAT	ÉPUISEMENT DES RESSOURCES
Fabrication	0	0	0	0
Utilisation	0	0	0	0
Maintenance	0	0	0	0
Fin de vie	0	0	0	0

➤ ONGLET « Contact »

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
													
<p><b>Pour plus d'informations ou pour donner vos commentaires sur cet outil, veuillez contacter :</b></p> <p><b>Pierre Meyer-Bisch</b></p>													
													
<p>Modalités d'utilisation   Objectifs   ACV_Mid_Point   ACV_End_Point   Notation   Règlementation   Écoconception   <b>Bilan synthèse</b>   <b>Contact</b>   Lexique   Références</p>													



# Le Lexique

A	E	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

**A**

**Acidification** Les activités humaines dû aux émissions de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et HCl affectent les écosystèmes en entraînant une augmentation de l'acidité des sols, des cours d'eau et de l'air (Actu-environnement, 2016).

**Analyse de cycle de vie (ACV)** « Compilation et évaluation des entrants et sortants, ainsi que des impacts potentiels environnementaux d'un système au cours de son cycle de vie » (Quantis, 2009)

**Amélioration continue** Effort continu qui est fait de petites améliorations faites jour après jour sans repartir en arrière (Hohmann, 2015).

**Anthropocentrique** Philosophie qui place l'Homme en tant qu'entité centrale de l'univers et fait que tout est rapporté à lui (Larousse, 2015).

**B**

**Biocarburant** Carburants de substitution qui sont produits à partir de la biomasse (bois, déchets, alcools) qui est brûlée pour fournir de l'énergie. Ils ne relâchent pas de carbone dans l'atmosphère (Futura-sciences, 2016).

 **C**

**Corvette** Bâtiment de guerre de taille inférieure à la frégate, mais possédant les mêmes caractéristiques (CNRTL, 2012).

**Couche d'ozone** Partie de la stratosphère (20 à 50 km d'altitude) ayant une concentration d'ozone d'environ dix parties par million (Actu-environnement, 2016).

**Cycle de vie** « Le cycle de vie d'un produit prend en compte toutes les activités qui entrent dans la fabrication, l'utilisation, le transport et l'élimination de ce produit » (Actu-environnement, 2014)

**D**

**Démantèlement** Action de détruire (Baradel et autres, 2012)

**Développement durable** « Développement qui répond aux besoins des générations actuelles sans compromettre ceux des générations futures » (commission Brundtland). C'est un mode de développement qui essaie de combiner

**E**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
1	<h1>RÉFÉRENCES</h1>																							
2																								
3																								
4																								
5																								
6																								
7	3eD collège Saint Paul Cherbourg (2015). Les plastiques dans le vent ! In Collège Saint Paul, Cherbourg. <a href="http://www.lesplastiquesendebat.com/wp-content/uploads/2012/08/120_DELAHAYE_COLLEGE_ST_PAUL_4_3eD.pdf">http://www.lesplastiquesendebat.com/wp-content/uploads/2012/08/120_DELAHAYE_COLLEGE_ST_PAUL_4_3eD.pdf</a> (Page consultée le 06 septembre 2015).																							
8	Abbod, M., Belega, R., Peirce, D., Ganippa, L., Marivannan, N. et W. Balachandran (2014). Power Controlled Microwave Reactor for the Removal of NOx and SOx from the Exhaust of Marine Diesel Engine. <i>Transport Research Arena</i> , vol.1, p.1-9. <a href="http://tra2014.braconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_19706.pdf">http://tra2014.braconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_19706.pdf</a> (Page consultée le 02 juil																							
9																								
10	Actu Environnement (2015). Protocole de Montréal. In <i>Actualités. Dictionnaire en environnement</i> . <a href="http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/protocole_de_montréal.php4">http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/protocole_de_montréal.php4</a> (Page consultée le 25 décembre 2015).																							
11																								
12	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) (2015). Navires du futur. In <i>Investissements d'Avenir. Véhicules et transports du futur, Appel à projets</i> . <a href="http://www.gouvernement.fr/sites/default/files/contenu/piece-jointe/2015/05/aap_navire_du_futur_edition_2015.pdf">http://www.gouvernement.fr/sites/default/files/contenu/piece-jointe/2015/05/aap_navire_du_futur_edition_2015.pdf</a> (Page consultée le 06 septembre 2015).																							
13																								
14	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) (2014). Voilier du Futur : Eco-innovations dans le domaine du nautisme. In <i>Investissements d'Avenir. Ami Navires du Futur</i> . <a href="http://www.carican.fr/wp-content/uploads/2014/05/Voilier-du-Futur-Fiche-lauréat.pdf">http://www.carican.fr/wp-content/uploads/2014/05/Voilier-du-Futur-Fiche-lauréat.pdf</a> (Page consultée le 08 septembre 2015).																							
15																								
16	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) (2011). Synthèse feuille de route sur les navires du futur. In ADEME. <a href="http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/88724_synthese-feuille-de-route-navires-futur.pdf">http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/88724_synthese-feuille-de-route-navires-futur.pdf</a> (Page consultée le 08 septembre 2015).																							
17																								
18	Ahlers, R. et R. Doyle (2014). Stabilisation of vessels with support of balloons. <i>Transport Research Arena</i> , vol.1, p.1-10. <a href="http://tra2014.braconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_29368.pdf">http://tra2014.braconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_29368.pdf</a> (Page consultée le 17 juin 2015).																							
19																								
20	Aldred, N. et A.S. Clare (2008). The adhesive strategies of cyprids and development of barnacle-resistant marine coatings. <i>Biofouling</i> , vol. 1, n° 24, p. 351-363.																							
21																								
22	Altmann, M. Weindorf, W. et M. Weinberger (2004). Life Cycle Analysis results of fuel cell ships : Recommendations for improving cost effectiveness and reducing environmental impacts (rapport interne de FCSHIP numéro DTR-4.5-LBST-05.2004). 2e édition, Ottobrunn, L-B-Systemtechnik, MTU Friedrichshafen, 58 p.																							
23	Association Française de NORmalisation (AFNOR) (2008). Panorama des initiatives françaises dans le domaine de l'écoconception. In AFNOR Normalisation. Synthèse, norme expérimentale XP ISO/TR 14062. <a href="http://www.eco-conception.fr/data/exports/4/ZGF0YS9zb3VyY2VzL3VzZXJzLzQvZG9jcy9vdXRpbHMZXR1ZGU">http://www.eco-conception.fr/data/exports/4/ZGF0YS9zb3VyY2VzL3VzZXJzLzQvZG9jcy9vdXRpbHMZXR1ZGU</a>																							
24	Audoly, C., Rausset, C., Folegot T., André, M., Benedetti, L. et E. Baudin (2014). Development of methods and indicators for the assessment of shipping noise footprint on underwater environment and impact on marine life. <i>Transport Research Arena</i> , vol.1, p. 1-10. <a href="http://tra2014.braconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_18455.pdf">http://tra2014.braconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_18455.pdf</a> (Page c																							
25																								
26	Baradel, A., Fromentoux, M. et S. Manceau (2012). Les bateaux de plaisance en fin de vie. <i>Projet d'étude, École des Métiers de l'Environnement, Rennes, France</i> , 36 p.																							
27																								
28	Benchifa, R., Bennouna, A. et D. Zejl (2007). Rôle de l'hydrogène dans le stockage de l'électricité à base des énergies renouvelables. In 2e Conférence Internationale sur l'hydrogène 2W1H2, Ghardaia, 27-29 Octobre, Algérie, Afrique du Nord.																							
29																								
30	Blas Galindo, E., Barros Garcia, R., Pfeifer, S., Ullán Vicente, R. et E. Guedella Bustamante (2014). New bio coating for corrosion inhibition on maritime infrastructures and transportation. <i>Transport Research Arena</i> , vol.1, p. 1-9. <a href="http://tra2014.braconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_19915.pdf">http://tra2014.braconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_19915.pdf</a> (Page consultée le 11 juillet 2015).																							
31																								
32	Blousseville, T. et A. Remoué (2008). les bateaux vivent au vert. <i>L'Usine Nouvelle</i> , 17 juillet, p. 62-65.																							
33																								
34	Boardman, R. Thornton, D., Schoorman, H. et R. Verbeek (2005). Wärtsilä waterjets for US Navy INLS program, <i>Wärtsilä Marine News</i> , Numéro 1, p. 26-30.																							
35																								
36	Bobbera, C. (2012). Déconstruire des navires en respectant l'environnement. In Ministère de la défense. <i>Actualités</i> . <a href="http://www.defense.gouv.fr/actualites/dossiers/environnement-durable-pour-la-defense/deconstruire-des-navires-en-respectant-l-environnement">http://www.defense.gouv.fr/actualites/dossiers/environnement-durable-pour-la-defense/deconstruire-des-navires-en-respectant-l-environnement</a> (Page consultée le 28 mai 2015).																							
37																								
38	Borer, L.-A (2015). Hermione au Chevalier-Paul, les frégates de la Marine française. <i>The Provence Herald</i> , 23 avril, p.1																							
39																								
40	Bougataya, I., De Bruyne, C et P. Mbaki Helu (2007). MARPOL et ses annexes : quelle efficacité ? <i>Neptunus</i> , vol. 13, p. 1-27. <a href="http://www.cdm.univ-nantes.fr/96053546/1/fiche___page1bre/&amp;RH=1380007571599&amp;RF=1380008642250">http://www.cdm.univ-nantes.fr/96053546/1/fiche___page1bre/&amp;RH=1380007571599&amp;RF=1380008642250</a> (Page consultée le 06 septembre 2015).																							
41																								
42	Buckingham, J. (2009). European Defence Agency. Overall platform energy efficiency study, Volume 1 : technology report, BMT Defence Services, Numéro 1, avril 2009.																							
43																								
44	Castelnérac, P.G., Tincelin, T. et G. Jouanne (2010). L'écoconception : Avenir de la construction navale ? In SSD (Sustainable Ship Design), <i>Compte rendu de la Conférence Econav – « Les Bateaux du futur », Vendredi 5 mars 2010. SSD, Sustainable Ship Design</i> .																							
45																								
46	Chen, W. (2007). Solutions for waste and sewage treatment onboard ship. In <i>Conférence Asie-Pacifique de Technologies de Navires Écologiques</i> , Singapour, 16-17 Octobre, Asie.																							
47																								
48	Choi, Y.-B. (2008). Energy saving devices, DSME, 6 novembre.																							
49																								
50	Claudepierre, M. (2010). <i>Projet R&amp;D Eonav : analyse du contexte réglementaire (document interne numéro D01 indice A)</i> . Paris, Bureau Veritas, 10 p.																							
51																								
52	CMA-CGM (2015). CMA-CGM poursuit l'optimisation énergétique et environnementale de ses navires et remplace les bulbes d'étrave de 10 d'entre eux. In CMA-CGM, <i>Technologie. Document d'informations</i> . <a href="https://www.cma-cgm.fr/detail-news/640/cma-cgm-poursuit-l-optimisation-energetique-et-environnementale-de-ses-navires-et-remplace-les">https://www.cma-cgm.fr/detail-news/640/cma-cgm-poursuit-l-optimisation-energetique-et-environnementale-de-ses-navires-et-remplace-les</a>																							
53																								
54																								
55																								
56																								
57																								
58																								
59																								
60																								
61																								
62																								
63																								
64																								
65																								
66																								
67																								
68																								
69																								
70																								
71																								
72																								
73																								
74																								
75																								
76																								
77																								
78																								
79																								
80																								
81																								
82																								
83																								
84																								
85																								
86																								
87																								
88																								
89																								
90																								
91																								
92																								
93																								
94																								
95																								
96																								
97																								
98																								
99																								
100																								

#### ANNEXE 4 – PROPOSITIONS DE STRATÉGIES D'ÉCO-CONCEPTION

Objectifs de l'entreprise	Propositions stratégiques en éco-conception	Actions	Exemples
Concevoir et réaliser un navire de type standard	Réduire la demande énergétique du navire	Réduire la consommation de carburant	• Changement du moteur : Opter pour un moteur diesel, gaz-diesel, un moteur de type <i>isoengine</i> ou hydrojets
			• Modification des chambres de combustion, des pistons et des valves électro-hydrauliques
			• Contrôle et gestion électronique du système d'injection de gasoil
			• Couplage des machines isolées
		Redéfinir le système énergétique du navire	• Engagement pour un système hydrogène-pile à combustible ou un système propulsif amélioré
			• Emploi de technologies et d'équipements moins énergivores
		Réduire la résistance à l'avancement du navire (améliorer l'hydrodynamisme)	• Redéfinition et optimisation de la forme du navire
			• Utilisation des éléments hydrodynamiques, tel qu'une étrave
			• Utilisation de revêtement sur la coque du navire à l'aide de peintures <i>antifouling</i>
		Réduire les pertes énergétiques	• Mise en place d'un guide de bonnes pratiques pour la conduite du navire
			• Utilisation de pompes à chaleur ou de la thermo électricité
			• Isolation des sources froides extérieures au navire par l'équipement d'un système de ventilation adapté aux conditions climatiques ambiante
• Utilisation d'un système d'éclairage « basse consommation » et d'un système « mise en veille » des équipements			
Concevoir et réaliser un navire de type volontariste	Diminuer les émissions de GES du navire	Modifier la composition des émissions d'échappement	• Récupération de l'énergie perdue pour produire de la vapeur d'eau destinée à la vie à bord ou encore à alimenter des turbines à gaz génératrices d'électricité
			• Mise au point de fuels à basse teneur en soufre
			• Développement d'un additif (Infineum F7450) pour compléter le gasoil, réducteur de GES
			• Choix d'une motorisation moins émettrice d'oxydes ou d'un procédé novateur en énergie électrique (pile à combustible), réducteur en SOx et en NOx
			• Ajout d'un système de purification des fumées dans le circuit énergie

Objectifs de l'entreprise	Propositions stratégiques en éco-conception	Actions	Exemples	
Concevoir et réaliser un navire de type volontariste	Diminuer les émissions de GES du navire	Modifier la composition des émissions d'échappement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Traitement des gaz d'échappement au sein du navire ou encore mise en place de filtres à particules</li> </ul>	
Concevoir et réaliser un navire de type volontariste	Réduire les impacts de la « vie à bord »	Gérer efficacement les déchets et les effluents	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Choix des équipements nécessitant le minimum d'entretien à bord et des biens consommables peu nocifs pour l'environnement</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Traitement efficace des déchets</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise en place du tri sélectif</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Évitement des rejets en mer</li> </ul>	
		Améliorer les capacités de stockage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise en place d'un système de traitement biologique et physico-chimique des eaux grises et noires</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Respect des conditions d'hygiène et de salubrité</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regroupement des locaux de vie avec une réduction des réseaux de câbles et de matériaux isolants</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustement des installations et des locaux pour la vie à bord</li> </ul>	
Concevoir et réaliser un navire éco-conçu	Réduire la demande énergétique du navire	Opter pour de nouvelles sources énergétiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Respect des normes d'habitabilité afin de ne pas être une contrainte pour l'utilisateur</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conception d'un navire tout électrique</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amélioration des installations électriques novatrices comme la supraconductivité</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Favoriser les biocarburants</li> </ul>	
	Optimiser la gestion des consommations et des émissions	Améliorer la connaissance en temps réel	Améliorer les conditions de navigation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation des énergies éoliennes ou solaires</li> </ul>
				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Connaissance des émissions de polluants atmosphériques particuliers, gazeux et les phénomènes précurseurs s'y rattachant</li> </ul>
				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise en place d'une aide de pilotage à bord</li> </ul>
				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planification du voyage</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation de données satellitaires pour le voyage</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prise en compte de la météorologie et du chargement du navire afin d'assurer une optimisation de la route de navigation et une baisse de la consommation énergétique du navire</li> </ul>	

Objectifs de l'entreprise	Propositions stratégiques en éco-conception	Actions	Exemples
Concevoir et réaliser un navire éco-conçu	Optimiser la gestion des consommations et des émissions	Gérer efficacement l'énergie à bord	• Mise en place de calculateurs gérant la consommation instantanée
			• Création d'un mode économique avec l'arrêt des auxiliaires non indispensables
Concevoir et réaliser un navire éco-conçu	Optimiser la gestion des consommations et des émissions	Gérer efficacement l'énergie à bord	• Influence de la vitesse de croisière
			• Maintien prédictif basé sur le cycle de fonctionnement
	Optimiser les opérations courantes et critiques	Gérer l'état du navire en temps réel	• Détection et évitement des obstacles
			Assurer une aide pour les manœuvres
		• Activation du pilotage automatique	
			• Stabilisation du navire dans le cas d'une tempête

## ANNEXE 5 – PRÉSENTATION DES RÉSULTATS DE L'ENTREPRISE FR (ÉTUDE DE CAS 1)

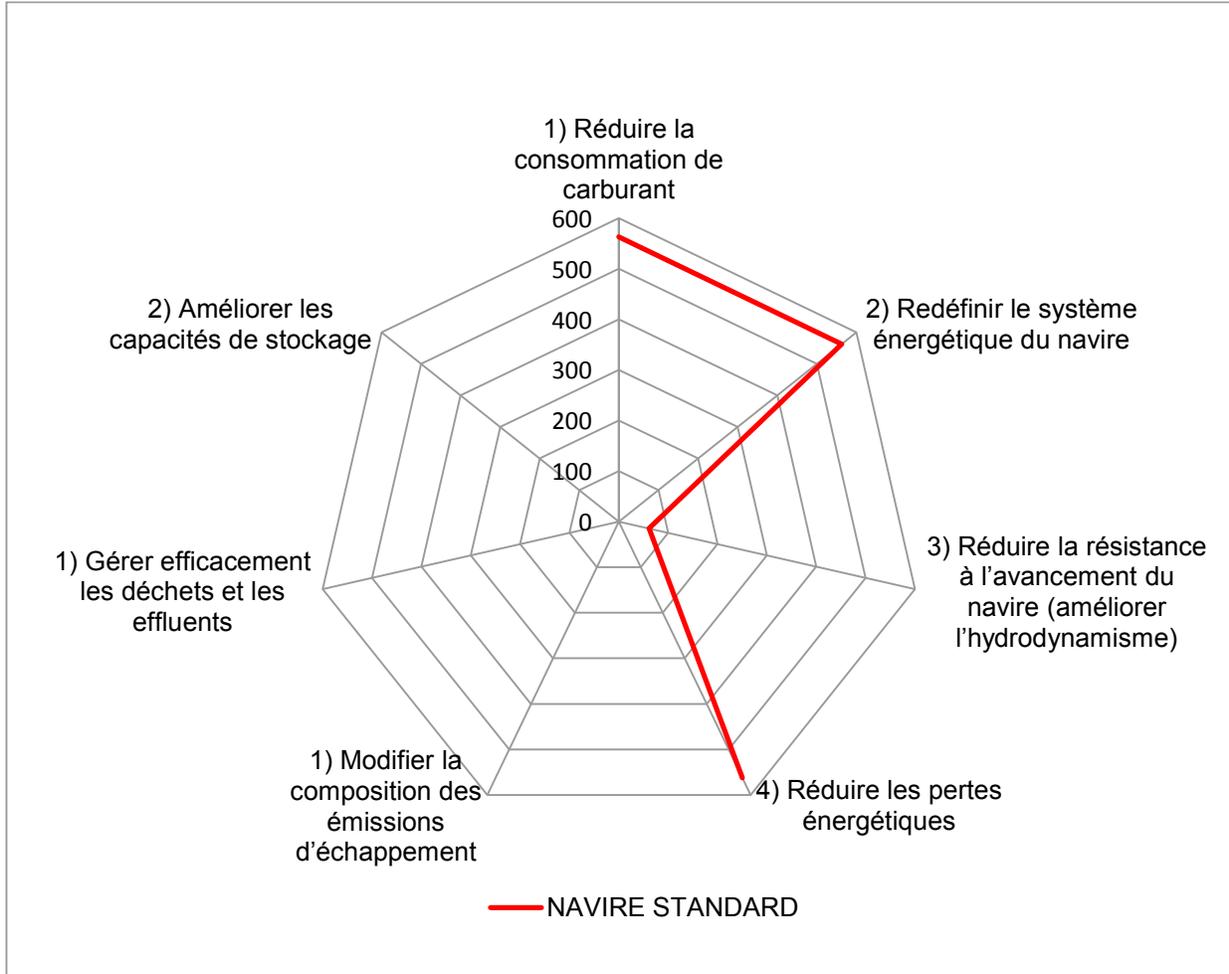
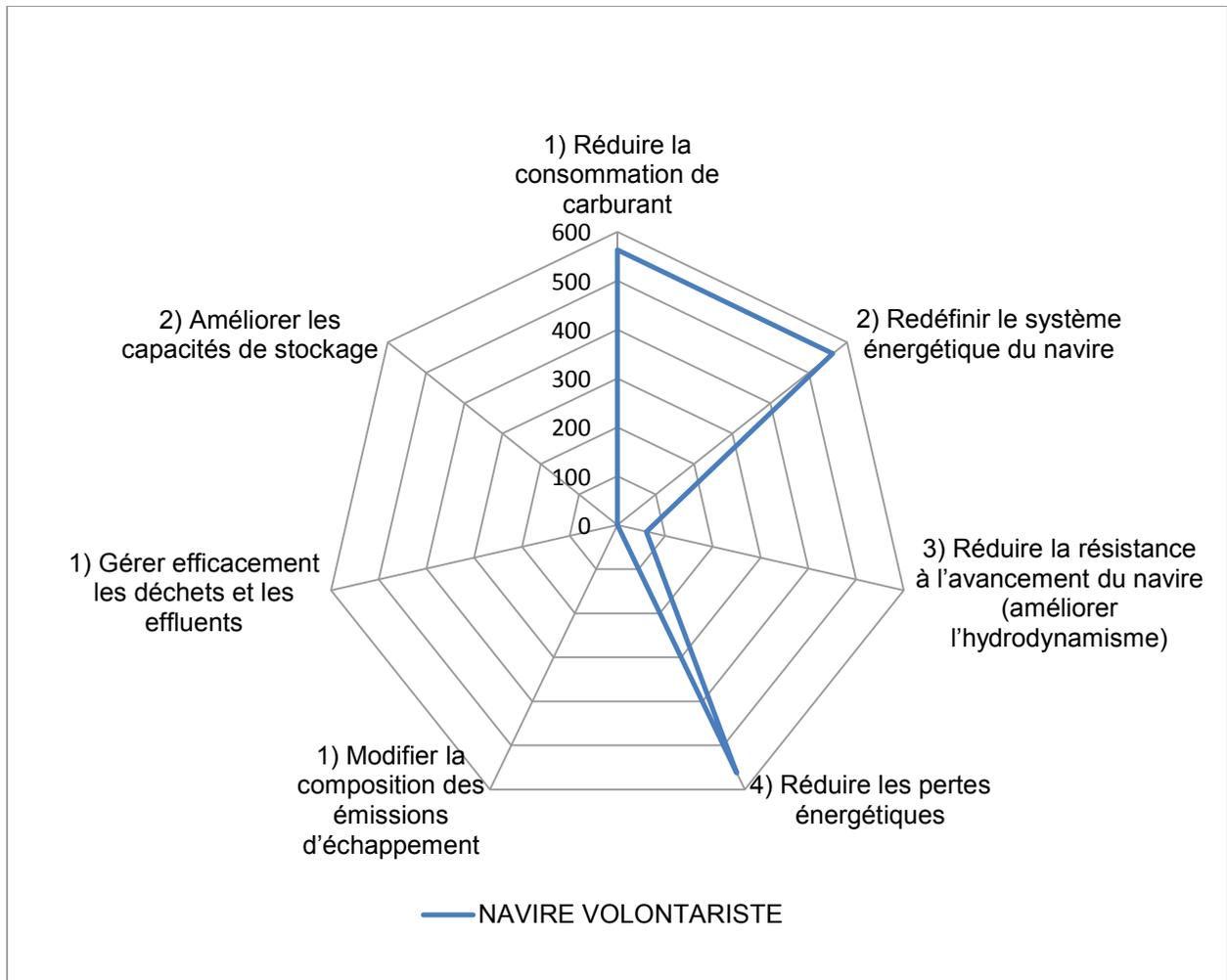
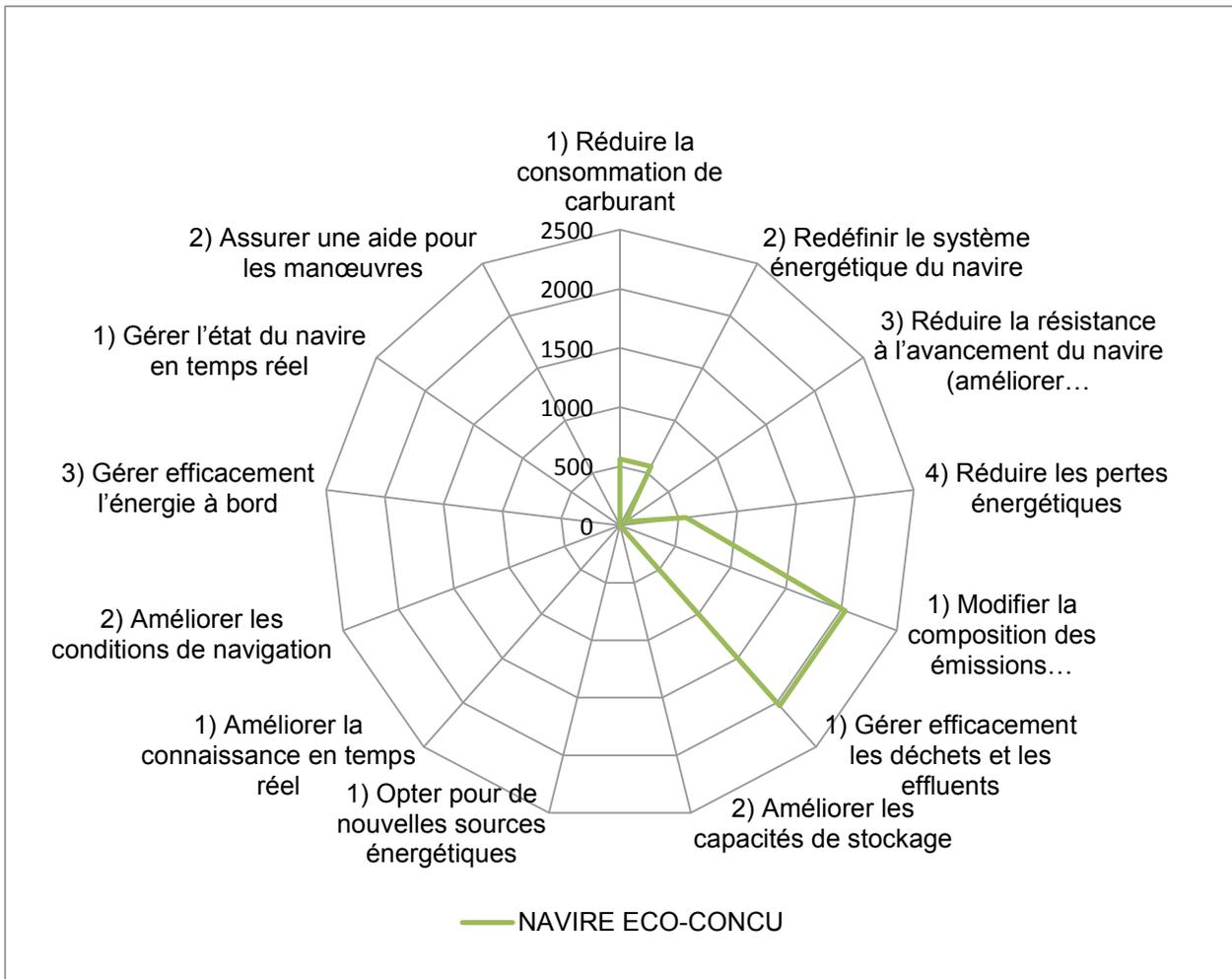


Figure A.1 Réduction d'impacts pour un navire standard selon différentes stratégies d'éco-conception



**Figure A.2 Réduction d'impacts pour un navire volontariste selon différentes stratégies d'éco-conception**

**ANNEXE 6 – PRÉSENTATION DES RÉSULTATS DE L'ENTREPRISE CA (ÉTUDE DE CAS 2)**



**Figure B.1 Réduction d'impacts pour un navire éco-conçu selon différentes stratégies d'éco-conception**