



## Le coût des navires de combat canadiens



BUREAU DU DIRECTEUR  
PARLEMENTAIRE DU  
BUDGET  
OFFICE OF THE  
PARLIAMENTARY  
BUDGET OFFICER

Ottawa, Canada  
1<sup>er</sup> juin 2017  
[www.pbo-dpb.gc.ca](http://www.pbo-dpb.gc.ca)

Le directeur parlementaire du budget (DPB) a pour mandat de fournir au Parlement de façon indépendante des analyses de la situation financière du pays, des prévisions budgétaires du gouvernement et des tendances de l'économie canadienne et, à la demande d'un comité ou d'un parlementaire, d'évaluer le coût financier de toute mesure proposée relevant de la compétence du Parlement.

Le présent rapport a été préparé par le personnel du directeur parlementaire du budget et rédigé par Rod Story. Peter Weltman, Mostafa Askari et Jean-Denis Fréchette ont fourni des commentaires. Nancy Beauchamp et Jocelyne Scrim ont aidé à la préparation du rapport en vue de sa publication. Nos remerciements à M. Eric Labs du Congressional Budget Office et à un lecteur critique anonyme pour leurs précieux commentaires. Nous aimerions remercier tout spécialement Paul Marsen, de Bibliothèque et Archives Canada, qui a aidé le DPB à trouver le rapport sur l'évolution des coûts des frégates canadiennes de patrouille ayant permis de réaliser cette analyse. Pour obtenir de plus amples renseignements, veuillez envoyer un message à l'adresse suivante : [pbo-dpb@parl.gc.ca](mailto:pbo-dpb@parl.gc.ca).

Jean-Denis Fréchette  
Directeur parlementaire du budget

# Table des matières

---

<b>Résumé</b>	<b>1</b>
<b>1. Introduction</b>	<b>6</b>
<b>2. Contexte</b>	<b>7</b>
2.1. Frégates et destroyers	8
2.2. Modèles à l'étude pour les NCC	9
2.3. Importance de la marge supplémentaire	10
2.4. Pourquoi les navires militaires sont-ils si dispendieux?	11
2.5. Systèmes de combat	13
2.6. Courbes d'apprentissage	14
2.7. Coût des munitions	16
2.8. Pièces de rechange	20
<b>3. Méthodes d'estimation</b>	<b>24</b>
3.1. Estimation paramétrique avec un logiciel de PRICE	24
3.2. Première estimation heuristique : méthode de la RAND Corporation avec des données américaines	25
3.3. Deuxième estimation heuristique : estimation du coût par la comparaison des coûts de main-d'œuvre	26
<b>4. Résultats</b>	<b>28</b>
4.1. Estimation ponctuelle des coûts des NCC	28
4.2. Sensibilité de l'estimation ponctuelle aux changements de poids lège	30
4.3. Sensibilité de l'estimation ponctuelle au nombre de navires	31
4.4. Coûts des retards de construction des NCC	32
4.5. Construire les NCC au Canada : les coûts et les avantages	34
4.6. Coûts du 9 <sup>e</sup> navire selon la première méthode heuristique	35
4.7. Coûts du 9 <sup>e</sup> navire selon la deuxième méthode heuristique	37

<b>Annexe A :</b>	<b>Inflation du système de combat</b>	<b>38</b>
<b>Annexe B :</b>	<b>Modélisation des FCP et des NCC dans le logiciel TruePlanning</b>	<b>40</b>
B.1	Modélisation des FCP dans TruePlanning	40
B.2	Modélisation des NCC dans TruePlanning	47
<b>Annexe C :</b>	<b>Première estimation heuristique</b>	<b>51</b>
<b>Annexe D :</b>	<b>Deuxième estimation heuristique</b>	<b>53</b>
	<b>Références</b>	<b>55</b>
	<b>Notes</b>	<b>58</b>

# Résumé

---

En juin 2010, le gouvernement du Canada a annoncé sa Stratégie nationale d'approvisionnement en matière de construction navale (SNACN)<sup>1</sup>. L'une des séries de navires visées par cette stratégie était celle des navires de combat canadiens (NCC)<sup>2</sup>.

Le programme des NCC a pour objectif l'acquisition de 15 navires qui remplaceront les 12 frégates de la classe Halifax (également appelées « frégates canadiennes de patrouille » ou « FCP ») ainsi que les trois destroyers de la classe Iroquois qui composent la flotte de surface du Canada<sup>3,4</sup>.

En 2008, le budget initial du programme des NCC s'élevait à 26,2 G\$ (en dollars courants, ou dollars historiques), mais ce budget fait actuellement l'objet d'une réévaluation<sup>5</sup>. Les NCC seront construits à Halifax, au chantier naval d'Irving Shipbuilding Inc., qui modifiera pour ce faire les plans de conception d'un modèle d'un autre pays<sup>6</sup>.

L'objectif opérationnel des NCC consiste à remplacer les capacités tant des navires de la classe Halifax que des navires de la classe Iroquois<sup>7</sup>.

Le présent rapport, quant à lui, a pour objectif de fournir une estimation du coût du programme des NCC. Cette estimation tient compte des coûts de conception, de production, des pièces de rechange, des munitions, de formation, de gestion du programme du gouvernement et de modernisation des installations en place. Elle ne prend pas en compte les coûts liés à l'exploitation, à la maintenance et à la remise en état à mi-vie des navires, exception faite du coût des pièces de rechange qui seront achetées au moment de la construction des navires.

Le DPB a utilisé trois différentes méthodes d'estimation du coût : une méthode principale (paramétrique) ainsi que deux méthodes secondaires (heuristiques) ayant servi à confirmer les résultats de la méthode principale. Les méthodes heuristiques s'appuyaient sur un certain nombre de rapports entre coûts et estimations (par exemple, si on double le poids lège, le coût double également) que la RAND Corporation a mis au jour lors d'une analyse de la hausse du coût des navires militaires<sup>8</sup>.

Deux facteurs de coût principaux s'appliquent aux navires de combat : le poids du navire et son système de combat. Comme le poids des navires de combat et la complexité de leurs systèmes de combat n'ont cessé d'augmenter, le coût de ces navires a également augmenté.

Un facteur de moindre importance, quoique non négligeable, réside dans le coût des munitions, en particulier celui des missiles. À l'heure actuelle, chaque missile naval coûte en moyenne 2,3 M\$ CAN. Le coût d'armement d'un destroyer de la classe Iroquois revient en moyenne à 115 M\$ (dollars courants).

Le tableau 1 du résumé indique le coût estimatif total du programme, y compris le coût d'éléments précis de ce programme, en supposant un poids lège de 5 400 tonnes. Ces coûts sont présentés en dollars de 2017 et en dollars courants. À des fins de comparaison, ce tableau présente également le coût des FCP en dollars courants. On suppose que le marché sera attribué en 2018 et que la construction débutera en 2021.

Le budget initial du programme des NCC était de 26,2 G\$ (dollars courants), soit 1,7 G\$ par navire, pour un total de 15 navires. Comme le tableau ci-dessous le montre, le coût estimatif du programme en dollars courants s'élève à 61,82 G\$, soit 4,1 G\$ par navire, pour un total de 15 navires. Par conséquent, on estime que ces navires coûteront environ 2,4 fois le coût initialement prévu au budget. Il convient de souligner qu'il s'agit d'une estimation paramétrique ponctuelle réalisée à l'aide d'un logiciel tiers. Les tests comparatifs aux coûts réels du programme ont démontré que ce logiciel présente des résultats se situant dans une marge de plus ou moins 20 pour cent des coûts réels.

Tableau 1 du résumé Estimation des coûts selon le modèle paramétrique

	Coût des NCC en G\$ (dollars de 2017)	Coût des NCC en G\$ (dollars courants)	Coût des FCP en G\$ (dollars courants)
<b>Coût total du programme</b>	39,94	61,82	8,86
<b>Coût moyen d'un navire</b>	1,66	2,73	0,47
<b>Coût total de mise au point</b>	4,53	5,10	1,03
<b>Coût total de production</b>	27,82	45,23	5,99
<b>Coût des pièces de rechange pour deux ans</b>	0,83	1,31	0,13
<b>Coût des pièces de rechange pour les années suivantes</b>	4,42	6,96	0,87
<b>Munitions</b>	0,98	1,54	0,25
<b>Installations</b>	0,16	0,18	0,07
<b>Documentation</b>	0,07	0,08	0,03
<b>Formation</b>	0,26	0,38	0,11
<b>Coût de gestion du programme du gouvernement</b>	0,88	1,05	0,38

Source : Calculs du DPB effectués avec TruePlanning.

Note : Les chiffres ayant été arrondis, leur somme peut ne pas correspondre au total indiqué.

Pour que le programme respecte le budget initial de 26,2 G\$ (dollars courants), le DPB estime que le gouvernement ne pourrait acheter que six navires (voir le tableau 2 du résumé).

Afin de restreindre les coûts, une autre solution consisterait à réduire le poids lège des navires. Or, comme on peut le voir dans le tableau 3 du résumé, aucun des poids légers compris dans la plage de poids des modèles à l'étude ne permettrait de construire 15 NCC pour un coût total de programme de 26,2 G\$. Il convient de préciser que les coûts indiqués dans ce tableau sont en dollars de 2017 plutôt qu'en dollars courants, auquel cas ils seraient plus élevés. Le poids lège des FCP est de 3 748 tonnes longues et on estime que le poids lège moyen des NCC, selon tous les modèles à l'étude, serait de 5 200 tonnes longues.

Tableau 2 du résumé Coût du programme des NCC pour 6, 9, 12 et 15 navires

	Coût des NCC en G\$ (dollars de 2017)	Coût des NCC en G\$ (dollars courants)	Année d'achèvement du projet
<b>Coût du programme pour 15 navires</b>	39,94	61,82	2041
<b>Coût du programme pour 12 navires</b>	33,36	48,91	2038

<b>Coût du programme pour 9 navires</b>	26,70	37,07	2035
<b>Coût du programme pour 6 navires</b>	19,93	26,17	2032

Source : DPB avec TruePlanning.

Tableau 3 du résumé Coût du programme en fonction du poids lège

	<b>Coût des NCC en G\$</b>	<b>Coût du 1<sup>er</sup> navire en G\$</b>	<b>Coût du 15<sup>e</sup> navire en G\$</b>
	<b>(dollars de 2017)</b>	<b>(dollars de 2017)</b>	<b>(dollars de 2017)</b>
<b>4 200 tonnes</b>	33,17	1,66	1,20
<b>4 800 tonnes</b>	36,56	1,89	1,37
<b>5 400 tonnes</b>	39,94	2,11	1,53
<b>6 000 tonnes</b>	43,32	2,34	1,69
<b>6 600 tonnes</b>	46,71	2,57	1,86

Source : DPB.

Le DPB a également estimé la différence de coûts attribuable à l'inflation si le marché était attribué après 2018. Nous estimons que pour chaque année de retard, le coût du programme augmenterait d'environ 3 G\$.

Les deux méthodes heuristiques utilisées pour valider les résultats ont produit des estimations du coût du neuvième navire en dollars de 2017. Nous avons comparé les coûts estimés pour le neuvième navire parce qu'à ce stade de la production, les chantiers auront atteint la fin de leur courbe d'apprentissage, de sorte que les coûts de production seront à leur plus bas. Comme on peut le voir dans le tableau 1 du résumé, le modèle paramétrique a estimé que le neuvième navire coûterait 1,59 G\$ (dollars de 2017).

Selon la première méthode heuristique, le coût estimatif du neuvième navire s'élève à 1,80 G\$, tandis que ce montant est estimé à 1,64 G\$ avec la deuxième méthode. Ces deux chiffres sont plus élevés que celui produit par l'estimation paramétrique, mais ils s'en rapprochent suffisamment pour que l'estimation paramétrique puisse être jugée fiable. En fait, l'estimation paramétrique pourrait être trop basse étant donné qu'elle ne tient peut-être pas compte de certains coûts pris en considération par les méthodes heuristiques.

Le DPB a également estimé les coûts que le gouvernement économiserait si les NCC étaient produits au chantier qui a construit le modèle de référence plutôt qu'au Canada. Le Canada économiserait 10,22 G\$ (dollars de 2017) sur son budget total de programme de 39,94 G\$, soit 25 % des coûts.



Pour terminer, il convient de souligner que la construction de navires de guerre est compliquée, coûteuse et risquée. Il n'est jamais facile de mener à bien un tel programme. Dans un de ses rapports, la RAND Corporation résumait bien la situation en l'expliquant en ces termes :

*« Malheureusement, il n'existe pas de solution miracle garantissant le succès d'un programme. Chaque nouveau programme se différencie des autres et les possibilités, les décisions et les résultats qui s'y rattachent varieront d'un programme à l'autre. Même des pays tels que les États-Unis et le Royaume-Uni, qui ont une longue expérience de la construction de nouvelles classes de navires et de sous-marins ainsi qu'un budget de défense relativement bien garni, ont du mal à réaliser leurs objectifs relatifs aux coûts et aux délais d'exécution dans le cadre de nouveaux programmes. Tous ces programmes font face à des accidents de parcours. Pour mener à bien un tel programme, il faut prévenir ces accidents et prévoir des solutions aux problèmes<sup>9</sup>. »*

# 1. Introduction

---

Selon la *Loi sur le Parlement*, le directeur parlementaire du budget (DPB) a notamment pour mandat de fournir de façon indépendante des analyses de la situation financière du pays<sup>10</sup>. L'acquisition de navires de combat canadiens représentera la plus importante charge de programme directe de l'histoire récente du gouvernement du Canada.

Le présent rapport a pour objectif de fournir une estimation du coût du programme des navires de combat canadiens (NCC) du ministère de la Défense nationale (MDN). Cette estimation tient compte des coûts de conception, de production, des pièces de rechange, des munitions, de formation, de gestion du programme du gouvernement et de modernisation des installations en place.

Le présent rapport décrit chacun de ces éléments. Cependant, l'estimation fournie ne tient pas compte des coûts liés à l'exploitation, à la maintenance et à la refonte à mi-vie des navires, exception faite du coût des pièces de rechange qui seront achetées au moment de la construction des navires.

Le reste de ce rapport est divisé en trois sections. La première présente des renseignements contextuels sur le programme des NCC, sur les navires de combat en général ainsi que sur les facteurs d'importance relatifs à leur construction. La deuxième section décrit la méthode d'estimation principale ainsi que les deux autres méthodes utilisées pour valider les résultats de la première méthode. Enfin, la dernière section présente les résultats de ces estimations.

## 2. Contexte

---

En juin 2010, le gouvernement du Canada a annoncé sa Stratégie nationale d'approvisionnement en matière de construction navale (SNACN)<sup>11</sup>. L'une des séries de navires visées par cette stratégie était celle des navires de combat canadiens (NCC)<sup>12</sup>.

Le programme des NCC a pour objectif l'acquisition de 15 navires qui remplaceront les 12 frégates de la classe Halifax (également appelées « frégates canadiennes de patrouille » ou « FCP ») ainsi que les trois destroyers de la classe Iroquois qui composent la flotte de surface du Canada<sup>13, 14</sup>. Depuis l'annonce de la SNACN, ces destroyers ont été mis hors service<sup>15</sup>.

En 2008, le budget initial du programme des NCC s'élevait à 26,2 G\$, mais ce budget fait actuellement l'objet d'une réévaluation<sup>16</sup>. Les NCC seront construits par Irving Shipbuilding Inc. à son chantier naval d'Halifax<sup>17</sup>.

L'objectif opérationnel des NCC consiste à remplacer les capacités tant des navires de la classe Halifax que des navires de la classe Iroquois<sup>18</sup>.

Les frégates de la classe Halifax étaient conçues pour la guerre anti-sous-marine (GASM), mais elles étaient également munies de missiles antiaériens et de missiles antinavires ainsi que de torpilles pour attaquer les sous-marins<sup>19</sup>. Les 12 frégates de la classe Halifax ont été mises en service de 1992 à 1996<sup>20</sup>.

Quant aux destroyers de la classe Iroquois, ils ont été mis en service au début des années 1970 en tant que navires de GASM, avant d'être convertis en navires antiaériens. Pour ce faire, on leur a ajouté un système de lancement vertical (VLS pour *vertical launch system*) à 32 silos pouvant lancer deux variétés de missiles antimissiles : des missiles à courte portée et des missiles à moyenne portée<sup>21</sup>. La conversion des destroyers de la classe Iroquois a eu lieu au moment de la construction des frégates de la classe Halifax<sup>22</sup>.

Comme les NCC remplaceront à la fois les navires des classes Halifax et Iroquois, ces nouveaux navires seront dotés des deux capacités : GASM et lutte antiaérienne (LAA).

Le reste de la présente section porte sur plusieurs sujets : les frégates et les destroyers, les modèles de référence possibles pour les NCC, l'importance d'une marge supplémentaire, les raisons pour lesquelles les navires militaires sont si dispendieux, les systèmes de combat, les courbes d'apprentissage, le coût des munitions, l'achat préalable de pièces de rechange et les risques éventuels découlant de l'utilisation d'un modèle de navire d'un autre pays.

## 2.1. Frégates et destroyers

---

Les premiers documents de consultation de l'industrie publiés par le ministère de la Défense nationale proposaient que l'on construise deux variantes de NCC : l'une pour la GASM et l'autre pour la LAA<sup>23</sup>. Comme nous l'avons mentionné plus haut, on a finalement décidé de construire un seul type de navire capable d'exercer ces deux fonctions<sup>24</sup>. Néanmoins, afin de bien mesurer les besoins des missions qui ont fait augmenter le coût des navires de combat, il est utile de comprendre quelles sont les fonctions des navires de GASM et de LAA.

Selon les définitions en usage depuis la Seconde Guerre mondiale, on aurait appelé « frégate » la variante destinée à la GASM et « destroyer » celle destinée à la LAA.

Traditionnellement, les frégates servaient d'escortes de convois spécialisées dans la guerre anti-sous-marine. Les destroyers, pour leur part, se voulaient des « navires polyvalents » munis de canons légers (de quatre à cinq pouces pour la guerre de surface), de canons antiaériens, d'un système radar, d'armes anti-sous-marines à lancement avant, de grenades sous-marines et de torpilles<sup>25</sup>.

Depuis la Seconde Guerre mondiale, ces définitions sont devenues plus floues. Le meilleur exemple est celui des navires de la classe Alvaro de Bazan que les Espagnols considèrent comme des frégates, alors que les Australiens fabriquent des navires ayant les mêmes caractéristiques qu'ils classent dans la catégorie des destroyers (de la classe Hobart)<sup>26</sup>.

Les navires de la classe Alvaro de Bazan-Hobart ont un déplacement d'environ 6 000 tonnes (poids en charge) et sont équipés d'un système de combat Aegis auquel est intégré un système radar AN/SPY-1D(V), d'un VLS Mark 41 à 48 silos, de même que d'une grande variété de capteurs supplémentaires et d'armements<sup>27</sup>.

En 2017, on considère généralement qu'un destroyer possède les caractéristiques suivantes : un poids lège<sup>28</sup> d'au moins 7 000 tonnes, un système de combat avancé auquel est intégré soit un radar à balayage électronique et antenne passive (PESA pour *passive electronically scanned array*) soit un radar à balayage électronique et à antenne active (AESA pour *active electronically scanned array*) et, enfin, un VLS à 48 silos ou plus.

Par exemple, les destroyers américains de la classe Arleigh Burke ont un poids lège de 7 000 à 8 000 tonnes selon la version, un VLS à 96 silos et un système de combat Aegis<sup>29</sup>.

### Poids lège et poids en charge

Le poids lège se définit comme étant le poids du navire sans l'équipage, les provisions, les munitions, l'eau, le carburant et l'huile. Le poids en charge, ou poids à pleine charge, comprend tous ces éléments. Les constructeurs navals publient généralement le poids en charge de leurs navires, mais hésitent à donner leur poids lège, soi-disant parce qu'il révélerait trop d'informations sur la capacité du navire.

De nos jours, on considère qu'une frégate pèse 5 000 tonnes ou moins (poids lège) et qu'elle est équipée d'un VLS de moins de 48 silos ainsi que d'un système de combat dont la capacité est inférieure à celle d'un système Aegis avec radar AN/SPY-1D(V). Comme nous le verrons dans la prochaine section, plus de la moitié des modèles de navire à l'étude pour les NCC tiennent à la fois de la frégate et du destroyer.

## 2.2. Modèles à l'étude pour les NCC

Le 13 juin 2016, le gouvernement canadien a annoncé qu'il changeait son approche d'approvisionnement : au lieu de concevoir un nouveau modèle de navire, on modifierait plutôt un modèle existant<sup>30</sup>. Au même moment, il a publié une courte liste d'entreprises remplissant les conditions nécessaires pour soumissionner la conception des NCC<sup>31</sup>.

Le DPB a passé en revue cette liste de constructeurs navals. Pour chacun, il a prédit lequel de ses modèles le constructeur était susceptible de proposer dans sa soumission et il a estimé le poids lège de chaque navire<sup>32</sup>. Les résultats de cet exercice sont présentés dans le tableau 2-1<sup>33</sup>.

Tous ces navires, à l'exception du BAE Modèle 26 (connu sous le nom de « navire de combat mondial »), sont déjà utilisés par diverses marines. La construction du Modèle 26 devrait débuter cet été<sup>34</sup> et on estime que le premier navire Modèle 26 ne sera mis en service qu'en 2023 ou 2024<sup>35</sup>.

Il convient de souligner que le poids lège des navires à l'étude varie entre 4 700 tonnes et 5 800 tonnes; quatre des sept navires tiennent donc à la fois de la frégate et du destroyer pour ce qui est du poids.

Tableau 2-1 Constructeurs navals proposés et navires correspondants

	Pays	Navire	Poids léger estimatif (en tonnes)
<b>Modèles possibles pour les NCC</b>			
<b>BAE Systems Surface Ships Ltd.</b>	Royaume-Uni	Modèle 26	5 580
<b>DCNS SA</b>	France	FREMM française*	4 840
<b>Fincantieri S.p.A.</b>	Italie	FREMM italienne*	5 400
<b>Navantia SA</b>	Espagne	F100	4 840
<b>Odense Maritime Technology</b>	Danemark	Iver Huitfeldt	5 360
<b>ThyssenKrupp Marine System GmbH</b>	Allemagne	F124/F125	4 680/5 800
<b>Autres navires (à des fins comparatives)</b>			
	Canada	Halifax (1992)	3 748
	Canada	Iroquois (1972)	4 200
	É.-U.	Arleigh Burke IIA (2000)	7 190
	Australie	Hobart (2017)	5 040

Sources : DPB et MDN.

Note : \*FREMM signifie soit « frégate européenne multi-mission » (en France) ou « fregata europea multi-missione » (en Italie).

### 2.3. Importance de la marge supplémentaire

Il est important de choisir un modèle de NCC qui offre une marge suffisante. Dans le domaine de la marine, le terme « marge » désigne la capacité de poids, d'espace et de puissance supplémentaire du navire. La marge de poids permet de charger à bord des articles plus lourds sans compromettre la stabilité du navire. L'espace supplémentaire ne fait pas seulement référence à l'espace physique qui est vide et qui pourra être rempli plus tard par un nouveau système de mission, mais aussi à la possibilité d'installer de nouveaux câbles, tuyaux et conduits et d'apporter plus de puissance, de capacité de refroidissement ou de bande passante qu'il en fallait au départ dans l'espace de rangement de l'équipement et des systèmes fortement susceptibles d'être mis à niveau<sup>36</sup>.

Comme nous le verrons dans une autre section de ce rapport, le système de combat est le premier système à bord qu'il faudra probablement mettre à niveau. Les systèmes de combat sont plus en plus voraces en électricité, si bien qu'il serait très difficile, voire impossible, de mettre à niveau les systèmes de combat des NCC si le modèle choisi ne possédait pas déjà la capacité de produire plus d'électricité et l'espace supplémentaire nécessaire pour accueillir une plus grande génératrice.

Bref, si le modèle choisi pour les NCC n'a pas de marges suffisantes de poids, d'espace et de puissance, il pourrait être extrêmement difficile et onéreux, sinon impossible, de les modifier ou de les mettre à niveau, ce qui pourrait entraîner le retrait prématuré de cette classe de navires. Pour en savoir plus à ce sujet, veuillez consulter le rapport de la RAND Corporation intitulé *Designing Adaptable Ships*<sup>37</sup>.

## 2.4. Pourquoi les navires militaires sont-ils si dispendieux?

Il importe de comprendre pourquoi le coût des navires militaires est aussi élevé. Un rapport de la RAND Corporation, publié en 2006 et intitulé *Why Has the Cost of Navy Ships Risen?*, fournit de précieuses indications à cet égard<sup>38</sup>. L'objectif de ce rapport était de déterminer pourquoi le coût des navires militaires américains augmentait bien plus rapidement que l'indice des prix à la consommation et l'inflation du produit intérieur brut (PIB).

On peut diviser l'inflation du coût de construction des navires en deux grandes catégories :

- l'inflation qui se produit lorsqu'on construit plusieurs exemplaires du même navire (inflation intraprogramme);
- l'inflation qui survient entre différentes générations du même type de navire (par exemple : destroyer conçu et construit en 1972 et destroyer conçu et construit en 2002).

Le tableau 2-2 indique les facteurs d'inflation ainsi que leurs valeurs. Chaque facteur est expliqué à la suite de ce tableau.

**Tableau 2-2 Certains facteurs d'inflation du coût des navires de combat et leur contribution annuelle respective**

	Contribution annuelle en pourcentage	
	Inflation entre générations de navires	Inflation intra-programme
<b>Complexité des caractéristiques (poids et densité de puissance)</b>	2,1	
<b>Complexité des normes, règlements et exigences</b>	2,0	
<b>Inflation actuelle du PIB</b>	2,0	2,0
<b>Facteurs économiques autres que l'inflation du PIB</b>	0,4	1,2

Sources : DPB, CBO et (Arena et coll., 2006).

Pour ce qui est de l'inflation intraprogramme, le Congressional Budget Office (CBO) des États-Unis a déterminé que le coût de construction navale augmente de 1,2 % de plus que le taux d'inflation du PIB<sup>39</sup>. Ce phénomène

est attribuable au fait que le panier de biens servant à la construction de navires augmente plus rapidement que la moyenne des biens et des services produits par l'économie. Depuis le début des années 1990, le PIB du Canada connaît une inflation moyenne de 2,0 %<sup>40</sup>.

Quant à l'inflation entre différentes générations d'un même navire, le rapport de la RAND, qui portait sur une période de 40 ans allant de 1965 à 2004, indique que le taux d'inflation annuel des navires de combat américains s'élevait à 9,1 %. Selon ce rapport, deux grands facteurs contribueraient à cette inflation à hauteur de 8,6 points de pourcentage : les facteurs économiques (main-d'œuvre, équipement et matériel) et les facteurs relatifs à la clientèle (complexité des caractéristiques et complexité des normes). Au cours de la période à l'étude, l'inflation du PIB était de 4,1 %, alors qu'elle n'est que de 2 % actuellement.

En ce qui concerne les facteurs économiques, le rapport constatait que le coût de main-d'œuvre en construction navale a augmenté à un rythme supérieur au taux d'inflation, tandis que le coût du matériel et de l'équipement a augmenté dans une moindre mesure<sup>41</sup>. En outre, la RAND Corporation a constaté que les facteurs économiques représentaient un taux annuel d'augmentation de 0,4 point de pourcentage de plus que le taux d'inflation du PIB au cours de cette période de 40 ans.

Quant aux facteurs relatifs à la clientèle, RAND a constaté que la complexité des caractéristiques des navires entraînait une hausse annuelle moyenne de 2,1 %. La complexité des caractéristiques se définit comme la difficulté et le degré d'effort requis pour concevoir, fabriquer, équiper un navire et y intégrer les systèmes à bord<sup>42</sup>. Cette complexité est exprimée par des indicateurs tels que le déplacement du navire, la taille de l'équipage et le nombre de systèmes à bord, comme les systèmes d'armes. Les navires sont plus gros et leurs systèmes d'armes sont plus complexes d'une génération à l'autre.

Le prochain facteur relatif à la clientèle, c'est-à-dire la complexité des normes et des exigences, représente pour sa part une hausse de 2,0 %. Les auteurs du rapport décrivaient la complexité des normes et des exigences comme étant les exigences non manifestes : surviabilité, délai de réaction, réduction de la pollution, signature radar, et cetera.

En résumé, le coût des navires militaires a augmenté beaucoup plus rapidement que l'inflation (du PIB et des prix à la consommation), principalement parce que la taille des navires et la complexité des systèmes de mission ont augmenté. Ces systèmes doivent être de plus en plus perfectionnés pour répondre aux besoins des combats qui se déroulent dans des théâtres de guerre de plus en plus complexes.

Selon le rapport de la RAND Corporation et comme nous le verrons plus en détail dans la section portant sur les méthodes d'estimation, le coût d'un



navire de guerre double lorsque l'on double son poids lège et son coût double encore si on double sa densité de puissance (mesurée en kilowatts d'électricité produite par tonne du navire).

La densité de puissance est un indicateur direct de diverses composantes du système de combat dont le coût a grandement augmenté, comme le radar à balayage électronique et à antenne active (AESA) et des logiciels complexes. Sachant que les navires militaires sont de plus en plus grands et qu'il faut plus d'énergie pour alimenter leurs systèmes de combat, il n'y pas lieu de s'étonner que leur coût ait radicalement augmenté.

## 2.5. Systèmes de combat

---

Du point de vue de la conception et du coût, un navire de combat se compose de sept éléments (ce qu'on appelle un « organigramme technique de produit » ou « OTP ») : coque, propulseur, production et distribution d'électricité, système de combat<sup>43</sup>, systèmes auxiliaires (par exemple : chauffage et refroidissement, traitement des déchets, etc.), matériel et ameublement (par exemple : tables, bureaux, lits, cuisines, et cetera) et enfin, l'armement.

De tous ces éléments, le plus dispendieux est le système de combat. Le coût du système de combat représentait en moyenne 35 % du coût d'une FCP<sup>44</sup>. Comme nous le verrons dans la section sur les résultats, on estime que le système de combat des NCC représentera en moyenne 41 % de leur coût total.

Les systèmes de combat sont onéreux parce qu'ils sont le « cerveau » du navire. C'est grâce à ce système que le navire peut se défendre et attaquer ses cibles. Dans la quête continuelle pour remporter l'avantage naval, le degré de perfectionnement des systèmes de combat n'a cessé d'augmenter radicalement au fil des années.

Les systèmes de combat sont maintenant capables de détecter les périscopes de sous-marins et de suivre simultanément le déplacement en trois dimensions de milliers d'objets à des distances supérieures à mille kilomètres. Qui plus est, il est maintenant possible de doter les navires de moyens d'engagement en coopération, c'est-à-dire de relier en réseau plusieurs navires au sein d'une force opérationnelle afin que chacun puisse voir ce que les autres voient et puisse savoir quel navire attaquera quelle menace.

En s'appuyant sur le rapport de la RAND Corporation, le DPB a estimé que le taux d'inflation annuel moyen des systèmes de combat s'élève à 6,5 %. (L'annexe A « Inflation du système de combat » explique de quelle façon on a obtenu ce taux de 6,5 %.) Cette inflation interviendrait entre différentes versions d'un système de combat.

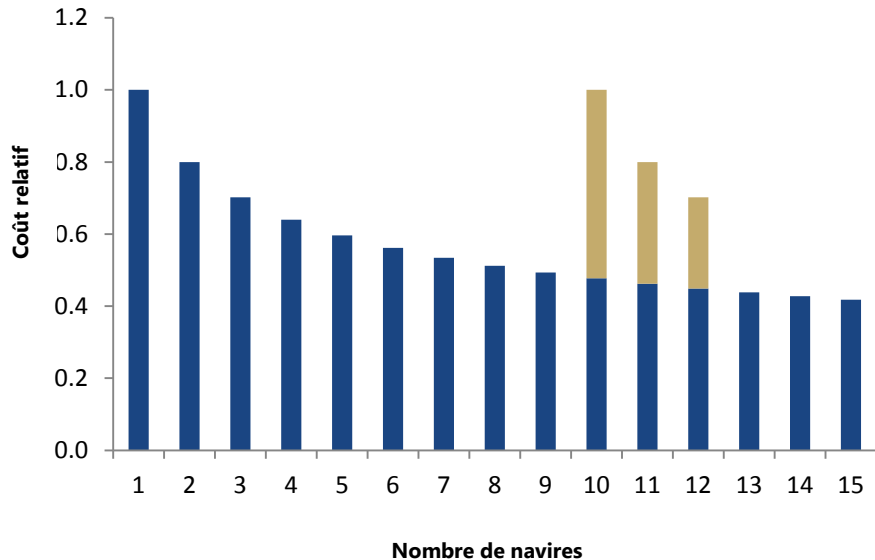
En se servant des FCP comme exemple, le DPB a estimé que leur système de combat a coûté 92 M\$ en 1991, taxes et bénéfices en sus. Ce montant englobe l'équipement fourni par le gouvernement<sup>45</sup> et celui fourni par l'intégrateur du système de combat. Au taux d'inflation annuel de 6,5 %, ce système de combat coûterait 473 M\$ en 2017 (taxes et bénéfices en sus).

## 2.6. Courbes d'apprentissage

Une courbe d'apprentissage sert à représenter le rythme auquel quelqu'un ou quelque chose s'améliore à force de répéter la même tâche. La première fois que l'on accomplit une tâche, il faut beaucoup plus de temps pour la réaliser que la deuxième fois étant donné qu'on apprend en l'exécutant. Chaque fois que l'on répète la même tâche, on l'accomplit plus vite, mais cette amélioration diminue progressivement parce qu'il en reste de moins en moins à apprendre.

Dans le cadre d'un projet, on peut appliquer des courbes d'apprentissage au nombre d'heures de main-d'œuvre, au matériel ou aux deux. Habituellement, la courbe d'apprentissage de la main-d'œuvre en construction navale varie entre 80 % et 85 %<sup>46</sup>. Les barres bleues du graphique ci-dessous représentent une courbe d'apprentissage de 80 %. Les segments en beige seront expliqués plus loin dans la présente section de notre rapport.

Figure 2-1 Illustration d'une courbe d'apprentissage de 80 pour cent



Source : DPB.

Si différents chantiers navals présentent des courbes d'apprentissage différentes, leurs coûts de production devraient être identiques au neuvième

navire et leur amélioration devrait être négligeable par la suite<sup>47</sup>. La différence observée d'un chantier à l'autre provient du fait que le coût du huitième ou neuvième navire sera plus élevé au chantier naval dont la pente d'apprentissage est la plus prononcée.

La main-d'œuvre qui a construit les neuf FCP au chantier de St. John présentait une courbe de apprentissage de 73 %<sup>48</sup>. Cette courbe était beaucoup plus prononcée que la normale étant donné que cette équipe avait moins d'expérience en construction de navires de combat. De plus, la conception du navire n'était pas encore terminée au moment où les travaux de construction ont débuté<sup>49</sup>.

Un autre facteur a joué dans le programme des FCP : ces navires ont été construits à deux chantiers. Il a donc fallu payer le coût d'apprentissage deux fois, c'est-à-dire à chacun des chantiers. Ce facteur est illustré sur la figure 2-1 par les segments en beige ajoutés aux navires 10 à 12.

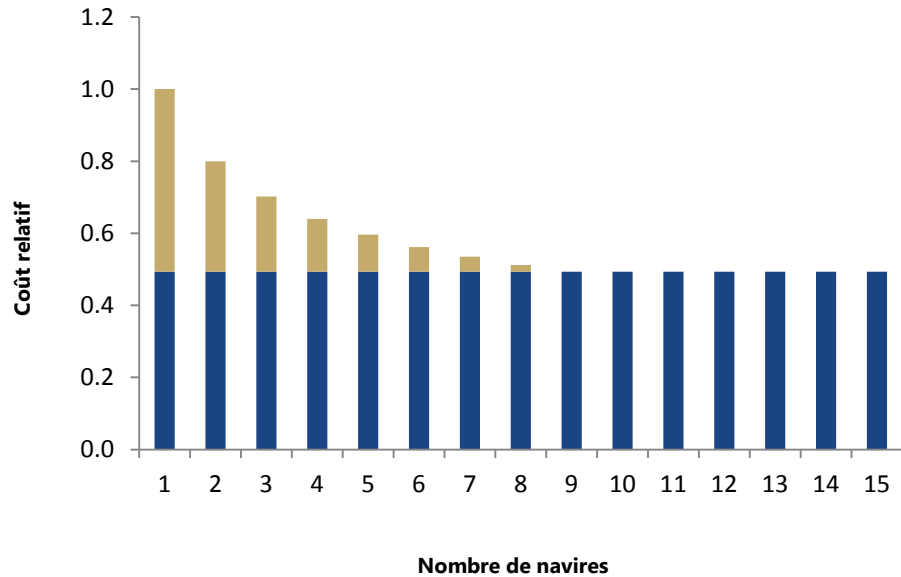
Au lieu de payer seulement la partie inférieure comme il l'aurait fait si tous les navires avaient été construits au même chantier, le gouvernement du Canada a également dû payer le supplément illustré sur le graphique. Comme les NCC seront construits exclusivement au chantier d'Halifax, il ne faudra payer le coût d'apprentissage qu'une seule fois.

Un dernier facteur mérite d'être pris en considération : le coût accru que le gouvernement devra payer en faisant construire les NCC au Canada. Étant donné que ces navires seront construits d'après un modèle déjà produit dans un autre pays (à l'exception du Modèle 26), le gouvernement devra assumer le coût d'apprentissage.

Si l'on utilise la courbe d'apprentissage de 80 % illustrée ci-dessus, l'augmentation relative du coût, si l'on part du premier navire au lieu de payer le coût du neuvième, serait de 16 % si l'on construisait 15 navires ou de 19 % si l'on en construisait seulement douze. Le supplément payé augmente parce qu'un moins grand nombre de navires sont construits. Le coût supplémentaire que le Canada devrait alors payer est illustré par les segments en beige sur la figure 2-2.

Cependant, ce diagramme n'indique pas le coût supplémentaire que le gouvernement devrait payer si l'on construisait ici même un nouveau modèle de navire. Comme le Canada n'a pas d'expérience en construction de navires de combat, sa courbe d'apprentissage serait plus prononcée que celle d'un pays possédant une telle expérience<sup>50</sup>. Le coût de construction d'un premier navire d'un nouveau modèle au Canada serait donc plus dispendieux que le coût de construction du même navire dans un pays ou un chantier qui a de l'expérience en construction de navires de combat.

Figure 2-2 Coûts relatifs d'apprentissage en construisant au Canada



Source : DPB.

## 2.7. Coût des munitions

Lorsque l'on évalue le coût des navires de combat, il faut être conscient que les munitions, en particulier les missiles, grèvent lourdement le budget.

À l'heure actuelle, les navires de la classe Halifax sont équipés de 16 missiles SeaSparrow évolués (missiles ESSM) pour la défense aérienne et de huit (8) missiles Harpoon antinavires. Les navires de la classe Iroquois, quant à eux, sont équipés d'un système de lancement vertical (VLS) à 32 silos utilisant des missiles ESSM et des missiles standards à moyenne portée SM-2 MR.

Par conséquent, la marine canadienne utilise trois différents types de missiles pour ses navires : ESSM, SM-2 MR et Harpoon. Ces missiles, leur coût, de même que d'autres exemples de missiles (bien qu'ils ne soient pas représentatifs) sont présentés dans le tableau 2-3. Le texte qui suit traite des caractéristiques de chacun d'eux.

Tableau 2-3 Missiles possibles pour les NCC avec leur coût et leur fonction

	Fonction	Dans la marine canadienne	Coût estimatif (en M\$)
<b>ESSM</b>	Antimissile à courte portée	Halifax et Iroquois	2,0
<b>SM-2 MR</b>	Antiaérien et antimissile à longue portée	Iroquois	2,7
<b>Harpoon</b>	Antinavire	Halifax	2,3
<b>Tomahawk (antinavire)</b>	Antinavire*	Non	2,1
<b>Tomahawk (attaque terrestre)</b>	Attaque terrestre**	Non	2,1
<b>SM-6</b>	Antimissile balistique***	Non	5,6

Sources : DPB et Wikipedia.

Note : \* Comme les missiles Harpoon ne sont pas compatibles avec les VLS et que les États-Unis sont en voie de les remplacer par des missiles semblables, le prix des Tomahawk a servi à établir un coût estimatif.

\*\* Les NCC doivent impérativement avoir une capacité d'attaque terrestre. On s'est servi du prix du missile Tomahawk pour estimer le coût d'un missile offrant une capacité d'attaque terrestre.

\*\*\* Pour le moment, la défense antimissile balistique ne fait pas partie des exigences des NCC. Le prix de ces missiles est fourni à titre comparatif.

### **Missiles ESSM**

Les missiles ESSM sont des missiles antimissiles utilisés par le Canada, les États-Unis et d'autres pays<sup>51</sup>. Comme nous l'avons expliqué précédemment, les FCP et les destroyers de la classe Iroquois utilisent tous deux des missiles ESSM, chacun coûtant environ 2,0 M\$ CA<sup>52</sup>.

Il s'agit d'un missile relativement petit (on en charge quatre dans chaque silo d'un VLS) qui, une fois lancé, peut supporter de grandes forces g<sup>53</sup>. En raison de son petit format, sa portée minimale (50 km) et sa charge utile (39 kg) sont toutes deux restreintes<sup>54</sup>.

### **Missiles SM-2 MR**

En plus des missiles ESSM, les destroyers de la classe Iroquois sont également équipés de missiles SM 2 MR. Ces missiles ont une plus grande portée que les ESSM (de 74 km à 167 km) et pèsent plus du double de ces derniers (707 kg comparativement à 280 kg). On ne peut en loger qu'un par silo d'un VLS<sup>55</sup>.

Les SM-2 MR appartiennent à la catégorie des missiles de défense aérienne : ce sont des missiles à la fois antiaériens et antinavires<sup>56</sup>, bien que dans ce dernier cas, leur portée et leur pouvoir destructif soient limités comparativement aux missiles Harpoon<sup>57</sup>. Chaque missile SM-2 MR coûte approximativement 2,7 M\$ CA<sup>58</sup>.

### **Missiles Harpoon**

Les FCP sont équipées de missiles antinavires Harpoon. Ceux-ci nécessitent un système de lancement spécifique parce qu'ils ne sont pas compatibles avec le VLS Mark 41<sup>59</sup>. On ignore encore si ces missiles seront réutilisés à bord des NCC. Leur prix estimatif à 2017 s'élève à 2,3 M\$ chacun<sup>60</sup>.

S'ils ne sont pas réutilisés, il faudra les remplacer par un autre type de missile antinavire. Ce pourrait être une nouvelle variante de missiles Tomahawk compatibles avec un VLS<sup>61</sup>. Comme l'arsenal actuel de la marine ne permet pas d'effectuer une attaque terrestre et que cette capacité fait partie des exigences des NCC, on pourrait aussi utiliser d'autres variantes du Tomahawk adaptées à cette fin.

Si l'on part du principe que le coût des missiles utilisés par les NCC pour l'attaque terrestre et la guerre antinavire sera semblable à celui d'un Tomahawk, le DPB estime que le coût de chaque missile reviendrait donc actuellement à 2,1 M\$ CA<sup>62</sup>.

Pour l'heure, la défense antimissile balistique ne fait pas partie des exigences des NCC. Cependant, si tel était le cas, il est bon de savoir que le coût estimatif du missile de défense balistique utilisé par les États-Unis, le SM-6, s'élève à 5,6 M\$ CA<sup>63</sup>.

L'analyse présentée ci-dessus s'appuie sur le VLS Mk 41 des États-Unis. L'autre système de lancement vertical le plus courant est le SYLVER, fabriqué par DCNS en France. Le principe de base est le même que celui du Mk 41, mais ce système offre différentes configurations et est compatible avec différents missiles, dont les SM-2-MR, mais pas avec les ESSM<sup>64</sup>.

Si le modèle choisi pour construire les NCC utilise un système SYLVER plutôt qu'un Mk 41, on ne pourra pas réutiliser l'arsenal de missiles ESSM de la marine. Cela représenterait donc un coût d'acquisition supplémentaire. À l'heure actuelle, chaque FCP est équipée de 16 ESSM et de huit (8) missiles Harpoon. Il semble cependant qu'aucun des modèles à l'étude pour les NCC ne peut transporter de missiles Harpoon, ce calcul ne tient donc pas compte de leur coût.

Le coût total pour équiper 12 frégates avec 16 missiles ESSM chacune s'élèverait à 384 M\$, soit 32 M\$ par navire.

Les destroyers de la classe Iroquois, quant à eux, sont équipés d'un VLS à 32 silos. Si l'on suppose qu'il y a un nombre égal de missiles ESSM et

SM-2 MR, on obtient six silos de missiles ESSM (24 par navire) et 26 silos de SM-2 MR. Comme les SM-2 MR sont compatibles avec le VLS SYLVER, seul le coût des missiles ESSM est pris en considération dans le calcul qui suit. Ainsi, pour équiper chaque destroyer avec 24 ESSM au coût unitaire de 2,0 M\$, il faudrait déboursier 144 M\$, soit 48 M\$ par navire.

Le coût de l'arsenal de missiles ESSM des FCP et des destroyers de la classe Iroquois ne tient pas compte des pièces de rechange à bord de ces navires. Ainsi, si le modèle retenu pour les NCC est équipé d'un VLS SYLVER, on ne pourrait pas réutiliser ces missiles d'un coût total estimatif de 528 M\$, mais il faudrait en plus remplacer les pièces de rechange que la marine a en stock.

Le coût de chargement de missiles sur un NCC dépend de la combinaison de missiles qu'il transporte. Chaque silo d'un VLS Mk 41 pouvant contenir quatre missiles ESSM au coût unitaire de 2,0 M\$, si l'on charge un silo avec ces missiles, on obtient un coût de 8,0 M\$ par silo. Par comparaison, d'autres configurations à un seul missile par silo coûteraient plutôt de 2,1 M\$ à 2,7 M\$ selon le type de missile. La combinaison de missiles transportés par un NCC dépendra du type de mission dont celui-ci est chargé.

Afin d'établir une estimation, nous sommes partis du principe qu'un nombre égal de chaque type de missile serait chargé à bord des navires parce qu'en dépit de la diversité de missions et de chargements de missiles possibles, on obtiendrait en moyenne cette répartition à nombre égal. Les NCC devraient être équipés de l'équivalent d'un VLS Mk 41 de 24 à 36 silos.

Dans le cas d'un système à 24 silos, on a supposé que quatre cellules contiendraient des missiles ESSM, 10 cellules contiendraient des SM-2 MR et les 10 autres cellules, des missiles d'attaque terrestre ou de guerre antinavire. Le coût total de ces missiles s'élèverait donc à 80 M\$. Dans le cas d'un système à 36 cellules, le coût serait 50 % plus élevé, soit de 120 M\$.

Si la flotte de NCC comptait 15 navires, le coût total de chargement de missiles reviendrait à 1,2 G\$ pour un VLS à 24 silos et de 1,8 G\$ pour un système à 36 silos. Si le système de lancement vertical est un modèle Mk 41, ce total serait réduit de 739 M\$ (grâce à l'arsenal de missiles ESSM et SM-2 MR que les navires des classes Halifax et Iroquois possèdent déjà).

Si les NCC sont équipés plutôt d'un VLS SYLVER, l'économie réalisée ne serait que de 211 M\$, à moins que le système puisse être modifié de manière à pouvoir utiliser les missiles ESSM. Ces estimations ne tiennent pas compte du coût des pièces de rechange. Il convient de préciser qu'il est impossible de loger quatre missiles par silo dans le système SYLVER. Le missile équivalent au ESSM que ce système utilise est le VT-1, que l'on peut charger par deux dans chaque silo<sup>65</sup>.

Un dernier point mérite d'être souligné à propos du VLS Mk 41, à savoir qu'il doit être rechargé lorsque le navire est à quai. Lorsqu'un navire a lancé tous ses missiles, il doit retourner au port pour être rechargé.

## 2.8. Pièces de rechange

---

Au moment de l'acquisition de navires (construction ou achat), il est nécessaire d'acheter un stock de pièces de rechange en même temps. Contrairement aux voitures et aux appareils ménagers, il n'y a pas de service après-vente auquel s'adresser pour acheter les pièces dont on a besoin.

Il arrive souvent qu'après la construction de navires, la technologie évolue ou que le fabricant de pièces ait cessé ses activités. Bien entendu, il est possible de faire usiner des pièces sur mesure, mais cette façon de faire est dispendieuse. Il est meilleur marché d'acquérir les pièces de rechange nécessaires pour toute la durée de vie du navire au moment même de sa construction. C'est ainsi que le gouvernement a procédé lors de la construction des FCP et nous supposons qu'il fera de même avec les NCC.

*Le projet des FCP a acquis pour 30 ans d'assemblages réparables pour les systèmes (mécanique navale, électricité et coque) de ces navires et pour 10 ans d'assemblage réparables pour les systèmes de combat des 12 frégates. (Sachant que les systèmes de combat devraient probablement être mis à niveau à mi-vie, le gouvernement a acquis un stock d'assemblages pour une moins longue période.)<sup>66</sup>*

Pour être efficace – c.-à-d. pour que le navire ait une chance de remporter un combat –, un système de combat doit être à la fine pointe de la technologie. C'est pourquoi il faut le remplacer au minimum à mi-vie, si ce n'est plus fréquemment. Ce qui explique qu'on a besoin de pièces de rechange pour seulement 10 années.



### Mise en garde contre l'utilisation d'un modèle existant : exemple du destroyer de la classe Hobart en Australie

Le ministère de la Défense nationale (MDN) du Canada a décidé de construire des navires de combat selon un modèle existant afin de réduire le temps et le coût de construction. Or, les choses ne se déroulent pas toujours comme prévu, comme l'a découvert le gouvernement australien avec ses destroyers de la classe Hobart.

L'Australie avait choisi la classe Alvaro de Bazan, aussi appelée F100, conçue en Espagne, comme modèle pour ses destroyers. Les raisons qui motivaient le gouvernement australien à reprendre un modèle existant étaient les mêmes que celles qui animent le MDN : l'économie de temps et d'argent<sup>67</sup>.

Malheureusement, l'Australie a été confrontée à de nombreux problèmes. On estime que ce projet devrait dépasser d'au moins 15 pour cent le budget (et coûter 9,2 G\$ A plutôt que 8,0 G\$ comme il était initialement prévu) et de deux ans et demi la date de livraison du premier navire (prévue en décembre 2014 et reportée à juin 2017)<sup>68</sup>. Le modèle ayant été choisi en juin 2007, il se sera écoulé 10 ans entre sa sélection et la mise en service du premier navire<sup>69</sup>.

Parmi les nombreux problèmes que le gouvernement australien a rencontrés relativement à la construction de ces destroyers, certains ne s'appliquent aucunement aux NCC (c.-à-d. construction à plusieurs chantiers et MDN assumant plusieurs rôles : client, fournisseur et partenaire)<sup>70</sup>.

En effet, les NCC seront construits exclusivement au chantier d'Irving Shipbuilding situé à Halifax et le MDN du Canada aura pour seul rôle celui de client, car Irving sera l'entrepreneur principal et se chargera de l'attribution des contrats de sous-traitance dans le cadre de la conception et des modifications<sup>71</sup>.

Néanmoins, le Canada pourrait être confronté à trois problèmes analogues à ceux éprouvés par l'Australie : il pourrait sous-estimer les risques liés à l'adaptation d'un modèle selon les besoins du Canada, il fera affaire avec un chantier naval sans expérience de la construction de navires de guerre et il y a un risque de perte lors du transfert de technologie entre le concepteur ou constructeur d'origine et Irving<sup>72</sup>.

Si on y réfléchit bien, les efforts requis pour modifier un modèle de navire existant peuvent facilement être sous-estimés. Les navires de guerre ne sont pas comme les brise-glaces ou les navires de patrouille, ce sont des bâtiments très denses et les interactions entre leurs systèmes sont complexes.

Dans le contexte présent, le mot « dense » fait allusion au fait que ces navires sont pleins à ras bord de matériel, de câbles, d'articles en plusieurs exemplaires, d'eau, de compartiments étanches à la fumée et de multiples couches protectrices. En général, les navires de guerre sont dépourvus d'espaces libres où l'on pourrait entreposer plus de matériel, même si un navire bien conçu dispose d'une certaine marge de déplacement pour qu'on puisse ajouter du matériel au cours de sa durée de vie.

Néanmoins, la modification d'un modèle existant n'est pas un processus linéaire. En effet, la modification d'un élément, d'une fonction ou d'une caractéristique aura nécessairement des répercussions multiples qui multiplieront d'autant le coût et l'intensité des travaux. Il s'agit là d'un risque que l'on sous-estime souvent relativement à la modification du modèle que le Canada choisira.

Le deuxième problème auquel le Canada sera confronté et qui entraînera une augmentation des coûts est son manque d'expérience en construction de navires de guerre. Encore une fois, ces navires sont nettement plus compliqués à construire que les brise-glaces et les navires de patrouille et leurs systèmes sont plus complexes à intégrer. Ainsi, la courbe d'apprentissage d'un chantier naval sans expérience de la construction de navires de guerre sera plus prononcée et le coût de construction du premier navire sera donc plus élevé.

Comme nous l'avons expliqué plus haut, cette courbe d'apprentissage prononcée donnera lieu à des coûts de construction (du moins pour les huit premiers navires) plus élevés que ceux qu'il faudrait supporter en faisant affaire avec un chantier qui a déjà construit ce genre de navire.

Le troisième facteur possible de hausse des coûts réside dans le transfert de technologie entre le constructeur d'origine et celui du Canada. Il est difficile de saisir toutes les nuances de la construction d'un navire par la simple consultation de fichiers de données numériques. Au cours du processus de construction, un chantier naval acquiert un savoir-faire fondamental qu'il est impossible de transmettre par des fichiers de conception<sup>73</sup>.

Enfin, il importe d'analyser le supplément que l'Australie doit payer pour construire elle-même ses navires de la classe Hobart<sup>74</sup>. Pour un budget total estimatif de 9,2 milliards de dollars australiens, ce pays fera l'acquisition de trois destroyers au coût moyen de 3,07 milliards chacun (tous les coûts fixes compris).

Par comparaison, les destroyers Flight IIA de la classe Arleigh Burke sont 50 pour cent plus gros, mais n'ont coûté chacun que 1,9 milliard de dollars 2010 et la date de livraison prévue est fixée à 2017<sup>75</sup>.

À l'heure actuelle, le dollar américain vaut 1,33 dollar australien. Les calculs qui suivent sont exprimés en milliards de dollars.

1. Conversion du coût d'un Aleigh Burke en dollars australiens :  
 $1,9 \text{ \$ US} \times 1,33 = 2,53 \text{ \$ A}$
2. Ajout des frais supplémentaires pour la vente de matériel militaire des États-Unis à l'étranger :  
 $2,53 \times 1,047 = 2,65 \text{ \$ A}$
3. Multiplication par trois pour obtenir le coût moyen de trois navires, tous les coûts compris :  
 $2,65 \times 3 = 7,95 \text{ \$ A}$
4. Supplément payé par l'Australie pour trois navires faisant les deux tiers de la taille d'un Arleigh Burke :  
 $9,2 \text{ \$} - 7,95 \text{ \$} = 1,25 \text{ G\$ A}$

Par conséquent, l'Australie paie un supplément de 16 % pour la construction de trois navires de plus petite taille qu'un Arleigh Burke qu'elle aurait pu acheter aux États-Unis.

Comme nous l'avons expliqué dans la note de fin précédente, la comparaison ci-dessus est établie d'après le coût d'un deuxième Arleigh Burke. Si cette comparaison avait été établie d'après le coût marginal du neuvième navire (c'est-à-dire à la fin de la courbe d'apprentissage), on estime que chaque Arleigh Burke coûterait 1,43 G\$ US chacun<sup>76</sup>. Si l'on refait les calculs précédents :

1. Conversion du coût d'un Aleigh Burke en dollars australiens :  
 $1,43 \text{ \$ US} \times 1,33 = 1,90 \text{ \$ A}$
2. Ajout des frais supplémentaire pour la vente de matériel militaire des États-Unis à l'étranger :  
 $1,90 \text{ \$} \times 1,047 = 1,99 \text{ \$ A}$
3. Multiplication par trois pour trois navires :  
 $1,99 \text{ \$} \times 3 = 5,97 \text{ \$ A}$
4. Supplément payé par l'Australie pour trois navires faisant les deux tiers de la taille d'un Arleigh Burke :  
 $9,2 \text{ \$} - 5,97 \text{ \$} = 3,23 \text{ G\$ A}$

Ainsi, si l'on utilise le coût marginal estimatif du neuvième navire, l'Australie a payé un supplément de 3,23 G\$ A, soit 54 %, pour acquérir des navires faisant les deux tiers de la taille d'un Arleigh Burke.

## 3. Méthodes d'estimation

---

Trois méthodes ont été utilisées pour estimer le coût du programme des NCC : une méthode paramétrique et deux méthodes heuristiques plus simples. Ces méthodes sont tirées de deux rapports de la RAND Corporation portant sur le coût de la construction navale aux États-Unis et en Australie. Les deux estimations heuristiques ont servi à valider les résultats de l'estimation principale, paramétrique. Chaque méthode sera expliquée à tour de rôle.

### 3.1. Estimation paramétrique avec un logiciel de PRICE

---

Le DPB a utilisé TruePlanning®, version 16.0, de PRICE Systems L.L.C. pour établir son estimation paramétrique du coût. Une explication concernant ce logiciel est fournie dans l'encadré qui suit.

#### En quoi consiste le logiciel TruePlanning® de PRICE Systems L.L.C.?

TruePlanning® est un outil exclusif d'estimation de coûts utilisé dans le domaine militaire et d'autres domaines qui fait appel à une vaste expertise en matière d'estimation des coûts militaires. PRICE Systems compte parmi ses clients le département de la Défense des États-Unis, Sikorsky Aircraft, la NASA, BAE Systems, Gulfstream, United Technologies et Boeing.

Pour obtenir la liste complète des clients, veuillez consulter la page suivante : [http://www.pricystems.com/worldwide/FR/fr\\_customers.html](http://www.pricystems.com/worldwide/FR/fr_customers.html).

Le DPB a déjà utilisé cet outil logiciel pour publier deux rapports. Le premier, paru en février 2013, s'intitulait *Budget d'acquisition de deux navires de soutien interarmées – Faisabilité*. Ce rapport fournissait des renseignements exhaustifs sur le logiciel TruePlanning® et sur son utilisation dans l'estimation de coûts. Le deuxième, daté d'octobre 2014, était intitulé *Analyse budgétaire de l'acquisition de la classe de navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique*.

S'il y a lieu, le présent rapport expliquera brièvement les paramètres de ce logiciel. Cependant, les lecteurs qui désirent obtenir de plus amples renseignements sont invités à consulter les rapports précédents du DPB ou le site Web de PRICE Systems L.L.C.

Le logiciel TruePlanning procède d'abord à un calage sur un programme connu du même type (par exemple, un navire de combat antérieur) puis modifie les paramètres en fonction du nouveau programme, le principe

voulant que l'évolution des coûts par le passé nous renseigne sur l'évolution des coûts à l'avenir.

PRICE a comparé les estimations ponctuelles des coûts générées par le logiciel TruePlanning par rapport à un échantillon de coûts finaux pour des programmes de la NASA terminés. Seules les données connues avant le lancement du programme ont été utilisées pour la configuration du logiciel TruePlanning. PRICE a constaté que l'estimation paramétrique ponctuelle générée par TruePlanning se situait dans une marge de plus ou moins 20 pour cent du coût réel du programme.

Pour estimer le coût du programme des NCC, TruePlanning a d'abord fait un calage sur le programme des FCP en utilisant les données du rapport sur l'évolution des coûts des FCP daté du 31 mars 1994<sup>77</sup>. Comme ce rapport avait été préparé au moment où le programme de construction des frégates tirait à sa fin, il était peu probable que les estimations qu'il contenait changent de façon notable. Le contrat initial de mise en œuvre avait été attribué le 29 juillet 1983 et le dernier navire a été mis en service le 28 septembre 1996<sup>78</sup>.

Les paramètres du modèle des FCP qui ont été modifiés pour estimer le coût des NCC sont les suivants : dates de conception, dates de production, salaires, poids des sept structures de répartition des travaux (un NCC est plus lourd qu'une FCP : poids lège de 5 400 tonnes longues comparativement à 3 748 tonnes longues pour la FCP), taux d'inflation dans les diverses structures de répartition des travaux, coûts des munitions actualisés et coûts des pièces de rechange.

Pour une description complète de la modélisation des FCP et des NCC dans TruePlanning, veuillez vous reporter à l'annexe B.

### 3.2. Première estimation heuristique : méthode de la RAND Corporation avec des données américaines

---

Notre première estimation heuristique s'appuyait sur les heuristiques utilisées par la RAND Corporation pour produire son rapport intitulé *Why Has the Cost of Navy Ships Risen?*<sup>79</sup> Les auteurs avaient recensé plusieurs heuristiques pouvant servir à estimer le coût d'un navire de combat. Le DBP s'est servi de ces méthodes pour établir une autre estimation du coût des NCC afin de valider les résultats du modèle paramétrique.

Nous avons utilisé les heuristiques du rapport de la RAND Corporation pour ce qui est des facteurs d'augmentation des coûts liés aux navires de combat et nous les avons appliquées aux FCP afin d'estimer le coût des NCC. Les heuristiques utilisées étaient les suivantes :

- On utilise le coût du neuvième navire;

- On applique un taux d'inflation annuel de 2 % afin de tenir compte des capacités non manifestes;
- On augmente le coût de façon linéaire avec l'augmentation du poids léger;
- On augmente le coût de façon linéaire avec l'augmentation de la densité de puissance;
- S'il y a lieu, on applique un taux d'inflation de 1,2 % de plus que le taux d'inflation du PIB pour tenir compte de l'inflation intraprogramme;
- On applique le taux d'inflation du PIB plus 0,4 point de pourcentage pour tenir compte de l'inflation entre générations de navires;
- On tient compte des différences de taxes entre les deux programmes.

Pour obtenir des renseignements plus détaillés sur cette méthode, veuillez vous reporter à l'annexe C.

La section traitant des résultats contient des calculs complets effectués à l'aide de cette méthode ainsi que le coût estimatif ainsi obtenu.

### 3.3. Deuxième estimation heuristique : estimation du coût par la comparaison des coûts de main-d'œuvre

---

Cette méthode repose sur une idée tirée du chapitre 5 du rapport de la RAND Corporation intitulé *Australia's Naval Shipbuilding Enterprise*<sup>80</sup>. Les auteurs y comparaient l'évolution des coûts en Australie selon divers facteurs et l'évolution des coûts dans d'autres pays constructeurs. Cet exercice est souvent appelé « référenciation »

En partant du principe que le coût horaire de main-d'œuvre n'est pas le même aux États-Unis qu'au Canada, le DPB a converti le coût de construction d'un navire aux États-Unis en coût de construction au Canada. Comme dans le cas de la première méthode, cette deuxième méthode heuristique a servi au DPB à produire une autre estimation afin de valider les résultats du modèle paramétrique.

En bref, cette méthode estime le coût de construction d'un navire américain (Arleigh Burke) au Canada en comparant le coût du neuvième navire, en utilisant le taux d'inflation intraprogramme déterminé par le CBO (taux d'inflation du PIB plus 1,2 %), en utilisant le taux de change actuel entre le dollar américain et le dollar canadien, en rajustant le coût en fonction de la différence de poids léger et en rajustant le coût en fonction de la différence du coût de main-d'œuvre aux États-Unis et au Canada.

Pour obtenir une description complète de cette méthode, veuillez vous reporter à l'annexe D.

Des calculs complets effectués avec cette méthode et le coût estimatif ainsi obtenu sont présentés dans la section des résultats ci-dessous.

## 4. Résultats

Les résultats sont répartis en sept sections, c'est-à-dire :

- L'estimation des coûts du programme à supposer que le poids lège soit de 5 400 tonnes.
- La présentation d'une série de coûts en fonction de divers poids légers.
- Le coût du programme si on réduit le nombre de navires construits.
- Les coûts supplémentaires si la construction est retardée d'un ou deux ans.
- Le supplément estimatif que le Canada paiera pour faire construire les navires sur son territoire et les coûts estimatifs pour l'achat de marchandises à l'étranger.
- L'estimation des coûts de construction du neuvième navire obtenue au moyen de la première méthode heuristique présentée dans la section « Méthodes d'estimation ».
- L'estimation des coûts pour le neuvième navire obtenue au moyen de la deuxième méthode heuristique.

### 4.1. Estimation ponctuelle des coûts des NCC

Comme l'a mentionné ce rapport, le poids lège de référence choisi pour les NCC s'établit à 5 400 tonnes. Le calendrier de construction utilisé dans le modèle figure au tableau 4-1 et les coûts estimatifs du programme sont au tableau 4-2.

L'estimation des coûts du programme part du principe que 15 navires seront construits. Les coûts sont présentés en dollars de 2017, ou en dollars indexés, et en dollars courants.<sup>81</sup> Par ailleurs, les coûts des FCP sont présentés à titre de référence.

Selon le tableau 4-2, le coût global du programme se chiffre à 61,82 G\$, en dollars courants. Ce montant est environ 2,4 fois plus élevé que les coûts initialement prévus de 26,2 G\$. Les coûts en dollars de 2017 seraient de 39,94 G\$. La courbe d'apprentissage se manifeste dans l'écart entre les coûts de construction du premier navire et ceux du dernier : 2,11 G\$ pour le premier en dollars de 2017 et 1,44 G\$ pour le 15<sup>e</sup>.



Tableau 4-1 Calendrier de construction des NCC

	Début de la construction	Fin de la construction
<b>Navire 1</b>	2021	2027
<b>Navire 2</b>	2023	2028
<b>Navire 3</b>	2025	2029
<b>Navire 4</b>	2026	2030
...	...	...
<b>Navire 15</b>	2037	2041

Source : DPB

Tableau 4-2 Estimation des coûts basée sur le modèle paramétrique

	Coût des NCC en G\$ (dollars de 2017)	Coût des NCC en G\$ (dollars courants)	Coût des FCP en G\$ (dollars courants)
<b>Coût total du programme</b>	39,94	61,82	8,86
<b>Coût du 9<sup>e</sup> navire*</b>	1,59	2,71	0,39
<b>Coût du 1<sup>er</sup> navire*</b>	2,11	3,41	0,58
<b>Coût moyen d'un navire</b>	1,66	2,73	0,47
<b>Coût du dernier navire*</b>	1,50**	3,20**	0,39***
<b>Coût total de conception</b>	4,53	5,10	1,03
<b>Coût total de production</b>	27,82	45,23	5,99
<b>Coût des pièces de rechange pour deux ans</b>	0,83	1,31	0,13
<b>Coût des pièces de rechange pour les années suivantes</b>	4,42	6,96	0,87
<b>Munitions</b>	0,98	1,54	0,25
<b>Installations</b>	0,16	0,18	0,07
<b>Documentation</b>	0,07	0,08	0,03
<b>Formation</b>	0,26	0,38	0,11
<b>Coût de gestion du programme du gouvernement</b>	0,88	1,05	0,38

Source : Calculs du DPB effectués avec TruePlanning.

Notes : Les chiffres ayant été arrondis, leur somme peut ne pas correspondre au total indiqué.

\* Le coût unitaire des navires équivaut au prix barre en mains d'un navire selon l'OTAN, qui comprend les bénéfices, les taxes et les pièces de rechange pour deux ans, mais qui ne tient pas compte du coût des munitions.

\*\* Le 15<sup>e</sup> navire.

\*\*\* Comme les FCP ont été construites à deux chantiers navals, il s'agit ici du coût du neuvième navire construit au chantier de St. John.

## 4.2. Sensibilité de l'estimation ponctuelle aux changements de poids lège

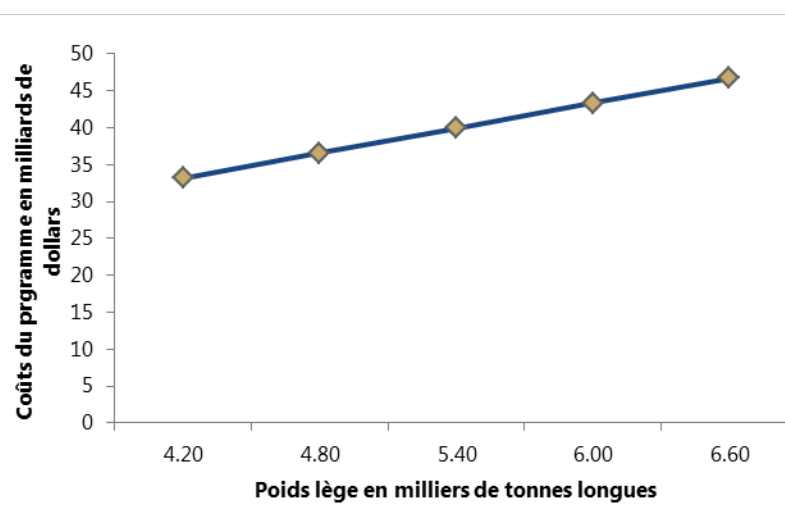
Les coûts du programme seraient inférieurs si le poids lège des NCC était en deçà de 5 400 tonnes. Inversement, un poids lège supérieur amènerait une hausse des coûts. Le tableau 4-3 et la figure 4-1 présentent les coûts du programme en dollars de 2017 en fonction de divers poids lège.

Tableau 4-3 Coûts du programme en fonction du poids lège

	Coûts des NCC en milliards de dollars (dollars de 2017)	Coûts du 1 <sup>er</sup> navire en milliards de dollars (dollars de 2017)	Coûts du 15 <sup>e</sup> navire en milliards de dollars (dollars de 2017)
<b>4 200 tonnes</b>	33,17	1,66	1,20
<b>4 800 tonnes</b>	36,56	1,89	1,37
<b>5 400 tonnes</b>	39,94	2,11	1,53
<b>6 000 tonnes</b>	43,32	2,34	1,69
<b>6 600 tonnes</b>	46,71	2,57	1,86

Source : DPB

Figure 4-1 Coût du programme (dollars de 2017) en fonction du poids lège



Source : DPB

### 4.3. Sensibilité de l'estimation ponctuelle au nombre de navires

Dans la même logique que la baisse du poids lège, le fait de construire moins de navires ferait diminuer les coûts du programme. Le tableau 4-4 indique quels seraient, en dollars de 2017 et en dollars courants, les coûts pour la construction de 15, 12, 9 et 6 navires. La figure 4-2 présente le coût du programme des NCC, en dollars de 2017, selon le nombre de navires construits.

On suppose, si on diminue le nombre de navires, que le programme se terminera plus tôt, en fonction du nombre de navires en moins. Pour la construction de 15 navires, le programme prendrait fin en 2041, pour 12 navires, il se terminerait en 2038, et ainsi de suite.

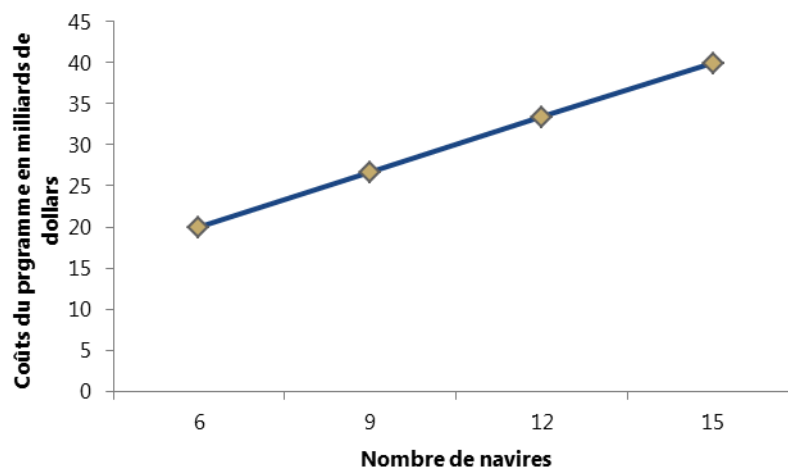
Qui plus est, pour respecter le budget initial de 26,2 G\$ en dollars courants, il ne faudra construire que six navires.

**Tableau 4-4** Coût du programme des NCC pour 6, 9, 12 et 15 navires

	<b>Coûts des NCC en milliards de dollars (dollars de 2017)</b>	<b>Coûts des NCC en milliards de dollars (dollars courants)</b>	<b>Année d'achèvement du programme</b>
<b>Coûts pour 15 navires</b>	39,94	61,82	2041
<b>Coûts pour 12 navires</b>	33,36	48,91	2038
<b>Coûts pour 9 navires</b>	26,70	37,07	2035
<b>Coûts pour 6 navires</b>	19,93	26,17	2032

Sources : DPB et logiciel TruePlanning

Figure 4-2 Coût du programme des NCC, en dollars de 2017, selon le nombre de navires



Sources : DPB et logiciel TruePlanning

#### 4.4. Coûts des retards de construction des NCC

Comme l'a indiqué précédemment ce rapport, l'estimation initiale des coûts tient pour acquis que la construction des NCC commencera en 2021 (date de début de la production). Tout retard mènerait à une hausse des coûts pour deux raisons : l'inflation et la baisse de productivité du chantier naval.

Tel que mentionné, le taux d'inflation des navires navals est supérieur à l'inflation du PIB et à l'indice des prix à la consommation (IPC). Le Congressional Budget Office a en effet découvert que l'inflation économique était supérieure de 1,2 point de pourcentage à l'inflation du PIB. Cela affecte le coût global d'un navire. Or, l'inflation annuelle de 6,5 % du système de combat a encore plus d'incidences à cet égard. Les coûts liés aux retards de production sont très élevés en raison de ces taux d'inflation supérieurs.

En outre, il y aura une hausse des coûts si le chantier naval d'Halifax termine la construction des navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique (NPEA) avant le début du projet des NCC. Si on en croit le calendrier de construction des NPEA, dans le rapport préliminaire du DPB, si cinq NPEA sont construits, le cinquième sera terminé en 2022, alors que la construction des NCC doit commencer en 2021. Les deux projets ne se chevaucheraient donc que d'une année. Les calculs dans ce rapport supposent un chevauchement de cinq ans.

Si les deux programmes devaient se chevaucher, le chantier naval n'aurait pas à licencier d'employés, puis à payer pour former de nouveaux travailleurs. Le savoir-faire requis à la fin d'un projet de construction (pour

l'équipement par exemple) est différent de celui nécessaire au début du projet, comme la construction des tins qui constituent un navire (découpage et soudage de l'acier).

S'il y a chevauchement d'un an, le chantier naval conservera environ 5 % de sa main-d'œuvre. Cela engendrerait des coûts supplémentaires découlant d'environ 5,5 millions d'heures de travail (pour le recyclage) et un retard de trois ans pour la construction du premier navire.<sup>82</sup>

Sans chevauchement (si la construction des NCC devait commencer la même année que la fin du projet des NPEA, ou l'année suivante), il ne resterait, dans les faits, aucune main-d'œuvre, ce qui nécessiterait environ 6 millions d'heures de travail supplémentaires.<sup>83</sup>

Le tableau 4-5 montre les coûts estimatifs du programme s'il accusait un retard ou si le chevauchement était minime. Le scénario de base ne prévoit aucun retard pour le début de la construction. En fait, il repose sur un chevauchement d'environ cinq ans entre le projet des NPEA et celui des NCC afin de favoriser le maintien en poste d'un nombre suffisant de travailleurs et de minimiser le nombre d'heures supplémentaires requises pour le recyclage.

Imaginons que le programme des NCC soit retardé d'un an et donc ne chevauche le projet précédent que de quatre ans. Selon les données du tableau, il faudrait soustraire le scénario de base à chacune des deux valeurs et additionner le résultat de chaque calcul pour obtenir le montant supplémentaire (p. ex.  $64,39 - 61,82 + 62,83 - 61,82 = 3,58$  G\$ en dollars courants).

Cette méthode simple ne tient toutefois pas compte des effets de l'inflation sur les coûts supplémentaires de la main-d'œuvre qu'entraînerait un chevauchement plus court que prévu.

Tableau 4-5 Hausse des coûts du programme des NCC en cas de retard

	<b>Coûts des NCC en milliards de dollars (dollars courants)</b>
<b>Pas de retard et chevauchement de cinq ans</b>	61,82
<b>Retard d'un an</b>	64,39
<b>Retard de deux ans</b>	67,08
<b>Retard de trois ans</b>	69,90
<b>Chevauchement de quatre ans</b>	62,83
<b>Chevauchement de trois ans</b>	62,83
<b>Chevauchement de deux ans</b>	62,99
<b>Chevauchement d'un an</b>	63,29
<b>Pas de chevauchement</b>	63,42

Sources : DPB et (Birkler et coll., 2015)

## 4.5. Construire les NCC au Canada : les coûts et les avantages

Dans un encadré précédent, le DPB a fait une estimation du supplément que l'Australie a eu à payer pour construire ses destroyers de la classe Hobart sur son territoire. Il est maintenant possible de faire un calcul semblable pour les NCC.

De plus, un modèle paramétrique détaillé a été créé pour les NCC. Il est donc possible de déterminer quelle proportion des coûts d'un navire est consacrée à l'achat de marchandises par rapport aux coûts de la main-d'œuvre/des matériaux et quel pourcentage de ces marchandises pourrait vraisemblablement être acquis au Canada.

Comme l'indiquent les données du tableau 4-2, le coût total du programme pour la construction de 15 navires s'élève à 39,94 G\$ en dollars de 2017. De ce montant, 27,82 G\$ proviennent des coûts de production et 4,53 G\$ des coûts de conception. Les 7,59 G\$ restants sont consacrés à la gestion du programme gouvernemental, aux pièces de rechange, aux munitions, aux installations, à la formation et à la documentation.

Si le Canada devait faire l'acquisition de ces navires auprès d'un autre pays (figurant dans la liste de la section 2.2) sans leur apporter de modification, il épargnerait les coûts de conception, la majorité des coûts de gestion du programme gouvernemental et les dépenses relatives à la courbe d'apprentissage, car il n'aurait des coûts à assumer qu'à partir du neuvième navire.

Le tableau 4-2 indique que les coûts du neuvième navire, en dollars de 2017, s'établissent à 1,59 G\$, ce qui comprend les pièces de rechange pour deux

ans. Pour obtenir ce résultat, il faut soustraire les coûts des pièces de rechange, soit 56 M\$, puis multiplier le montant par 15 et soustraire le résultat au coût global de production.

Ainsi,  $27,82 - 15 * (1,59 - 0,056) = 4,81$  G\$ en économies des coûts de production. Ajoutons à cela 4,53 G\$ en coûts de conception et 0,88 G\$ pour la gestion du programme gouvernemental et on obtient une économie totale de 10,22 G\$. Cela représente environ 25 % du coût total du programme.

De plus, le Canada pourrait sûrement obtenir les navires plus tôt, car le chantier naval canadien n'aurait pas besoin de temps supplémentaire pour lancer la courbe d'apprentissage.

En ce qui concerne l'équipement commercial sur étagère (COTS)<sup>84</sup> qui sera utilisé pour les NCC, le Canada fera fort probablement l'acquisition à l'étranger de trois composantes essentielles : le système de combat, le système de propulsion et l'armement.

Pour les 15 navires, on estime le coût des pièces COTS du système de combat à 11,35 G\$ (ce qui comprend le système de simulation et le prototype), celui des pièces COTS du système de propulsion à 1,55 G\$ et celui des pièces COTS de l'armement à 1,19 G\$. Ainsi, des 32,35 G\$ prévus pour la conception et la production, 14,09 G\$ (44 %) serviront vraisemblablement aux achats à l'étranger.

Le Canada devra aussi assumer des coûts supplémentaires, puisqu'il ne construit qu'un seul navire par année. Le nombre de navires construits par année correspond à ce que l'on appelle le taux d'acquisition. Le rapport de la RAND intitulé *Why Has the Cost of Navy Ships Risen?* indique que la diminution des taux d'acquisition aux États-Unis avait donné lieu à une hausse annuelle de 0,3 % du taux d'inflation des coûts des navires. L'acquisition de plus d'un navire en une année donnée donne lieu à des économies d'échelle lors de la fabrication et de l'achat, et ces économies contribuent à réduire le coût de construction d'un navire<sup>85</sup>.

Au cours de la période de 40 ans visée par le rapport, le nombre de navires que les États-Unis ont achetés chaque année a légèrement diminué, en moyenne, ce qui a entraîné une réduction des économies d'échelle et cette augmentation annuelle du coût de 0,3 %.

## 4.6. Coûts du 9<sup>e</sup> navire selon la première méthode heuristique

---

Cette section applique la première méthode heuristique présentée dans la section sur la méthodologie. Les étapes qui y sont décrites sont mises en application dans la présente section, avec des valeurs réelles cette fois-ci. Vous trouverez, à l'annexe C, une explication pour chaque étape.

1. Selon le tableau 4-2 les coûts de la 9<sup>e</sup> FCP, en dollars courants, sont de 390 M\$, ce qu'on suppose être le montant en dollars de 1994 (année médiane du projet).
2. Il faut majorer les coûts à raison de 2 % de 1991 à 2004 pour tenir compte des capacités non manifestes, mais, d'abord, il faut procéder à l'étape 3. Elle fait baisser la valeur de 1994 à celle de 1991, au moment de la livraison provisoire de la première FCP.
3. La valeur de 1994, soit 390 M\$, a été baissée de 3,2 % à la valeur de 1991, pour un montant de 355 M\$. Ce montant, lorsqu'on lui applique une inflation de 2 % sur une période de 13 ans, équivaut à 459 M\$.
4. Il faut ensuite hausser les coûts pour tenir compte de l'augmentation du poids. Le poids lège d'une FCP était de 3 748 tonnes et le poids lège d'un NCC est de 5 400 tonnes, une hausse de 44 %. Il faut multiplier 459 par 1,44, ce qui donne 661 M\$.
5. Puis, il faut hausser les coûts pour tenir compte de l'augmentation de la densité de puissance. La production énergétique des FCP était de 1 700 kilowatts (kW), sans compter la production excédentaire. L'électricité servant à la propulsion électrique n'est pas, elle non plus, prise en considération, mais les FCP n'étaient pas équipées à cet effet. Donc :  $1\ 700\ \text{kW} / 3\ 748\ \text{tonnes} = 0,454\ \text{kW/tonne}$ . La production énergétique des FREMM italiennes est de 2 800 kW, sans compter la production excédentaire ni la propulsion électrique.<sup>86</sup> Comme ces navires ne sont pas conçus pour naviguer dans les eaux nordiques de l'Atlantique pendant l'hiver, il faut ajouter une capacité électrique de 500 kW pour le chauffage supplémentaire.<sup>87</sup> La densité de puissance des FREMM est donc la suivante :  $3\ 300\ \text{kW} / 5\ 400\ \text{tonnes} = 0,611\ \text{kW/tonne}$ . La différence entre les FCP et les FREMM est de  $0,611 / 0,454 = 1,35$ . Il faut ensuite multiplier ce résultat aux coûts obtenus à l'étape précédente :  $661 * 1,35 = 892\ \text{M\$}$ .
6. Après quoi, il faut tenir compte de l'inflation économique des navires militaires de 1991 à 2017, c'est-à-dire le PIB auquel on ajoute 0,4 %, ce qui donne 2,4 %. En appliquant la valeur de l'inflation, soit 2,4 %, sur 26 ans à 892 M\$, on obtient 1 653 M\$. Cette valeur est exprimée en dollars de 2017.
7. Enfin, il faut ajouter la différence entre les taxes appliquées au programme des FCP, dont le taux effectif est de 6,1 %, et le taux actuel de la TVH en Nouvelle-Écosse qui est de 15 %. Si on multiplie 1 653 M\$ par 1,089, on obtient, en dollars de 2017, 1 800 M\$ pour le neuvième navire.

L'estimation des coûts du neuvième navire (1 800 M\$) est supérieure de 210 M\$ à l'estimation paramétrique de 1 590 M\$ du tableau 4-2. L'estimation des coûts obtenue à l'aide de la méthode heuristique est supérieure de 13 %, mais nous confirme bel et bien que l'estimation paramétrique se situe dans la bonne tranche de prix.



## 4.7. Coûts du 9<sup>e</sup> navire selon la deuxième méthode heuristique

---

Cette section applique la deuxième méthode heuristique présentée dans la section sur la méthodologie. Les étapes qui y sont décrites sont mises en application dans la présente section, avec des valeurs réelles cette fois-ci. Vous trouverez, à l'annexe D, une explication pour chaque étape.

1. L'estimation des coûts du neuvième navire Flight IIA de la classe Arleigh Burke, construit au chantier naval d'Huntington Ingalls, s'élevait à 1,424 G\$ US, en dollars de 2014.
2. Il faut appliquer à ce montant le taux d'inflation de 3,2 % pour obtenir sa valeur pour 2017, ce qui donne 1,57 G\$ US.
3. En convertissant ce montant en dollars canadiens, à un taux de change de 1,33, on obtient 2,09 G\$ CA.
4. Il faut ensuite multiplier ce montant par 0,75 pour tenir compte de la différence de poids entre le navire de la classe Arleigh Burke et le NCC, ce qui donne 1,57 G\$ CA.
5. Cette étape a calculé que le taux salarial au chantier naval d'Halifax est environ 13,6 % supérieur à celui du chantier naval américain en tenant compte du taux de change.
6. Enfin, il faut multiplier la valeur de la main-d'œuvre au montant obtenu à l'étape quatre pour obtenir le montant final. Ainsi,  $1,57 \times (0,314 \times 1,136 + 0,686) = 1,64$  G\$.

Cette deuxième méthode heuristique est seulement 50 M\$, ou 3 %, au-dessus de la méthode paramétrique, ce qui consolide l'idée que l'estimation paramétrique est dans la bonne fourchette. Comme les deux méthodes ont produit des résultats supérieurs, cela nous indique, en fait, que l'estimation paramétrique n'est peut-être pas assez élevée.

# Annexe A : Inflation du système de combat

Le présent document a établi la valeur de l'inflation à 6,5 % en s'appuyant sur les résultats du rapport de 2006 de la RAND Corporation; les estimations des coûts, elles, se fondent sur le budget du président américain pour le navire de la classe Arleigh Burke (DDG51).<sup>88</sup> En se fondant sur ce rapport, le DPB a déterminé que deux facteurs influenceraient l'inflation du système de combat, soit l'inflation économique et la densité de puissance.

Comme le présent document l'a déjà indiqué, le rapport de la RAND Corporation a constaté que l'inflation économique était supérieure de 0,4 % à l'inflation du PIB. On a aussi vu que l'inflation du PIB du Canada maintient une moyenne de 2 % depuis 1991, une tendance qui devrait se poursuivre. Ainsi, on prévoit que l'inflation économique contribuera de l'ordre de 2,4 % à l'inflation du système de combat.

Les auteurs du rapport de la RAND Corporation ont découvert que la densité de puissance avait augmenté de 88 % et le poids lège de 81 % pour la période visée. Le DPB a calculé que cette hausse générerait une inflation annuelle de 1,1 % sur le coût global des navires. Ce chiffre est tiré du tableau 3.6, à la page 39 du rapport, qui indique que, pour les navires de combat de surface, l'augmentation du poids lège et de la densité de puissance avait mené à la hausse du coût des navires à moyenne de 2,1 % par année.

L'équation 3.2 de la page 37 a servi à déterminer la proportion des coûts attribuable au poids lège et à la densité de la puissance ( $\ln \text{Cost} = 0,95 \ln [\text{poids lège}] + 0,94 \ln [\text{densité de puissance}]$ ). Cette équation a ensuite été utilisée pour partager la valeur de 2,1 % entre le poids lège et la densité de puissance (ainsi,  $1,88 \exp[0,94] = 1,81$  pour la densité de puissance et  $1,81 \exp[0,95] = 1,76$  pour le poids lège). Puis, on a dégagé, à partir de ces résultats, la valeur en point de pourcentage attribuable à la densité de puissance ( $(0,81 / (0,76 + 0,81)) * 2,1 \% = 1,1 \%$ ). On peut donc en conclure que 1,1 % des 2,1 % est dû à la densité de puissance.

Puis, le DPB a présumé que la densité de puissance était un indicateur pour le système de combat (et surtout au matériel acheté) et que l'inflation du matériel acquis pour le système de combat expliquerait le taux d'inflation annuelle de 1,1 %. Il n'y a, à la connaissance du DPB, aucun autre système à bord des navires qui pourrait faire augmenter les besoins en électricité. En partant de cette supposition, il est possible d'établir le taux d'inflation du

matériel. L'inflation du système de combat doit être prise en considération en plus de l'inflation économique.

Le budget du président des États-Unis pour le DDG51 (navire de la classe Arleigh Burke) a été utilisé pour établir quelle portion du coût global du navire se rapportait au système de combat.<sup>89</sup> Le navire de la classe Arleigh Burke est le principal navire de combat de surface des États-Unis. On a considéré que tout ce qui s'inscrivait dans la catégorie des coûts liés aux électroniques était affecté par la densité de puissance alors que, dans la catégorie des coûts liés à l'armement, seul le système d'arme Aegis est concerné.

Les autres éléments inscrits dans cette dernière catégorie sont propres aux systèmes d'arme et n'ont pas le même taux d'inflation que le système de combat. Pour ce calcul, tous les montants sont exprimés en dollars américains.

Pour cet exercice de séparation des coûts, on a utilisé les données de l'EF 2015 pour les navires DDG 121 et DDG 122. Les navires des EF 2016 et 2017 n'ont pas été pris en considération, car ils sont munis d'un système de radar moderne (RDAA). Le coût global pour les deux navires s'élevait à 2 994 M\$, soit une moyenne de 1 497 M\$ par navire. Si on divise en deux les coûts liés aux électroniques (350 M\$), on obtient 175 M\$, et si on divise en deux les coûts pour le système Aegis (442 M\$), on obtient 221 M\$.

Donc :  $(175 + 221)/1\,497 = 26,5 \%$ . Ainsi, à peine plus du quart des coûts d'un navire sont affectés par la densité de puissance.

À supposer que la densité de puissance ne contribue qu'aux coûts liés au système de combat, on peut présumer que ces 26,5 % sont à l'origine du taux d'inflation de 1,08 % sur le coût global du navire. Pour établir l'inflation réelle s'appliquant seulement au coût du système de combat, il faut diviser 1,08 par 0,265 pour obtenir 4,1 %.

Enfin, il suffit d'ajouter à ce résultat l'inflation économique ci-dessus (2,4 %), ce qui nous donne une inflation globale de 6,5 %.

# Annexe B : Modélisation des FCP et des NCC dans le logiciel TruePlanning

---

## B.1 Modélisation des FCP dans TruePlanning

---

Comme l'a déjà indiqué ce rapport, la première étape de la modélisation des NCC dans TruePlanning était de créer le modèle de FCP. Six documents ont servi de sources de données pour la création du modèle, soit le rapport de rentabilité du 21 mars 1994<sup>90</sup>; le rapport d'achèvement du projet<sup>91</sup>; les données sur les OTP des FCP (tableur Excel dans lequel figure le poids des sous-composantes pour chaque OTP des FCP)<sup>92</sup>; un diagramme d'une page dans PowerPoint qui présente le coût « global » du projet et dans lequel chaque catégorie de coût est indiquée par la moyenne de coûts de production qu'elle représente pour le navire<sup>93</sup>; le rapport sur le cadre de gestion des contrats<sup>94</sup>; le rapport Frégate canadienne de patrouille, Comparaison des coûts et des capacités<sup>95</sup>.

Sur les 12 FCP construites, trois l'ont été au chantier naval de Lauzon (Québec) et neuf dans un chantier naval de Saint-Jean (Nouveau-Brunswick). Pendant la construction, l'entreprise responsable des trois navires au chantier naval de Lauzon a connu des difficultés financières et s'est vue octroyer des fonds supplémentaires pour terminer la construction. C'est pour cela, et en raison de la courbe d'apprentissage de ce chantier naval, que seuls les neuf navires construits au Nouveau-Brunswick ont été utilisés pour créer le modèle de FCP.

Le document le plus important parmi les six desquels sont tirées les données pour la FCP était le rapport de rentabilité. Beaucoup de temps et d'énergie ont été consacrés à épilucher ce rapport afin de créer un tableau de ventilation répartissant tous les coûts du programme selon le numéro du navire et l'OTP.

Comme l'a expliqué ce rapport, « OTP » signifie « organigramme technique de produit ». Cette structure représente les sept composantes de base d'un navire de combat de surface, soit la coque, le système de propulsion, la production et la distribution d'électricité, le système de combat, les systèmes auxiliaires, l'équipement et l'armement. Pour chaque OTP, les coûts ont été répartis en fonction de la main-d'œuvre (heures et coûts), du matériel et de l'équipement commercial sur étagère (COTS).

Le matériel et l'équipement COTS sont deux choses différentes. Le matériel se définit comme les articles qu'on peut acheter dans des commerces

généraux (plaques d'acier, câbles électriques, rivets, équipement de soudage, etc.). L'utilisation de ces articles fait l'objet d'un suivi et est comptabilisée au fur et à mesure de leur acquisition pendant la construction d'un navire. L'équipement COTS fait référence aux éléments commandés spécialement pour chaque navire comme les turbines à gaz, les générateurs électriques, les pièces des systèmes de combat et l'armement.

Grâce aux données du rapport de rentabilité, on a pu établir la courbe d'apprentissage de la main-d'œuvre et celle relative au matériel pour chaque OTP et pour le programme dans son ensemble. La courbe d'apprentissage du matériel ressemble à celle de la main-d'œuvre, mais fait référence à la quantité de matériel utilisé. En effet, plus avance la construction des navires, moins on perd de matériel. Les utilisateurs du logiciel TruePlanning peuvent saisir les courbes d'apprentissage de la main-d'œuvre et du matériel dans chaque objet de coûts.

Les objets de coûts de TruePlanning sont des éléments que l'utilisateur assigne à chaque OTP. Lors de la création du modèle de FCP, on a utilisé, en fonction de l'OTP, diverses combinaisons d'objets de coûts relatifs aux ensembles, aux composants matériels, à l'équipement informatique COTS et aux composants logiciels.

Grâce aux données du rapport de rentabilité (coût de la main-d'œuvre et heures de travail selon l'entreprise et l'OTP), on a pu déterminer le plein taux moyen réel de la main-d'œuvre pour le chantier naval et l'intégrateur du système de combat. Puis, les salaires ont été modifiés dans TruePlanning pour que la moyenne globale soit égale à celle du programme.

Des profils salariaux différents ont été utilisés pour les constructeurs de navire et l'intégrateur du système de combat, car le taux salarial de ce dernier était supérieur. Lors de la création des deux profils salariaux, les rapports de coûts entre les salaires de chaque ressource inscrite dans TruePlanning ont été maintenus. Par exemple, si, dans le logiciel, le salaire d'un gestionnaire de projet était le double de celui d'un monteur, ce rapport a été conservé lors de la modification des salaires.

Le taux relatif aux coûts indirects réels de la main-d'œuvre a été établi à l'aide de la page 98 du rapport de rentabilité. Cette page indique que les coûts indirects de l'entrepreneur principal s'élèvent à 885,017 M\$ et les coûts globaux de la main-d'œuvre à 758,137 M\$. Le taux relatif aux coûts indirects s'établit alors à 116,74 %, et il s'agit du taux pour les constructeurs de navire. Les coûts indirects pour l'intégrateur du système de combat n'ont pas été calculés séparément. Ainsi, on a supposé que le taux relatif aux coûts indirects était le même que celui des constructeurs de navire.

Le taux relatif aux coûts indirects pour l'intégrateur du système de combat n'était pas le seul élément du rapport de rentabilité pour lequel il manquait de l'information. Contrairement à la ventilation détaillée des coûts relatifs à la

main-d'œuvre pour le chantier naval, les données sur les coûts relatifs à l'intégrateur du système de combat étaient beaucoup moins détaillées. Or la section du rapport de rentabilité portant sur ces données ne fournissait que les dépenses en matière de matériel et d'équipement COTS par navire, le nombre total d'heures de travail, par catégorie, pour tout le programme (la gestion du programme, l'assurance de la qualité, les installations terrestres, les logiciels, les navires, etc.) et ses dépenses globales pour chacune de ces catégories (main-d'œuvre et matériel).

On a pu faire une estimation du taux moyen de main-d'œuvre en partant de l'idée que les coûts d'élaboration du logiciel ne tenaient compte que de la main-d'œuvre (et non du matériel) et en divisant ces coûts par le nombre total d'heures. Il était raisonnable de croire que le taux de main-d'œuvre pour le logiciel était représentatif du taux de main-d'œuvre global de l'intégrateur du système de combat, car toutes les tâches associées au système de combat requièrent des personnes hautement qualifiées.

Le taux de main-d'œuvre pour l'intégrateur du système de combat a ensuite été utilisé pour soustraire les coûts de la main-d'œuvre (heures de travail multipliées par le taux de main-d'œuvre) à chacune des catégories de coûts afin de déterminer les coûts de tout matériel ou équipement COTS supplémentaire. Comme exemple de matériel supplémentaire, nommons l'équipement requis pour construire le prototype du système de combat et les installations de simulation.

La sous-section portant sur les systèmes de combat a également examiné le concept d'équipement fourni par le gouvernement (EFG). La question de l'EFG posait deux problèmes lors de la création du modèle de FCP : déterminer ses coûts et déterminer à quel(s) OTP il fallait l'associer.

Comme son nom l'indique, l'EFG est fourni par le gouvernement, ce qui veut dire que les coûts qui y sont associés ne figuraient pas dans le rapport de rentabilité. On trouve, à la page 46 du rapport d'achèvement du projet, un tableau qui fournit une liste détaillée des principales dépenses gouvernementales. L'un des éléments de cette liste se nommait « navire » et des coûts de 589 M\$ y étaient associés.

En comparant ces coûts à la ventilation des coûts du programme dans le document PowerPoint, on a conclu qu'il s'agissait sans doute de l'EFG, ce qui revient à 49 M\$ par navire. Ce montant relatif à l'EFG s'inscrit dans la même fourchette de prix que celui présenté à la page 17/59 du rapport sur le cadre de gestion des contrats<sup>96</sup> (0,47 G\$).

Il fallait ensuite déterminer quelles portions des coûts d'EFG étaient attribuables à l'OTP relatif au système de combat et à l'OTP relatif à l'armement. On présuait que ces deux OTP utilisaient de l'EFG, car cet équipement incluait probablement des éléments classifiés du système de

combat, comme des capteurs (p. ex. radars), et des éléments classifiés de l'armement, comme les systèmes de missile.

Faute d'expérience préalable sur la façon de diviser ces coûts, on a décidé d'appliquer le ratio des coûts du système de combat par rapport aux coûts d'armement d'un navire de la classe Arleigh Burke. À l'aide des coûts du DDG 119 pour l'EF 2014, on a calculé que 78 % des coûts se rapportaient au système de combat et 22 % à l'armement. Si on prend le montant ci-dessus (49 M\$), on obtient 38 M\$ en coûts supplémentaires d'EFG pour le système de combat et 11 M\$ pour l'armement.

Au début du projet des FCP, c'était la taxe sur les ventes des fabricants (TVF) qui était applicable au Canada, et non la taxe sur les produits et services (TPS). La TVF a été remplacée par la TPS en janvier 1991; le projet des FCP était alors bien entamé.<sup>97</sup> Comme les taxes appliquées ont fluctué pendant le programme, on a fait une estimation du taux réel de la taxe à l'aide du rapport d'achèvement du projet.<sup>98</sup>

À la page 45 du rapport d'achèvement du projet figure un montant global de 323 M\$ en taxe de vente fédérale (TVF), un autre nom utilisé pour la TVF et la TPS. Le taux réel de la taxe a été calculé en divisant ce montant par le montant total du prix plafond de l'entrepreneur, soit 5 299 M\$ (aussi à la page 45), ce qui donne un taux de 6,1 %.<sup>99</sup>

Les profits estimatifs du programme ont été calculés de la même façon que le taux de la taxe. À la page 40 du rapport d'achèvement du projet, le budget total de l'entrepreneur principal s'établissait, avant profits, à 3 070 M\$ et sa marge de profit était de 401 M\$. À la page 98 du rapport de rentabilité, le budget total de l'intégrateur du système de combat, avant profits, était de 1 926 M\$ et sa marge de profit était de 138 M\$. On a calculé le taux réel de profit en divisant la somme de ces deux montants par la somme des deux budgets avant profits, ce qui donne 11 %.

Lorsque tous les calculs ont été réalisés, il a été possible d'établir le modèle des OTP des FCP dans TruePlanning. La modélisation a eu lieu en 11 étapes.

1. On a déterminé, pour chaque OTP, s'il fallait attribuer seulement un objet d'équipement COTS (quand il y avait très peu de matériel d'une autre catégorie, par exemple pour le système de propulsion, le système de combat, les systèmes auxiliaires et l'armement) ou un objet d'équipement COTS et un objet de composants matériels, par exemple pour la coque, les systèmes électriques et l'équipement. Le système de combat s'est aussi vu attribuer un objet de coût relatif à l'élaboration de logiciel.
2. Un coût tiré du rapport de rentabilité a été attribué à chaque composant de l'équipement COTS. Le nombre de lignes de programmation a été modifié pour qu'il corresponde au coût relatif à l'élaboration du logiciel inscrit dans le rapport de rentabilité. Le nombre de lignes de programmation ainsi obtenu pour le logiciel correspondait au nombre

de lignes rédigées<sup>100</sup>, ce qui tend à confirmer la fiabilité des taux estimatifs de main-d'œuvre et du logiciel de modélisation TruePlanning.

3. Les valeurs des courbes d'apprentissage de la main-d'œuvre et du matériel ont été saisies pour chaque OTP.
4. Le poids de chaque OTP a été obtenu à partir du tableur Excel fourni par le MDN. Tous les poids des composants COTS qui étaient disponibles dans le tableur ont été utilisés. Pour les autres composants COTS, un poids leur était attribué en fonction du pourcentage de coût de son OTP.
5. Les diverses dates du projet, comme la date de début et de fin de la conception ainsi que la date de début et de fin de la production, ont été saisies. Le modèle permet d'inscrire le pourcentage total de construction qui a été accomplie sur les navires dans une année. En d'autres mots, si, dans une même année, 20 % d'un navire a été construit et 10 % d'un autre et qu'il y a eu des travaux sur aucun autre navire, on inscrirait 0,3 dans le logiciel. Cela signifie que, sur une possibilité de 12 navires, 0,3 sont terminés. Toutes les dates sont tirées du rapport d'achèvement du projet.
6. Les taux de main-d'œuvre et les coûts indirects calculés précédemment ont été saisis.
7. Le logiciel TruePlanning tient compte du concept de la complexité de fabrication de la structure (CFS) qui représente le niveau technologique d'une composante et sa complexité de production. Ainsi, le système de combat a une CFS beaucoup plus élevée que la coque. La CFS a été modifiée pour que le coût unitaire moyen de l'OTP corresponde au coût unitaire réel calculé à l'aide du rapport de rentabilité.
8. Le logiciel de modélisation prend aussi en considération l'indice du procédé de fabrication (IPF). L'IPF sert à établir le coût de la première pièce produite. Il s'appuie sur le degré de maturité du procédé de fabrication et le degré d'automatisation. En ce qui concerne les navires, le degré d'automatisation est très faible. L'IPF est combiné aux courbes d'apprentissage afin de calculer le coût unitaire de chaque navire et le coût unitaire moyen global. Dans la plupart des cas, l'IPF automatiquement généré par TruePlanning a été utilisé. Dans deux cas (la coque et le système de propulsion), l'IPF automatiquement généré était en réalité trop bas. Les IPF qui ont alors été générés manuellement correspondaient davantage aux IPF de la coque et du système de propulsion d'autres navires de combat de surface.
9. À cette étape du processus, le modèle de chaque OTP attribuait trop de matériel et trop peu de main-d'œuvre comparativement aux données réelles tirées du rapport de rentabilité. La situation a été rectifiée en réglant « l'Indice de matériel pour la fabrication », fonctionnalité grâce à laquelle le responsable de l'établissement du modèle de coûts peut déplacer des coûts du matériel vers la main-d'œuvre et vice versa. Dans le cas qui nous occupe, ce sont des coûts relatifs au matériel qui ont été déplacés vers la main-d'œuvre.
10. La dernière étape consistait à corriger les heures de travail se rapportant à la production et à la conception. Même après la modification de l'IPF à



l'étape 9, le modèle attribuait encore trop d'heures à la conception et trop peu à la production. Pour corriger le tir, les multiplicateurs de ressources de TruePlanning ont été utilisés afin d'augmenter les ressources pour la production et de réduire celles pour la mise au point. Notons que les heures de travail et les coûts de main-d'œuvre de deux sociétés de conception, J. J. McMullen Associates et Versatile Vickers System Inc., ont été comptabilisés dans le nombre total d'heures de conception.

11. Les derniers éléments qui ont été saisis étaient le taux de profit (11 %) et le taux de la taxe (6,1 %), calculés ci-dessus.

Une fois le modèle de FCP créé dans TruePlanning, il ne restait plus que deux éléments à saisir, soit les pièces de rechange et les munitions ainsi que l'équipement fourni par le gouvernement. Chaque élément sera examiné tour à tour.

Une estimation a été faite de la valeur des pièces de rechange et des munitions à l'aide des données sur les coûts spécifiques au gouvernement tirés de la page 46 du rapport d'achèvement du projet des FCP<sup>101</sup> et du document PowerPoint dans lequel le coût global était réparti selon les navires.

La comparaison de ces deux sources a permis de conclure que le poste « soutien du matériel », au montant de 1,253 G\$, visait les pièces de rechange et les munitions. De plus, selon le document PowerPoint, 253 M\$ concernaient les munitions et 1 G\$ visait les pièces de rechange. Le montant relatif aux pièces de rechange se rapproche du montant qui figure à la page 17/59 du rapport sur le cadre de gestion des contrats<sup>102</sup> (0,97 G\$).

La sous-section traitant des pièces de rechange indique que les dispositions pour les pièces de rechange des FCP prévoyaient des pièces de rechange pendant 10 ans pour le système de combat et pendant 30 ans pour les autres systèmes du navire. La norme de l'OTAN concernant le prix barre en mains d'un navire a été utilisée pour comparer le coût global d'acquisition de navire par pays.<sup>103</sup> La norme stipule, entre autres, que le prix d'un navire doit comprendre les pièces de rechange initiales. Le DPB a déterminé que cela représentait deux années d'approvisionnement en pièces de rechange.

De plus, on a présumé que la valeur des pièces de rechange du système de combat était la même que celle des pièces de rechange des autres systèmes même si la période couverte était différente. On a jugé cette hypothèse raisonnable puisque, comme l'a déjà mentionné le rapport, les systèmes de combat sont beaucoup plus dispendieux que les autres systèmes d'un navire. Voici les calculs pour déterminer le coût des pièces de rechange pour deux ans (approvisionnement initial) :

1. Diviser 1 G\$ en deux pour obtenir la valeur des pièces de rechange du système de combat et celle des autres systèmes.  $1 \text{ G}\$/2 = 500 \text{ M}\$$ .

2. Comme les 500 M\$ sont répartis sur 10 ans, diviser ce montant par cinq afin d'obtenir la valeur pour deux ans. Ainsi,  $500 \text{ M\$} / 5 = 100 \text{ M\$}$  pour les pièces de rechange des 12 FCP pour une période de deux ans.
3. Afin d'obtenir, pour chaque navire, le coût des pièces de rechange pour une période de deux ans, diviser le montant par 12.  $100 \text{ M\$} / 12 = 8,3 \text{ M\$}$ .
4. Afin d'obtenir le coût des pièces de rechange des autres systèmes pour une période de deux ans, diviser 500 M\$ par 15.  $500 \text{ M\$} / 15 = 33,3 \text{ M\$}$  pour les 12 navires.
5. Afin d'obtenir, pour chaque navire, la valeur des pièces de rechange des autres systèmes pour une période de deux ans, diviser le montant par 12.  $33,3 \text{ M\$} / 12 = 2,8 \text{ M\$}$
6. Additionner les deux valeurs pour obtenir le coût global des pièces de rechange pour deux ans.  $8,3 \text{ M\$} + 2,8 \text{ M\$} = 11,1 \text{ M\$}$ .

Pour obtenir le coût des pièces de rechange au-delà des deux ans, il suffit de diviser le montant initial de 1 G\$ par 12 et de soustraire le total des deux ans (11,1 M\$) au résultat.

$(1\ 000 \text{ M\$} / 12) - 11,1 \text{ M\$} = 72,2 \text{ M\$}$  pour le coût des pièces de rechange pour chaque FCP au-delà des deux ans.

Le coût des pièces de rechange pour deux ans et celui pour les années subséquentes ont été intégrés au modèle dans TruePlanning comme deux objets de coûts différents afin de faciliter la comparaison des coûts de construction des navires avec ceux d'autres pays au moyen de la norme de l'OTAN.

Le coût, par navire, des munitions a été calculé en divisant le coût global des munitions ci-dessus (253 M\$) par 12, ce qui donne 21,1 M\$ par navire. Les munitions ne font pas partie des coûts barre en mains<sup>104</sup> et elles ont été intégrées au modèle dans TruePlanning comme objet de coût distinct.

Les quatre derniers postes gouvernementaux (la gestion de projet, les installations, la formation et la documentation) ont été inscrits au modèle dans quatre objets de marchandises acquises distincts. Le coût pour ces postes est tiré du même tableau qui a été utilisé pour l'EFG, les pièces de rechange et les munitions (page 46 du rapport d'achèvement du projet).

Comme les coûts étaient en « dollars courants »<sup>105</sup>, la date d'acquisition consignée dans le modèle s'appuie sur une estimation de la médiane pour la période au cours de laquelle on pense que la marchandise a été acquise.

Les installations et la documentation étaient considérées comme des acquisitions uniques puisqu'on présumait qu'ils n'engendraient pas de coûts récurrents pour chaque navire. Les installations s'élevaient à 69,6 M\$ et la documentation à 32,9 M\$.

La formation et la gestion du programme gouvernemental ont toutes les deux été divisées selon les coûts fixes et les coûts variables. En ce qui concerne la formation, les coûts fixes se rapportaient aux efforts en vue de créer le matériel didactique et les coûts variables se rapportaient aux efforts afin de former chaque membre de l'équipage. Pour ce qui est de la gestion du programme gouvernemental, les coûts fixes concernaient les plans et le début de la production et les coûts variables concernaient la gestion du programme requise pour la construction de chaque navire.

Faute de données pour séparer les coûts fixes des coûts variables, il a été décidé de tout simplement diviser les coûts totaux de chaque poste en deux; la moitié de ces coûts a été attribué aux coûts fixes et l'autre moitié a été divisée en 12. Pour la formation, 54,5 M\$ ont ainsi été attribués aux coûts fixes et 4,5 M\$ aux coûts variables de chaque navire. Quant à la gestion du programme gouvernemental, ce sont 191 M\$ qui ont été attribués aux coûts fixes et 15,9 M\$ aux coûts variables de chaque navire.

Quand toutes les données précédentes ont été entrées dans le modèle, le modèle était conforme aux coûts (les coûts de la main-d'œuvre et du matériel) et aux échéanciers de conception et de production du programme des FCP pour les neuf navires construits au Nouveau-Brunswick. Une fois le modèle de FCP élaboré dans TruePlanning, il a été possible de faire la modélisation du programme des NCC. Le processus est examiné dans la section suivante.

## B.2 Modélisation des NCC dans TruePlanning

Après la création du modèle de FCP dans TruePlanning, il fallait modifier les paramètres qui différaient pour les NCC. C'est-à-dire :

1. Modifier le poids de chaque OTP pour tenir compte des NCC qui sont des navires plus lourds.
2. Modifier le nombre de navires à construire.
3. Modifier les dates relatives au programme comme le début de la conception et de la production ainsi que les dates des activités gouvernementales telles que la formation, les pièces de rechange, les installations et la documentation.
4. Modifier certaines courbes d'apprentissage.
5. Actualiser les salaires pour qu'ils tiennent compte des taux salariaux actuels.
6. Saisir le taux d'inflation s'appliquant à chaque objet de coûts.
7. Modifier le taux de la taxe.
8. Actualiser le coût des pièces de rechange pour le système de combat et les autres systèmes.

## 9. Saisir le coût des missiles.

Ce rapport s'intéressera, tour à tour, à chaque élément ci-dessus.

Le poids lège choisi pour les NCC était celui des FREMM italiennes (tableau 2-1), soit 5 400 tonnes longues. Le but n'était pas de recommander cette classe de navire. Il a été choisi uniquement pour reproduire le poids d'un navire existant plus léger que les navires de type 26, les navires de la classe Arleigh Burke et le modèle de 2014 du MDN (poids lège de 5 654 tonnes), mais plus lourd que les FREMM françaises, les F100, les navires de la classe Iver Huitfeldt et les F125/125. Ce poids lège sert seulement de point de référence. La section sur les résultats présente les coûts associés aux navires pesant entre 4 000 et 7 000 tonnes longues.

Le nombre de navires par défaut qui a été saisi dans le logiciel est 15 afin de représenter les 12 frégates de la classe Halifax et les trois destroyers de la classe Iroquois.

En ce qui a trait aux dates du programme, le début de la conception a été fixé pour le milieu de 2018 et sa fin pour le milieu de 2023. Le début de la production a été fixé pour le milieu de 2021, et la livraison du 15<sup>e</sup> navire est prévue pour 2041. Quant à la construction des installations et à l'élaboration des documents, on prévoit qu'elles commenceront en 2021 et se termineront en 2025.

La gestion du programme gouvernemental a été divisée en deux volets : la conception (2018-2025, dépenses les plus importantes) et la production (2021-2041). L'acquisition des pièces de rechange et des munitions est prévue deux ans avant la mise en service de chaque navire (2025-2039). L'élaboration du programme de formation devrait avoir lieu entre 2023 et 2025; la prestation de la formation commencera en 2025 et prendra fin lorsque le dernier navire sera prêt, soit en 2041.

Quand on entreprend pour la première fois la construction d'une classe modifiée de navires, on devrait commencer le deuxième navire de deux à trois ans après le début de la construction du premier. La construction du troisième devrait commencer d'un à deux ans après le deuxième et, à partir du quatrième navire, on peut commencer un navire chaque année.

Si on échelonne la construction des trois premiers navires, c'est pour avoir la possibilité de régler les problèmes qui surgiront lors de la construction d'un modèle modifié avant de commencer le deuxième et le troisième navire. On prévoit qu'il faudra six ans pour construire le premier navire. Or, à partir du quatrième ou du cinquième navire, la construction devrait durer quatre ans.<sup>106</sup>

Comme le rapport l'a déjà indiqué, la courbe d'apprentissage globale pour les FCP était de 73 %, et une courbe d'apprentissage habituelle pour les navires de combat de surface se situe entre 80 % et 85 %. De plus, les valeurs

pour les courbes d'apprentissage de la main-d'œuvre et du matériel ont été inscrites à chaque objet de coûts du modèle de FCP dans TruePlanning.

Comme le chantier naval d'Halifax, où seront construits les NCC, aura déjà de l'expérience grâce à la construction des navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique (NPEA), toutes les valeurs de la courbe d'apprentissage inférieures à 80 % ont été augmentées à 80 % pour illustrer cette expérience.

En outre, on a diminué l'indice du procédé de fabrication (IPF) pour l'objet de coûts s'il était trop élevé pour cette nouvelle valeur de courbe d'apprentissage. La diminution de l'IPF entraîne la baisse des coûts pour le premier élément construit, ce qui réduit, par le fait même, le coût global de production.

Ensuite, ce sont les taux salariaux du modèle qui ont été modifiés pour refléter ceux en vigueur au chantier naval d'Halifax. Le DPB a trouvé, sur internet, une copie de la convention collective du chantier naval d'Halifax et s'en est servi pour actualiser les taux salariaux dans TruePlanning.<sup>107</sup>

Comme les taux salariaux du chantier naval ne s'appliquaient qu'à la construction des navires et non au système de combat, ils n'ont servi qu'à modifier les taux salariaux pour la construction navale. Les taux salariaux de la convention collective étaient ceux des ressources équivalant, dans TruePlanning, aux transformateurs/monteurs. À l'instar du modèle de FCP, tous les autres taux salariaux ont ensuite été modifiés dans TruePlanning pour préserver le rapport entre ces taux et celui des transformateurs/monteurs.

Toujours dans la logique du programme des FCP, on a supposé que les ressources responsables du système de combat des NCC auraient un salaire supérieur. Ainsi, un ingénieur de conception travaillant pour le chantier naval a un salaire inférieur à un ingénieur de conception travaillant pour l'intégrateur du système de combat. Le système de combat sera obtenu à l'étranger. Ainsi, on a décidé que les taux salariaux inscrits dans TruePlanning illustreront mieux cette dynamique.

Le sixième élément à modifier dans le modèle était les taux d'inflation/d'indexation entre le programme des FCP et celui des NCC et pendant la construction des NCC. Entre les programmes des FCP et des NCC et pendant le programme des NCC, c'est le taux d'inflation du PIB, auquel on ajoute 1,2 %, qui a été appliqué pour les phases d'élaboration et de production des navires, ce qui cadre avec les observations, examinées dans le présent rapport, du DPB.<sup>108</sup>

On a appliqué seulement l'inflation du PIB à toutes les fonctions gouvernementales comme les installations, la formation, la documentation et la gestion du programme. Enfin, la sous-section sur le système de combat a indiqué que le système de combat avait subi une inflation de 6,5 % entre le premier FCP et le début de la production du premier NCC. Après le début de

la production, le taux d'inflation pour le système de combat s'établissait au taux d'inflation du PIB plus 1,2 % (voir la section 2.4 et l'annexe A).

Puis, il a fallu modifier le taux de la taxe. Le taux réel de la taxe s'appliquant au modèle du programme des FCP était de 6,1 %. Ce taux a été modifié à 15 %, soit le taux actuel de la TVH en Nouvelle-Écosse.<sup>109</sup>

L'avant-dernier élément qu'il fallait modifier dans le modèle de NCC était le coût des pièces de rechange pour le système de combat. Comme la valeur du système de combat augmente plus rapidement que le reste des composantes d'un navire, on ne peut appliquer le taux d'inflation du PIB plus 1,2 % à ses pièces de rechange. On a donc conservé le ratio des FCP, soit le ratio du coût des pièces de rechange du système de combat par rapport au coût total de l'équipement COTS du système de combat.

Pour des raisons d'uniformité, le ratio des FCP s'appliquant aux pièces de rechange des autres systèmes a aussi été conservé. Ainsi, les coûts des pièces de rechange pour une période de deux ans s'élèvent à 54,7 M\$ par navire (47,7 M\$ pour le système de combat et 7 M\$ pour les autres systèmes). Pour les pièces de rechange au-delà des deux ans (jusqu'à 10 ans pour le système de combat et 30 ans pour les autres systèmes), les coûts s'élèvent à 290 M\$, en dollars de 2017, par navire (191 M\$ pour le système de combat et 98,6 M\$ pour les autres systèmes).

Les coûts relatifs aux munitions ont été le dernier élément modifié du modèle de NCC. Selon la section 2.7, si on présume que les navires seront munis d'un VLS Mk 41 à 24 silos, le coût du missile serait de 80 M\$. À la lumière de discussions avec le MDN, un VLS Mk 41 à 24 silos est l'équivalent d'un système SYLVER à 36 silos, car le système SYLVER n'a pas de missiles quadruples (voir la section 2.7). Ainsi, le coût de chargement des missiles de chaque système est assez semblable pour que le même coût soit utilisé.

Étant donné que le système SYLVER ne prend actuellement pas en charge les missiles ESSM, seul le coût des missiles SM-2 MR a été déduit des 80 M\$ (80 M\$ - 211 M\$/15) pour un total de 66 millions par navire. Ce montant ne tient pas compte des coûts pour les pièces de rechange.

Évidemment, de nombreux paramètres ont été laissés tels quels quand le modèle a été modifié pour obtenir une estimation de coût pour les NCC. Il convient toutefois de noter que les efforts d'élaboration du logiciel ont été laissés tels quels. Ils n'ont été ni augmentés ni diminués.

Même si les NCC ainsi que leur système de combat se fondent sur un modèle existant, on a estimé que certaines des modifications qui auraient été apportées au modèle auraient touché les systèmes de missions de combat. Il aurait ainsi fallu modifier le logiciel. Or, on était d'avis que le logiciel des FCP, qui est plutôt petit comparativement aux systèmes de combat modernes, représenterait à peu près les modifications requises.

## Annexe C : Première estimation heuristique

---

Cette méthode s'appuyait sur les heuristiques utilisées par la RAND Corporation pour produire son rapport intitulé *Why Has the Cost of Navy Ships Risen?* Nous avons analysé en détail ce rapport ainsi que ses conclusions et heuristiques dans la section 2.4, ainsi la présente annexe n'explique que les heuristiques utilisées pour établir les coûts des NCC.

En tout, ce sont quatre heuristiques et une conclusion du rapport qui ont été utilisées en combinaison avec une conclusion du Congressional Budget Office (CBO) et une conclusion du DPB pour générer cette autre estimation de coûts. Nous analysons chaque élément ci-dessous.

1. Le rapport conclut que des comparaisons plus justes peuvent être faites si on utilise les coûts du neuvième navire. En règle générale, au moment de la construction du neuvième navire, le chantier naval a passé la section la plus abrupte de la courbe d'apprentissage et toute amélioration supplémentaire de coût sera beaucoup plus petite. La comparaison des neuvièmes navires est donc plus juste, car les deux chantiers navals ont atteint leurs coûts minimaux.
2. La première heuristique indique que 2 % de la hausse annuelle des coûts des navires sont attribuables à la hausse des capacités non manifestes comme la surviabilité, le délai de réaction, la fiabilité et la maintenabilité, l'endurance, l'habitabilité, la signature radar et sonore et la réglementation. Cette hausse de coût se produit dans la période entre la livraison des premiers navires. La livraison provisoire de la première FCP a eu lieu en 1991 et, aux fins de la présente estimation, on estime que le premier NCC sera livré en 2017. Les données du rapport n'allaient que jusqu'en 2004 et nous ignorons si cette augmentation s'est poursuivie par la suite. Afin de rester prudents dans notre analyse, nous avons appliqué le taux d'inflation de 2 % pour la période de 1991 à 2004 seulement.
3. C'est ici qu'intervient l'heuristique du DPB. Comme il faut comparer le coût des neuvièmes navires tout en augmentant les coûts entre chaque livraison des premiers navires, il faut donc diminuer le coût de la livraison du neuvième navire pour que sa valeur corresponde à l'année de livraison du premier navire. Et c'est ici que l'inflation intra-programme du DPB – soit l'inflation du PIB auquel on ajoute 1,2 % – est appliquée. Ainsi, le coût de la neuvième FCP du chantier naval de St. John, livrée en 1996, a dû être baissée à la valeur de 1991. Pour ce faire, un taux de 3,2 % a été utilisé.

4. La deuxième heuristique indique que le coût d'un navire augmente de manière linéaire en fonction de la hausse du poids lège. En d'autres mots, si le poids lège double, les coûts doubleront aussi.
5. La troisième heuristique a le même effet que la précédente, mais se rapporte à la densité de puissance. Comme nous l'avons déjà mentionné, la densité de puissance s'exprime en kilowatts/tonne et est un indicateur de la complexité croissante des systèmes de combat. Au fur et à mesure que se modernisent les radars, les capteurs et les systèmes d'arme, plus augmentent les besoins en électricité d'un navire. Si la production énergétique par tonne double, les coûts doublent aussi. Notons que si le poids lège et la densité de puissance devaient tous les deux doubler, les coûts quadrupleraient.
6. La quatrième heuristique consiste en l'application du taux d'inflation du PIB, auquel on ajoute 0,4 %, au coût des navires entre les programmes. Dans le cas qui nous occupe, l'inflation serait appliquée de 1991 à 2017.
7. Enfin, il faut tenir compte de la différence entre les taxes de chaque programme, une exigence du DPB. Le taux réel de la taxe pour le programme des FCP était de 6,1 % et la TVH de la Nouvelle-Écosse s'établit actuellement à 15 %. La différence entre les deux taxes est de 8,9 %. Les coûts doivent donc être multipliés par 1,089 pour tenir compte de cette différence.



## Annexe D : Deuxième estimation heuristique

Comme nous l'avons mentionné dans ce rapport, cette méthode s'appuie sur une idée tirée du chapitre 5 du rapport de la RAND Corporation intitulé *Australia's Naval Shipbuilding Enterprise* qui applique le concept de « référenciation ». Le DPB est parti de la différence entre les taux de main-d'œuvre des États-Unis et du Canada pour convertir les coûts de construction navale aux États-Unis en coûts pour le Canada.

La méthode est présentée dans son intégralité ci-dessous.

1. À l'instar de la méthode précédente de la RAND Corporation, il est nécessaire d'utiliser les coûts du neuvième navire. Nous avons, dans le présent cas, utilisé l'estimation de coûts faite pour le neuvième navire de la classe Arleigh Burke construit au chantier naval d'Huntington Ingalls. Cette estimation se basait sur la relance de la production des Flight IIA avec un contrat accordé lors de EF2010 (DDG 113 – premier navire de la relance) et lors de EF2014 (DDG 119 – quatrième navire de la relance du chantier naval).<sup>110</sup> Un seul contrat a été accordé pour chacune de ces années et chaque contrat a été octroyé au chantier naval d'Huntington Ingalls. Les coûts du DDG 113 ont été convertis en valeurs de EF2014 au moyen du taux d'inflation intra-programme du DPB auquel on ajoute 1,2 %, soit 3,2 %. Puis, on a appliqué une courbe d'apprentissage à ces deux points afin d'en tirer une estimation de coûts pour le neuvième navire. C'est ainsi qu'on a obtenu le coût du neuvième navire pour EF2014.
2. Étant donné que la comparaison de coûts a lieu en 2017, on applique le taux d'inflation intra-programme de 3,2 % à l'estimation de coût du neuvième navire de 2014 à 2017.
3. Ensuite, on a converti les coûts du navire en dollars canadiens en appliquant un taux de change de 1,33.
4. À partir de la méthode précédente, réduire les coûts du Arleigh Burke en fonction du poids du NCC hypothétique. Le poids lège du Flight IIA de la classe Arleigh Burke est de 7 190 tonnes et celui du NCC hypothétique de 5 400 tonnes. Il faut donc multiplier le montant obtenu à l'étape 3 par  $5\,400/7\,190$  ou 0,75.
5. Puis, il faut tenir compte de la différence des coûts de main-d'œuvre entre les États-Unis et le Canada. Pour y parvenir, on a comparé les coûts pour le travail de soudeur entre les deux pays. Selon le US Bureau of Labor Statistics, le salaire horaire moyen d'un soudeur (plus particulièrement pour le code SOC 514120 – soudage et brasage pour la construction de bateaux et de navires) en mai 2016 était de

22,36 \$ US<sup>111</sup>. Le salaire d'un soudeur au chantier naval d'Halifax en 2016 était de 33,79 \$ CA<sup>112</sup>. Pour un taux de change de 1,33, les soudeurs du chantier naval d'Halifax ont un salaire supérieur de 13,6 % à leurs homologues américains ( $33,79 / (22,36 \times 1,33)$ ). Si le dollar canadien perd de sa valeur par rapport au dollar américain, ce supplément salarial diminuera également. Inversement, ce supplément augmentera si le dollar canadien gagne de la valeur.

6. On a déterminé, à partir du modèle paramétrique du DPB pour le NCC, que 31,4 % des coûts du neuvième navire sont attribuables à la main-d'œuvre. Ceci étant dit, il faut augmenter ce pourcentage par 13,6 % pour tenir compte de la différence dans les coûts de la main-d'œuvre. En ajoutant ce montant aux 68,6 % des coûts restant on obtient le coût total du navire.

La méthode ci-dessus repose sur deux hypothèses. D'abord, elle présume que l'efficacité de la main-d'œuvre est la même dans le chantier naval américain et celui canadien. Cette hypothèse n'est pas déraisonnable si on prend en considération que le chantier naval aura, avant ce projet, construit neuf NCC ainsi que les NPEA.

Ensuite, en réduisant les coûts du Arleigh Burke seulement en fonction du poids, elle présume que la densité électrique, décrite dans la méthode précédente, est la même. On juge cette hypothèse raisonnable, car les NCC seront munis d'un système de combat moderne et la comparaison a été faite avec le Flight IIA de la classe Arleigh Burke et non avec le plus récent Flight III<sup>113</sup>.

## Références

- Arena, M. V., Blickstein, I., Younossi, O., et Grammich, C. *Why Has The Cost of Navy Ships Risen?* (p. 122). Santa Monica, Californie, RAND Corporation, 2006.
- Birkler, J., Schank, J. F., Arena, M. V., Keating, E. G., et coll. *Australia's Naval Shipbuilding Enterprise* (p. 294). Santa Monica, California, RAND Corporation, 2015.
- Carosielli, L., Captain. *CSC Project Overview*, 2014.
- Chef - Service d'examen. *Frégate canadienne de patrouille comparaison des coûts et des capacités* (Défense nationale, Trans.), 1999.
- Congressional Budget Office. *An Analysis of the Navy's Fiscal Year 2017 Shipbuilding Plans*, Congressional Budget Office, 2017.
- Davies, A., Ergas, H., et Thomson, M. *Should Australia build warships?* (p. 28), Australian Strategic Policy Institute, 2012.
- DCNS. *SYLVER - Multimissile vertical launcher*. Paris, France, 2014.
- Defense Security Cooperation Agency. *Cost of Foreign Military Sales Reduced*, 2014. Consulté le 22 avril 2017 : <http://www.dsca.mil/news-media/news-archive/cost-foreign-military-sales-reduced>.
- Department of the Navy. *Highlights of the Department of the Navy FY 1997 Budget*, 1996.
- Department of the Navy. *Weapons Procurement*, Navy, 2007
- Department of the Navy. *Shipbuilding and Conversion, Navy Department of Defense Fiscal Year (FY) 2017 President's Budget Submission*, 2016a.
- Department of the Navy. *Weapons Procurement*, Navy, 2016b.
- Gouvernement du Canada. *Canadian Surface Combatant Procurement Process Update to Industry*, 2016a. Présentation.
- Gouvernement du Canada. (2016b). *Le gouvernement annonce l'adoption d'une approche d'approvisionnement simplifiée pour devancer la livraison des navires de combat canadiens*, 2016b. Consulté le 6 avril 2017 : <http://news.gc.ca/web/article-en.do?nid=1083659>.
- Halifax Shipyard Collective Agreement 2012-2017, 2013. Consulté le 27 avril 2017 : [http://uniformwf1.ca/resources/Shipyard/Coll\\_Agreem/Pdf/2012-2017%20C%20of%20A%20Local%201.pdf](http://uniformwf1.ca/resources/Shipyard/Coll_Agreem/Pdf/2012-2017%20C%20of%20A%20Local%201.pdf).
- Examen interministériel du projet frégates canadiennes de patrouille. *Rapport sur le cadre de gestion des contrats* (MDN/TPSGC, Trans.), 1999.
- Makarenko, J. *The Goods and Services Tax: Overview & History*, 2007. Consulté le 24 avril 2017 : <http://www.mapleleafweb.com/features/goods-and-services-tax-overview-history.html>.
- Mislick, G. K., et Nussbaum, D. A. *Cost Estimation*. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Son Inc., 2015.
- Défense nationale. *Canadian Patrol Frigate Project Completion Report*, 2005.

Défense nationale. *La stratégie nationale d'approvisionnement en matière de construction navale du ministère de la Défense nationale et du gouvernement du Canada*, 2010. Consulté le 6 février 2015 : [http://nouvelles.gc.ca/web/article-fr.do?m=/index&nid=537419&\\_ga=2.113445767.1483753018.1495543274-547033780.1495467329](http://nouvelles.gc.ca/web/article-fr.do?m=/index&nid=537419&_ga=2.113445767.1483753018.1495543274-547033780.1495467329).

Défense nationale et les Forces armées canadiennes. Navire de combat canadien, 2017. Consulté le 6 avril 2017 : <http://www.forces.gc.ca/fr/faire-affaires-equipement/navire-combat-surface-canadien.page>.

*Loi sur le Parlement du Canada*, 79.1 C.F.R., 2007.

Prime Contractors for CPF Program. CPF Cost Performance Report for period ending 1994-02-28, 1994.

Services publics et approvisionnement Canada. *Projets de construction navale visant à équiper la Marine royale canadienne et la Garde côtière canadienne*, 2016, <http://www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/app-acq/amd-dp/mer-sea/sncn-nss/rapport-report-20151231-3-fra.html>.

Schank, J. F., Arena, M. V., Kamarck, K. N., Lee, G. T., Birkler, J., Murphy, R. E., et Lough, R. *Keeping Major Naval Ship Acquisitions On Course* (p. 224). Santa Monica, Californie, RAND Corporation, 2014.

Schank, J. F., Savitz, S., Munson, K., Perkinson, B., McGee, J., et Sollinger, J. *Designing Adaptable Ships Research Reports* (pp. 166). Santa Monica, Californie, RAND Corporation, 2016.

United States Department of Labor Statistics. *Occupational Employment Statistics Query System*, 2017. Consulté le 29 avril 2017 : <https://data.bls.gov/oes/#/home>.

Wikipedia. AGM-158C LRASM, 2017a. Consulté le 22 avril 2017 : [https://en.wikipedia.org/wiki/AGM-158C\\_LRASM](https://en.wikipedia.org/wiki/AGM-158C_LRASM).

Wikipedia. Alvaro de Bazan-class frigate, 2017b. Consulté le 10 avril 2017 : [http://en.wikipedia.org/wiki/Spanish\\_frigate\\_Crist%C3%B3bal\\_Col%C3%B3n\\_\(F105\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Spanish_frigate_Crist%C3%B3bal_Col%C3%B3n_(F105)).

Wikipedia. Arleigh Burke-class destroyer, 2017c. Consulté le 21 avril 2017 : [https://en.wikipedia.org/wiki/Arleigh\\_Burke-class\\_destroyer](https://en.wikipedia.org/wiki/Arleigh_Burke-class_destroyer).

Wikipedia. Crotale (missile), 2017d. Consulté le 29 avril 2017 : [https://en.wikipedia.org/wiki/Crotale\\_\(missile\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Crotale_(missile)).

Wikipedia. Destroyer, 2017e. Consulté le 17 février 2015 : <http://en.wikipedia.org/wiki/Destroyer>.

Wikipedia. FREMM multipurpose frigate, 2017f. Consulté le 30 avril 2017 : [https://en.wikipedia.org/wiki/FREMM\\_multipurpose\\_frigate](https://en.wikipedia.org/wiki/FREMM_multipurpose_frigate).

Wikipedia. Frigate, 2017g. Consulté le 10 avril 2017 : <http://en.wikipedia.org/wiki/Frigate>.

Wikipedia. Global Combat Ship, 2017h. Consulté le 11 avril 2017 : [https://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_Combat\\_Ship](https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Combat_Ship).

Wikipedia. Taxes sur les produits et services (Canada) 2017i. Consulté le 29 avril 2017 : [https://en.wikipedia.org/wiki/Goods\\_and\\_services\\_tax\\_\(Canada\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Goods_and_services_tax_(Canada)).

Wikipedia. Halifax-class frigate, 2017j. Consulté le 6 avril 2017 : [https://en.wikipedia.org/wiki/Halifax-class\\_frigate](https://en.wikipedia.org/wiki/Halifax-class_frigate).

Wikipedia. Harpoon (missile), 2017k. Consulté le 21 avril 2017 :  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Harpoon\\_\(missile\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Harpoon_(missile)).

Wikipedia. HMCS Huron (DDG 281), 2017l. Consulté le 5 avril 2017 :  
[https://en.wikipedia.org/wiki/HMCS\\_Huron\\_\(DDG\\_281\)](https://en.wikipedia.org/wiki/HMCS_Huron_(DDG_281)).

Wikipedia. Hobart-class destroyer, 2017m. Consulté le 10 avril 2017 :  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Hobart-class\\_destroyer](http://en.wikipedia.org/wiki/Hobart-class_destroyer).

Wikipedia. Iroquois-class destroyer, 2017n. Consulté le 5 avril 2017 :  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Iroquois-class\\_destroyer](https://en.wikipedia.org/wiki/Iroquois-class_destroyer).

Wikipedia. RIM-66 Standard, 2017o. Consulté le 21 avril 2017 :  
[https://en.wikipedia.org/wiki/RIM-66\\_Standard](https://en.wikipedia.org/wiki/RIM-66_Standard).

Wikipedia. RIM-162 ESSM, 2017p. Consulté le 21 avril 2017 :  
[https://en.wikipedia.org/wiki/RIM-162\\_ESSM](https://en.wikipedia.org/wiki/RIM-162_ESSM).

Wikipedia. Taxes sur les ventes au Canada, 2017q. Consulté le 24 avril 2017 :  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Sales\\_taxes\\_in\\_Canada](https://en.wikipedia.org/wiki/Sales_taxes_in_Canada).

Wikipedia. AN/SPY-6, 2017r. Consulté le 29 avril 2017 :  
<https://en.wikipedia.org/wiki/AN/SPY-6>.

# Notes

---

1. Défense nationale (2010).
2. Services publics et Approvisionnement Canada (2016).
3. *Ibid.* Défense nationale et Forces armées canadiennes (2017). Au départ, quatre destroyers ont été construits au début des années 1970, mais l'un d'eux a été mis en réserve en 2000, puis mis hors service en 2005. Wikipedia (2017i). Deux autres destroyers ont été mis hors service à l'automne 2014 et le dernier l'a été en mars 2017. Wikipedia (2017n).
4. Le terme « classe » désigne tous les navires dont les caractéristiques sont « essentiellement » les mêmes. On apporte souvent des modifications à la coque (habituellement à la longueur) et aux systèmes d'un navire, mais celui-ci conserve néanmoins ce nom de classe. Le nom donné à une classe de navires est celui du premier navire construit qui présente ces caractéristiques.
5. Défense nationale et Forces armées canadiennes (2017); Services publics et Approvisionnement Canada (2016).
6. Gouvernement du Canada (2016b).
7. Défense nationale et Forces armées canadiennes (2017).
8. Consulter Arena, Blickstein, Younossi et Grammich (2006).
9. Schank, Arena, Kamarck, Lee, Birkler, Murphy et Lough (2014, p. 3).
10. *Loi sur le Parlement du Canada* (2007); Arena, Blickstein, Younossi et Grammich (2006).
11. Défense nationale (2010).
12. Services publics et Approvisionnement Canada (2016).
13. Voir la note 3 plus haut.
14. Voir la note 4 plus haut.
15. Wikipedia (2017n).
16. Défense nationale et Forces armées canadiennes (2017); Services publics et Approvisionnement Canada (2016).
17. Défense nationale et Forces armées canadiennes (2017).
18. *Ibid.*
19. Wikipedia (2017j).
20. *Ibid.*
21. Wikipedia (2017n).

22. Wikipedia (2017j).
23. Carosielli (2014).
24. Gouvernement du Canada (2016b).
25. Wikipedia (2017g); Wikipedia (2017e).
26. Wikipedia (2017b).
27. Wikipedia (2017m); Wikipedia (2017b).
28. Le poids lège fait référence au déplacement du navire sans carburant ni équipage, provisions ou munitions.
29. Le système de combat Aegis peut être muni d'un radar PESA ou EASA, selon la version du système.
30. Gouvernement du Canada (2016b).
31. Gouvernement du Canada (2016a).
32. Le poids lège est une variable importante du calcul du coût de construction d'un navire, comme nous l'expliquerons dans la section traitant des méthodes d'estimation.
33. Gouvernement du Canada (2016a) : pages Wikipedia de chacun des navires et calculs du DPB. Pour convertir les poids en charge en poids légers, on a multiplié les poids en charge par 0,82, soit le coefficient applicable aux FCP, pour lesquelles le DPB disposait de données réelles.
34. Wikipedia (2017h).
35. Calcul du DPB d'après Birkler, Schank, Arena, Keating et coll. (2015).
36. Schank, Savitz, Munson, Perkinson, McGee et Sollinger (2016, p. 19).
37. *Ibid.*
38. Arena, Blickstein, Younossi et Grammich (2006).
39. Congressional Budget Office (2017).
40. Calcul du DPB d'après le tableau CANSIM 380-0064, « Produit intérieur brut, en termes de dépenses », de Statistiques Canada.
41. Arena, Blickstein, Younossi et Grammich (2006, p. 30).
42. *Ibid.*, p. 33.
43. Dans le présent rapport, le système de combat comprend à la fois les fonctions de commandement et de surveillance (radar, autres capteurs tels que des capteurs ASM, communications) et la capacité d'actionner les divers systèmes de combat (défensifs et offensifs). Il exclut toutefois les armes elles-mêmes, qui font partie de l'armement.
44. En prenant en considération uniquement les neuf FCP construites au chantier de St. John, le DPB a estimé que le coût moyen d'une frégate s'élevait à 457 M\$ en dollars courants, bénéfices, taxes et pièces de rechange pour deux ans compris, mais munitions en sus. Le coût moyen du système de combat (appelé « système de commandement et de surveillance » sur les frégates) était estimé à 160 M\$, main-d'œuvre et achat d'équipement et de matériel compris.

45. L'équipement fourni par le gouvernement est celui qui, en raison des restrictions relatives à la vente de matériel militaire à l'étranger, ne peut être vendu que par un gouvernement à un autre et qui ne peut être vendu directement au constructeur du navire et à l'intégrateur système. La plupart des composantes du système de combat entrent dans cette catégorie.
46. Mislick et Nussbaum (2015).
47. Consulter Arena, Blickstein, Younossi et Grammich (2006). Ces auteurs ont effectué une analyse de régression selon laquelle le coût des navires se stabilise au neuvième navire.
48. Calcul du DPB effectué à l'aide des données d'un rapport sur l'évolution des coûts des FCP (consulter la liste des entrepreneurs principaux du programme des FCP [1994]).
49. Défense nationale (2005).
50. Birkler, Schank, Arena, Keating et coll. (2015).
51. Wikipedia (2017p).
52. Le prix des missiles ESSM (1,43 M\$) est indiqué dans Department of the Navy (2016b). On a appliqué un taux de change de 1,33 pour convertir ce montant en dollars canadiens. On présume que le supplément de 4,7 % pour la vente de matériel militaire à l'étranger s'appliquera également. Consulter Defense Security Cooperation Agency (2014).
53. Department of the Navy (2016b).
54. Wikipedia (2017p).
55. Wikipedia (2017o).
56. *Ibid.*
57. Wikipedia (2017c).
58. Le DPB a estimé ce coût en s'appuyant sur celui indiqué dans le budget de la marine américaine de EF2008 (2,13 M\$) auquel il a appliqué un taux d'inflation de 2,0 % par année jusqu'à 2017. Il a ensuite converti le montant obtenu en dollars canadiens au taux de change de 1,33, puis il a multiplié le résultat par 1,047 pour tenir compte des frais supplémentaires pour vente de matériel militaire des États-Unis à l'étranger (se reporter à la note 52). Consulter Department of the Navy (2007).
59. Wikipedia (2017k).
60. Le DPB a estimé ce coût en s'appuyant sur celui indiqué dans le budget de la marine américaine de EF1996 (1,1 M\$ US) auquel il a appliqué un taux d'inflation de 2,0 % par année jusqu'à EF2017. Il a ensuite converti le montant obtenu en dollars canadiens au taux de change de 1,33, puis il a multiplié le résultat par 1,047 pour tenir compte des frais supplémentaires pour vente de matériel militaire des États-Unis à l'étranger (se reporter à la note 52). Le DPB a dû utiliser des données datant du milieu des années 1990 parce que la marine américaine ne semble pas avoir acheté de missiles Harpoon depuis. Consulter Department of the Navy (1996).
61. Wikipedia (2017a).



62. Il est inscrit dans le budget d'approvisionnement de la marine américaine de EF2017 que les missiles Tomahawk coûtent 1,5 M\$ US chacun (consulter Department of the Navy [2016b]). Si l'on multiplie ce montant par 1,047 pour les frais supplémentaires pour vente de matériel militaire des États-Unis à l'étranger (se reporter à la note 52) et par le taux de change de 1,33, on obtient un total de 2,1 M\$ CA.
63. Les missiles SM-6 coûtent 1,5 M\$ US chacun à EF2017. Il faut multiplier ce montant par 1,33 pour le taux de change et par 1,047 pour les frais supplémentaires pour vente de matériel militaire des États-Unis à l'étranger. Se reporter à la note 52 et à la référence mentionnée dans la note précédente.
64. DCNS (2014).
65. Wikipedia (2017d) et DCNS (2014).
66. Défense nationale (2005, p. 22).
67. Wikipedia (2017m).
68. *Ibid.*
69. *Ibid.*
70. *Ibid.*
71. Défense nationale et Forces armées canadiennes (2017).
72. Wikipedia (2017m).
73. Communications personnelles du DPB et *ibid.*
74. L'analyse fournie ici est fondée sur une analyse antérieure réalisée par l'Australian Strategic Policy Institute. Consulter Davies, Ergas et Thomson (2012).
75. Le navire Arleigh Burke utilisé dans cet exemple est le *DDG116*, le deuxième navire de cette classe que Bath Iron Works a construit après que les États-Unis ont relancé la production des Arleigh Burke. Comme les États-Unis avaient cessé de construire ces navires, les deux chantiers chargés de leur production ont dû passer de nouveau par la courbe de croissance. La comparaison de son coût avec le coût moyen des trois premiers navires de la classe Hobart est donc valable.
76. L'estimation du coût de construction du neuvième Arleigh Burke à chaque chantier naval américain a été réalisée par le DPB à l'aide des données sur les coûts fournies dans Department of the Navy (2016a).
77. Consulter la liste des entrepreneurs principaux du programme des FPC (1994).
78. Défense nationale (2005).
79. Arena, Blickstein, Younossi et Grammich (2006).
80. Birkler, Schank, Arena, Keating et coll. (2015).
81. Les coûts en dollars de EF2017, ou dollars indexés, sont exprimés par rapport à l'argent dépensé en 2017. Tous les coûts ont été ramenés en valeur réelle de 2017 à l'aide des valeurs présentées dans le rapport. Les coûts en dollars

courants, ou dollars non indexés, ont été établis en fonction du coût de la marchandise au moment de l'achat. En raison de l'inflation, les coûts en dollars de EF2017, ou dollars indexés, sont nécessairement inférieurs à ceux en dollars d'aujourd'hui ou non indexés.

82. Toutes les données sur lesquelles se base cette analyse sont tirées de Birkler, Schank, Arena, Keating et coll. (2015) qui se sont penchés sur une situation très similaire, soit l'écart entre la fin de la construction du destroyer de la classe Hobart de l'Australie et le début de la construction des nouvelles frégates. Il convient de noter que la figure 4.4 de leur rapport indique un nombre minimal d'heures improductives d'environ 3 millions d'heures principalement attribuable à l'attrition normale (selon l'analyse des auteurs). Ces 3 millions d'heures ont été retranchées de tous les calculs du DPB, car cet aspect est déjà pris en considération dans le modèle de coûts.
83. L'estimation du DPB se base sur l'analyse précédente.
84. Souvent, dans le domaine militaire, l'acronyme « COTS » devient « MOTS ». On remplace le « C » par un « M » pour « militaire ». Le présent rapport ne fait pas cette distinction. Ainsi, le terme « COTS » est utilisé pour tout achat d'équipement, et ce, même s'il sera exclusivement utilisé à des fins militaires.
85. *Ibid.*, p. 44.
86. Wikipedia (2017f).
87. Sources du DPB.
88. Arena, Blickstein, Younossi et Grammich (2006) et Department of the Navy (2016a).
89. Department of the Navy (2016a).
90. Entrepreneurs principaux du programme des FCP (1994).
91. Défense nationale (2005).
92. L'information a été obtenue auprès du MDN.
93. Ce document peut être consulté dans les dossiers du MDN sur la FCP de Bibliothèque et Archives Canada.
94. Examen interministériel du projet des frégates canadiennes de patrouille (1999).
95. Chef - Service d'examen (1999).
96. Examen interministériel du projet des frégates canadiennes de patrouille (1999).
97. Makarenko (2007).
98. Défense nationale (2005).
99. La taxe sur les ventes des fabricants était de 13,5 %. Comme le taux réel de la taxe était de 6,1 %, cela veut dire que la TVF a été appliquée à seulement une fraction du prix total du contrat. Consulter Wikipedia (2017i).
100. Consulter Défense nationale (2005).
101. *Ibid.* p. 68.

102. Examen interministériel du projet des frégates canadiennes de patrouille (1999).
103. Chef - Service d'examen (1999).
104. Sources du DPB.
105. « Dollars courants » est un terme financier. Il signifie que les coûts en question rendent compte du montant qui est bel et bien utilisé, en tenant compte de l'inflation (synonymes : dollars historiques; dollars dépensés). Par exemple, si 1,00 \$ a été dépensé l'année dernière et 1,10 \$ cette année, le total en « dollars courants » serait de 2,10 \$. Le pendant de « dollars courants » serait « dollars constants », qui tiennent compte de l'inflation. Prenons l'exemple précédent et appliquons une inflation de 10 %. La valeur des deux années serait de 2,00 \$, car on retire 0,10 \$ du 1,10 \$ de la deuxième année pour supprimer l'inflation de 10 %.
106. Le calendrier et la durée de construction proposés dans ce paragraphe s'appuient sur l'analyse qu'a faite le DPB du calendrier pour les FCP, du calendrier pour le Arleigh Burke (consulter Department of the Navy (2016a)) et de Birkler, Schank, Arena, Keating et coll. (2015).
107. Convention collective du chantier naval d'Halifax 2012-2017 (2013).
108. Congressional Budget Office (2017).
109. Wikipedia (2017q).
110. Department of the Navy (2016a).
111. United States Department of Labor Statistics (2017).
112. Convention collective du chantier naval d'Halifax 2012-2017 (2013).
113. Le Flight III de la classe Arleigh Burke est muni d'un EABE (ensemble actif de balayage électronique), aussi connu sous le nom de RDAA (radar de défense anti-aérienne et anti-missiles), dont les besoins en électricité sont le double de ceux du Flight II A. Consulter Wikipedia (2017r) et Department of the Navy (2016a).