

OFFICE OF
THE PARLIAMENTARY BUDGET OFFICER



BUREAU DU
DIRECTEUR PARLEMENTAIRE DU BUDGET

Analyse budgétaire de l'acquisition de la classe de navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique

Ottawa, Canada
Le 28 octobre 2014
www.pbo-dpb.gc.ca

Le directeur parlementaire du budget (DPB) a pour mandat de présenter au Parlement une analyse indépendante sur l'état des finances de la nation, sur le budget des dépenses du gouvernement, ainsi que sur les tendances de l'économie nationale et, à la demande de tout comité parlementaire ou de tout parlementaire, de faire une estimation des coûts de toute proposition concernant des questions qui relèvent de la compétence du Parlement.

Le DPB s'est vu demandé par M. Jack Harris, le député de St. John's-Est, et M^{me} Joyce Murray, la députée de Vancouver Quadra, d'entreprendre une analyse de faisabilité du plan qu'a le gouvernement de produire de six à huit navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique (NPEA) pour 2,8 milliards de dollars d'ici 2024^{1,2,3}. Le présent rapport donne suite à ces demandes en offrant une estimation indépendante des coûts d'acquisition de ces navires, ainsi qu'une analyse de sensibilité visant à estimer les coûts éventuels liés aux principaux risques associés à ce projet.

Les estimations de coûts et les observations figurant dans le présent rapport constituent un ensemble de données préliminaires pour discussion et pourraient être amenées à changer au fur et à mesure que le projet avance ou que de nouvelles données sont fournies au DPB. Les estimations de coûts fournies reflètent un ensemble ponctuel d'observations fondées sur un éventail de données générales et limitées obtenues de diverses sources. Ces estimations de coûts et ces observations générales ne sauraient être interprétées comme des conclusions quant au mérite du projet de NPEA.

Préparé par : Erin K. Barkel et Rod Story *

Soutien à la recherche : Tejas Aivalli

* Les auteurs souhaitent remercier Mostafa Askari, Peter Weltman, Tolga Yalkin, Jean-François Nadeau et quatre évaluateurs externes pour leurs commentaires ; et Pat Brown et Jocelyne Scrim pour l'aide à la préparation. Des remerciements tout particuliers à Randall Bartlett, ancien analyste du DPB, qui a analysé le caractère raisonnable des hypothèses afin de valider les estimations. Les auteurs assument la pleine responsabilité de toute erreur ou omission. Pour toute question, veuillez communiquer avec Mostafa Askari (courriel : Mostafa.askari@parl.gc.ca), ou les auteurs Erin Barkel (courriel : erin.barkel@parl.gc.ca) et Rod Story (courriel : rod.story@parl.gc.ca).

¹ Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (2013a).

² Défense nationale et Forces armées canadiennes (2014a).

³ Le budget total des NPEA est en fait de 3,1 milliards de dollars, mais il inclut 300 millions de dollars pour l'amélioration de quais à Halifax, Esquimalt et Nanisivik, ce qui laisse seulement 2,8 milliards de dollars pour les navires proprement dits. Se reporter à Canadian American Strategic Review (2007) et Proussalidis (2013).

Table des matières

| | |
|--|----|
| Glossaire | 1 |
| Sommaire | 2 |
| 1 Introduction..... | 5 |
| 2 Contexte | 5 |
| 2.1 Différence entre navire résistant aux glaces et brise-glace..... | 6 |
| 2.2 État actuel du programme de NPEA | 8 |
| 3 Modèle d'estimation | 8 |
| 3.1 Principes d'estimation des coûts | 9 |
| 3.2 Processus d'estimation des coûts | 9 |
| 3.3 Collecte et sources de données | 11 |
| 3.4 Règles et hypothèses de départ..... | 11 |
| 3.5 Établissement du modèle paramétrique..... | 12 |
| 4 Résultats de l'estimation | 15 |
| 4.1 Estimation des coûts du NPEA | 16 |
| 4.2 Analyse de sensibilité | 20 |
| 4.3 Complexité de l'ingénierie | 22 |
| Bibliographie..... | 24 |
| Appendice A Terminologie | 27 |
| Appendice B Données sur les navires | 28 |
| B.1 Navires de la classe Svalbard | 28 |
| B.2 Navires de classe Thetis | 29 |
| B.3 Navires de classe Knud Rasmussen | 29 |
| B.4 Navires de la Garde côtière canadienne | 29 |
| Appendice C Facteurs du modèle..... | 31 |
| C.1 Examen de la complexité de l'ingénierie..... | 38 |
| Appendice D Calendrier du projet | 39 |
| Appendice E Budget et dépenses du projet | 39 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Appendice F | Risques utilisés pour établir le niveau de confiance | 40 |
| Appendice G | Estimation du délai de construction du NCSC..... | 41 |

Glossaire

| | |
|-------|--|
| AISC | Association internationale des sociétés de classification |
| CP | Classe polaire |
| DPB | Directeur parlementaire du budget |
| DP | Demande de propositions |
| EB | Énoncé des besoins |
| FAC | Forces armées canadiennes |
| GAO | U.S. Government Accountability Office [Bureau de reddition de comptes du gouvernement] |
| GCC | Garde côtière canadienne |
| IPC | Indice des prix à la consommation |
| LCS | Littoral Combat Ship [navire de combat en zone littorale] |
| LSL | Louis St-Laurent |
| NCSC | Navire de combat de surface canadien |
| NGCC | Navires de la Garde côtière canadienne |
| NPE | Navire de patrouille extracôtier |
| NPEA | Navire de patrouille extracôtier et de l'Arctique |
| NSI | Navire de soutien interarmées |
| SDGLG | Soutien à la définition, au génie, à la logistique et à la gestion |
| SNACN | Stratégie nationale d'approvisionnement en matière de construction navale |
| TVH | Taxe de vente harmonisée |

Sommaire

Le gouvernement du Canada a annoncé la Stratégie nationale d'approvisionnement en matière de construction navale (SNACN) en juin 2010 qui a pour but de remplacer les flottes de surface de la Marine royale canadienne et de la Garde côtière canadienne. La SNACN vise notamment le navire de patrouille extracôtier et de l'Arctique (NPEA).

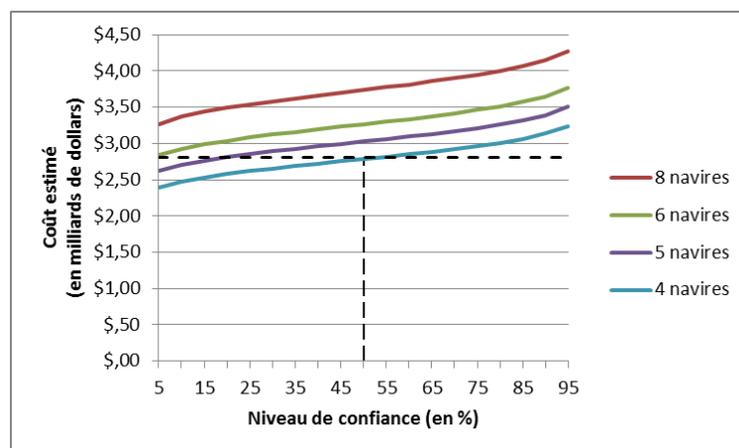
Le projet de NPEA vise à doter la Marine royale canadienne de six à huit navires de patrouille pouvant naviguer dans des eaux envahies par les glaces, ainsi que les quais nécessaires à les accueillir⁴. Ces navires assureront la surveillance maritime armée de l'Arctique et « appuyer[ont] d'autres unités des Forces armées canadiennes dans la réalisation d'opérations maritimes ainsi que [...] d'autres ministères fédéraux dans la réalisation de leurs mandats, au besoin⁵ » (p. ex. la Garde côtière canadienne). Le budget du projet a été fixé à 3,1 milliards de dollars⁶, soit environ 2,8 milliards de dollars pour les navires et les 274 millions de dollars restants pour l'amélioration des quais à Esquimalt, Halifax et Nanisivik, au Nunavut^{7,8,9}.

L'analyse du DPB laisse à penser que le budget actuel sera insuffisant pour acquérir les six à huit NPEA prévus. Il est plus probable que, si le projet ne connaît pas de retard, le budget actuel ne permette de construire que quatre navires. Cependant, tout retard de plus d'un an aurait pour répercussion que le budget ne serait plus suffisant que pour construire trois navires. Tout retard peut donc avoir d'importantes répercussions sur la capacité d'achat du gouvernement, ainsi que sur d'autres projets en

aval, tels que celui du navire de combat de surface canadien (NCSC).

Le Diagramme récapitulatif 1 ci-dessous montre les coûts estimés de production de quatre, cinq, six et huit navires avec des niveaux de confiance variant de 5 à 95 %¹⁰. Comme on peut le constater, seuls quatre navires peuvent être produits avec un budget de 2,8 milliards de dollars au niveau de confiance minimal acceptable de 50 %. Inversement, le gouvernement pourrait augmenter le budget du projet d'un montant estimé à 470 millions de dollars, pour un total de 3,27 milliards de dollars, afin de pouvoir acquérir six navires avec un niveau de confiance de 50 %.

Diagramme récapitulatif 1 : Coût estimé des navires en fonction du niveau de confiance



Source : DPB au moyen du logiciel TruePlanning.

⁴ Défense nationale et Forces armées canadiennes (2013a).

⁵ *Ibid.*

⁶ Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (2013a) : se reporter à l'Appendice E pour les estimations actuelles du budget et des coûts du NPEA.

⁷ Thomas (2007b).

⁸ Canadian American Strategic Review (2007).

⁹ Canadian American Strategic Review (2012).

¹⁰ Afin de tenir compte des risques associés au projet, il faut, pour estimer les coûts, également effectuer une analyse des risques afin d'évaluer comment une modification des principaux facteurs (p. ex. le poids du navire) peut avoir des répercussions sur l'estimation des coûts. Cette analyse permet de produire un éventail d'estimations de coûts possibles qui sont ordonnées de la plus faible à la plus élevée. L'estimation médiane, correspondant à un niveau de confiance de 50 %, est considérée comme la norme minimale acceptable lorsqu'il s'agit d'établir un budget. Les organisations les moins enclines à prendre des risques, ou qui entreprennent des projets plus risqués, peuvent établir des budgets avec un niveau de confiance de 80 %, à savoir que seulement 20 % des estimations donnent des valeurs supérieures au budget établi.

Analyse budgétaire de l'acquisition de la classe de navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique

Le Tableau récapitulatif 1, ci-dessous, indique les dates de livraison prévues pour chaque navire. Il a été estimé que, comme pour des navires de taille similaire précédemment produits, un navire serait livré par an¹¹. On estime que la construction du premier navire nécessitera 3 ans et celle du deuxième 30 mois. En raison des gains d'efficacité liés à la courbe d'apprentissage, les navires suivants devraient nécessiter moins de temps, moins de main-d'œuvre, ou une combinaison des deux.

Étant donné que, selon les estimations, le budget actuel permet de construire quatre navires, le quatrième et dernier NPEA devrait être achevé au début de 2021.

Tableau récapitulatif 1 : Dates de livraison des navires

| Navire n° | Date de livraison |
|-----------|----------------------|
| 1 | Probablement en 2018 |
| 2 | Janvier 2019 |
| 3 | Janvier 2020 |
| 4 | Janvier 2021 |
| 5 | Janvier 2022 |
| 6 | Janvier 2023 |
| 7 | Janvier 2024 |
| 8 | Janvier 2025 |

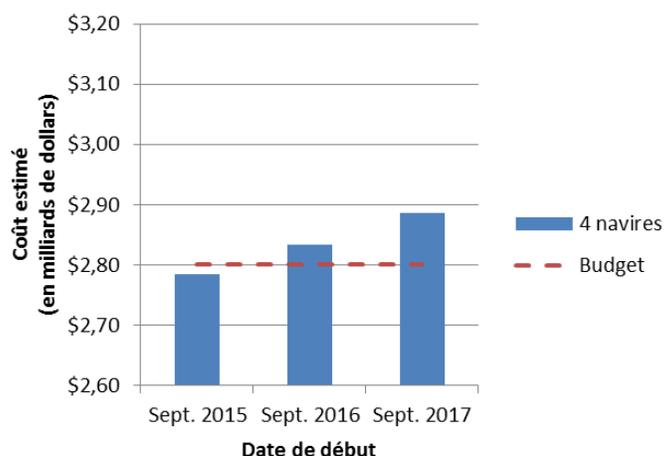
Source : DPB au moyen du logiciel TruePlanning.

En raison de l'inflation, le fait de retarder le début de la construction du premier navire entraînerait une augmentation du coût estimé qui aurait pour conséquence que seuls trois, et non plus quatre, navires pourraient être construits¹². Le Diagramme récapitulatif 2 ci-dessous montre l'effet que pourrait avoir sur le coût estimé un retard d'un ou deux ans avec un niveau de confiance de 50 %. Comme on peut le constater, une année de retard se traduirait par un dépassement de budget de 34 millions de

dollars. Pour deux années de retard, le dépassement de budget attendrait 85 millions de dollars. Ces chiffres signifient que, en cas de retard, il en résultera l'une ou plusieurs des trois conséquences suivantes : le budget devra être augmenté, le nombre de navires produits devra être révisé à la baisse, ou la capacité des navires devra être réduite.

Le Diagramme récapitulatif 3 ci-dessous montre l'effet que pourraient avoir les mêmes retard de début de la construction, mais avec un niveau de confiance de 80 %. Pour un retard d'un an, le coût estimé de quatre navires serait supérieur de 206 millions de dollars au budget établi et, pour un retard de deux ans, supérieur de 310 millions de dollars au budget établi. Même sans retard, la construction de quatre navires avec un taux de confiance de 80 % se traduirait par un dépassement de budget de 201 millions de dollars.

Diagramme récapitulatif 2 : Augmentation du coût des navires en fonction du retard avec un niveau de confiance de 50 %

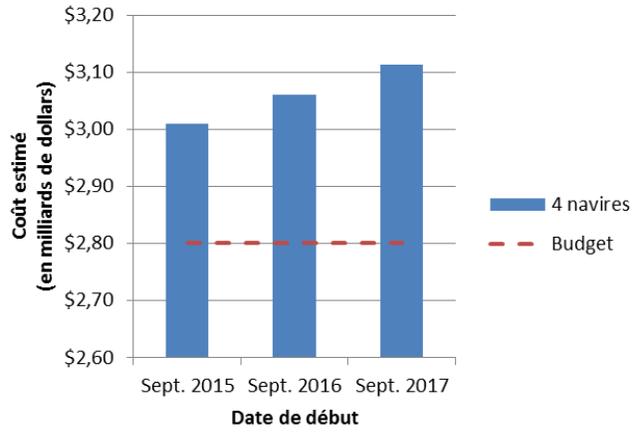


Source : DPB au moyen du logiciel TruePlanning.

¹¹ Se reporter à « Classe Halifax », Wikipedia (2014c).

¹² Le taux d'inflation des approvisionnements militaires est supérieur à l'IPC. Se reporter à Arena, Blickstein, Younossi et Grammich (2006) et Congressional Budget Office (2013).

Diagramme récapitulatif 3 : Augmentation du coût des navires en fonction du retard avec un niveau de confiance de 80 %



Source : DPB au moyen du logiciel TruePlanning.

1 Introduction

Le directeur parlementaire du budget (DPB) peut, à la demande d'un comité ou d'un parlementaire, évaluer le coût financier de toute mesure proposée relevant des domaines de compétence du Parlement¹³. Le présent rapport donne suite à des demandes d'estimation indépendante du budget alloué au projet de navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique (NPEA).

Le DPB a entrepris une estimation indépendante du coût du projet de NPEA afin d'établir le caractère raisonnable du projet qu'a le gouvernement de produire de six à huit navires d'ici 2024 pour un coût de 2,8 milliards de dollars¹⁴.

L'estimation de base se fonde sur l'hypothèse que la construction des navires débutera en septembre 2015 et que le calendrier de construction sera établi de façon à minimiser le coût total. Les coûts ont été calculés par navire et il est donc possible d'établir combien de navires il sera possible de construire avec le budget alloué, de même que le montant supplémentaire nécessaire à la construction des navires additionnels. À partir de ce scénario de base, il a été possible d'estimer les dépassements de coûts que pourrait entraîner un retard du début de la construction d'un ou deux ans. Une analyse de sensibilité a également été effectuée en fonction du poids et de la complexité des navires.

Conformément à la politique du Conseil du Trésor, le budget des NPEA inclut tous les coûts liés à l'acquisition, y compris les salaires, les contributions aux avantages sociaux et aux retraites des employés, la gestion du projet, les contrats, les frais de conception, les droits de licence, la gestion des retombées industrielles et régionales, la

construction, l'assurance de la qualité, les imprévus et toutes les taxes applicables (TVH de 15 % en Nouvelle-Écosse).

La suite du présent rapport est divisée en trois sections. La première fournit le contexte du programme de NPEA et de la classe polaire en général. La deuxième section détaille la méthode d'estimation utilisée. La troisième et dernière section présente les résultats obtenus.

2 Contexte

En juillet 2007, le gouvernement du Canada a annoncé son intention de se doter de six à huit brise-glaces armés (aussi connus sous le nom de NPEA¹⁵). Ces navires assureront la surveillance maritime armée de l'Arctique et « appuyer[ont] d'autres unités des Forces armées canadiennes dans la réalisation d'opérations maritimes ainsi que [...] d'autres ministères fédéraux dans la réalisation de leurs mandats, au besoin¹⁶ » (p. ex. la Garde côtière canadienne).

Le budget du projet a été fixé à 3,1 milliards de dollars¹⁷, soit environ 2,8 milliards de dollars pour les navires et les 274 millions de dollars restants pour l'amélioration des quais à Esquimalt, Halifax et Nanisivik, au Nunavut^{18,19,20}.

Le plan initial, pour Nanisivik, était d'y établir une station navale qui soit opérationnelle toute l'année²¹. Il a par la suite été décidé de se limiter à une escale de ravitaillement dont le personnel sera acheminé sur place par avion lorsque cela sera nécessaire²².

¹³ Loi sur le Parlement du Canada (2007).

¹⁴ Se reporter à l'Appendice D et au Défense nationale et Forces armées canadiennes (2014a).

¹⁵ Canadian American Strategic Review (2007).

¹⁶ Défense nationale et Forces armées canadiennes (2013a)

¹⁷ Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (2013a) : se reporter à l'Appendice E pour les estimations actuelles du budget et des coûts du NPEA.

¹⁸ Thomas (2007b).

¹⁹ Canadian American Strategic Review (2007).

²⁰ Canadian American Strategic Review (2012).

²¹ Bell (2012).

²² Canadian American Strategic Review (2012).

Bien que le budget initial d'une station navale en bonne et due forme fût de 100 millions de dollars, et que le budget d'une simple escale de ravitaillement soit désormais de 146 millions de dollars, on continue d'estimer que le budget total des quais, pour les trois ports, demeure identique (à savoir 274 millions de dollars²³).

Bien que l'énoncé des besoins du projet de NPEA ressemble, dans ses grandes lignes, aux capacités opérationnelles de la classe Thetis de la Marine royale danoise et de la classe Svalbard de la Garde côtière norvégienne²⁴, le gouvernement a indiqué que le NPEA sera mieux adapté aux conditions environnementales et aux besoins opérationnels du Canada²⁵. Par exemple, contrairement à la conception de la classe Svalbard, dont le gouvernement a fait l'acquisition²⁶, celle du NPEA ne prévoit pas un système de propulsion Azipod^{27, 28}, mais une capacité de commandement et de surveillance supérieure requérant un plus grand degré d'intégration²⁹.

2.1 Différence entre navire résistant aux glaces et brise-glace

Il est important de souligner que, d'un point de vue purement technique, le NPEA n'est pas un brise-glace. C'est un navire pouvant naviguer dans des eaux envahies par les glaces³⁰. Un brise-glace est un navire qui peut se frayer un chemin dans les glaces que d'autres navires, qui ne sont pas capables de naviguer dans des eaux envahies par les glaces, peuvent alors emprunter. Un navire pouvant

naviguer dans des eaux envahies par les glaces, c'est-à-dire résistant aux glaces, est un navire qui peut, selon sa classe polaire, naviguer dans des eaux envahies par différents types et différentes épaisseurs de glace, comme peut le faire un brise-glace, mais qui n'est pas assez large pour frayer un chemin à d'autres navires. Se reporter à l'Encadré 1 ci-dessous pour une description des classes polaires (CP). Le NPEA avait initialement été annoncé comme un brise-glace de CP 5³¹. Il a par la suite été requalifié de navire résistant aux glaces, avec une proue de CP 4 et une coque de CP 5³².

Le fait de devoir simultanément satisfaire aux besoins divergents d'être résistant aux glaces et de pouvoir naviguer, au large, dans les eaux extracôtiers, constitue un défi. Les brise-glaces sont conçus pour naviguer dans des eaux couvertes de glaces, tandis que les navires extracôtiers (aussi dit hauturiers) sont conçus pour naviguer dans des eaux libres où de fortes vagues peuvent se former par mauvais temps. De plus, les brise-glaces ont traditionnellement une coque parabolique qui leur permet de se hisser sur la glace, puis de la briser sous leur poids³³. Leur poids est donc proportionnellement plus élevé par rapport à leur taille que ne l'est celui des navires qui naviguent en eaux libres (à savoir les navires extracôtiers³⁴). Leur coque parabolique et leur plus grande largeur (proportionnellement à leur longueur, par rapport aux navires extracôtiers) font que les brise-glaces possèdent une moins bonne navigabilité par mauvais temps³⁵ et sont enclins au tossage³⁶. Afin de pouvoir affronter de fortes vagues, les navires extracôtiers sont plus longs, plus étroits, et leur coque est plus

²³ Bell (2012). Proussalidis (2013) et Cabinet du Premier ministre (2014).

²⁴ Christensen (2007).

²⁵ CFPS Maritime Security Policy Program Research Team (2013). Se reporter aussi à Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (2013c).

²⁶ Milewski (2013).

²⁷ Canadian American Strategic Review (2012)

²⁸ Un système de propulsion Azipod permet au fuseau d'hélice de pivoter à 360 degrés sur son axe vertical. Wikipedia (2014a).

²⁹ Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (2013c).

³⁰ Défense nationale et Forces armées canadiennes (2013a).

³¹ Thomas (2007a).

³² Source du DPB.

³³ Source du DPB et Thomas (2007a).

³⁴ Source du DPB.

³⁵ Thomas (2007a).

³⁶ Le tossage se produit lorsque la surface de la coque d'un navire, relativement plus large par rapport à sa longueur, fait que le navire frappe « slam » le creux de la vague après en avoir fendu la crête.

profilée. Les navires extracôtiers sont également plus légers, ce qui leur permet de naviguer à plus grande vitesse dans les eaux libres³⁷. La Photographie 2-1, ci-dessous, montre une frégate de classe Halifax et sa silhouette profilée caractéristique d'un navire extracôtier, tandis que la Photographie 2-2, ci-dessous également, montre la silhouette plus large et plus aplatie d'un brise-glace.

Photographie 2-1 : Navire extracôtier (NCSM Regina)



Source : (Levy, 2004).

Photographie 2-2 : Coupe transversale d'un brise-glace (Louis St-Laurent)



Source : (Chasemore & Jenssen, 2010).

Encadré 1 : Que sont les classes polaires?

La Division responsable de la navigation dans l'Arctique de Transports Canada travaille, en collaboration avec l'Association internationale des sociétés de classification

³⁷ Canadian American Strategic Review (2007).

(AISC), à l'établissement d'exigences unifiées pour les navires de classe polaire (CP³⁸). Ces exigences s'appliquent aux navires conçus pour naviguer dans l'Arctique et les navires qui y sont conformes sont réputés de classe polaire³⁹. L'AISC définit la classe polaire dans ses exigences unifiées⁴⁰. La classification établit un classement par cote allant de 1 (les navires les plus résistants), à 7 (les navires les moins résistants). Le tableau ci-dessous est tiré des exigences unifiées.

| | |
|------|--|
| CP 1 | Navigation durant toute l'année dans toutes les eaux polaires |
| CP 2 | Navigation durant toute l'année dans des glaces de plusieurs années dans des conditions modérées |
| CP 3 | Navigation durant toute l'année dans des glaces de deuxième année pouvant inclure des sections de glaces de plusieurs années |
| CP 4 | Navigation durant toute l'année dans la glace épaisse de première année pouvant inclure des sections de vieille glace |
| CP 5 | Navigation durant toute l'année dans la glace moyenne de première année pouvant inclure des sections de vieille glace |
| CP 6 | Navigation en été et en automne dans la glace moyenne de première année pouvant inclure des sections de vieille glace |
| CP 7 | Navigation en été et en automne dans la glace mince de première année pouvant inclure des sections de vieille glace |

La glace épaisse de première année a plus de 1,2 mètre d'épaisseur, alors que la glace moyenne de première année a moins de 1,2 mètre et plus de 0,7 mètre d'épaisseur⁴¹. La glace de première année, au second stade, a moins de 0,7 mètre et plus de 0,5 mètre d'épaisseur, alors que la glace de première année, au premier stade, a moins de 0,5 mètre d'épaisseur⁴². La glace de deuxième année, ou plus, est beaucoup plus dense et beaucoup plus dure que la glace de première année.

³⁸ Transports Canada (2010).

³⁹ Association internationale des sociétés de classification (2011).

⁴⁰ *Ibid.*

⁴¹ Lloyd's Register (2013).

⁴² *Ibid.*

2.2 État actuel du programme de NPEA

Après avoir annoncé le programme de NPEA en 2007, le gouvernement du Canada a annoncé, en mai 2008, le contrat de Soutien à la définition, au génie, à la logistique et à la gestion (SDGLG) du NPEA. Ce contrat a pour objet d'élaborer un concept d'illustration (c'est-à-dire une représentation de la conception générale) visant à préciser et à valider l'Énoncé des travaux à utiliser pour choisir l'entrepreneur chargé de la mise en œuvre du projet⁴³.

Ce contrat de SDGLG a été accordé à BMT Fleet Technology et à STX Canada Marine, qui ont établi et mis à l'essai (simulation) une conception préliminaire⁴⁴. En vertu de la Stratégie nationale d'approvisionnement en matière de construction navale (SNACN), le contrat du NPEA a été accordé à Irving Shipbuilding Inc. en 2011 dans le cadre du lot de travaux relatifs aux navires de combat^{45,46}, et les navires seront construits dans les chantiers navals d'Irving à Halifax. Le projet est fondé sur une approche de « conception suivie de [...] construction⁴⁷ », afin d'« atténuer les risques liés aux coûts et au respect des échéanciers dans le cadre du contrat de construction⁴⁸ ».

Ce contrat de SDGLG a été suivi d'un contrat de conception de 9,3 millions de dollars qui a été accordé au chantier naval Irving de Halifax en juillet 2012⁴⁹. Puis, en mars 2013, un second contrat, de définition, d'un montant de 288 millions de

dollars, a été accordé à Irving pour, entre autres, amener la conception du NPEA au point où il serait possible de lancer sa construction en septembre 2015 (mars 2013 plus 30 mois⁵⁰). Dans le cadre de ce contrat, l'établissement de plans détaillés sera sous-traité par une société danoise⁵¹.

3 Modèle d'estimation

La présente section résume les différentes méthodes utilisées pour extrapoler une estimation du coût de conception et de production du NPEA⁵². Les objectifs de l'estimation de coûts du présent rapport sont au nombre de quatre :

1. estimer le coût de construction du NPEA en établissant le nombre d'années-personnes nécessaires pour construire chacun des navires, sachant que ce nombre décroît avec chaque navire (en raison de la courbe d'apprentissage⁵³);
2. utiliser cette estimation du coût pour établir combien de NPEA peuvent être construits avec le budget actuel de 2,8 milliards de dollars;
3. établir quand le budget sera épuisé (à savoir quand le dernier navire sera achevé) en tablant sur un calendrier de construction optimisé pour réduire les coûts et une construction débutant en septembre 2015;

⁴³ Canadian American Strategic Review (2008b).

⁴⁴ Canadian American Strategic Review (2012), STX Canada Marine (2012).

⁴⁵ Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (2013a).

⁴⁶ La Stratégie nationale d'approvisionnement en matière de construction navale (SNACN), annoncé par le gouvernement du Canada en juin 2010, vise à remplacer les flottes de surface de la Marine royale du Canada et de la Garde côtière canadienne. Pour plus de détails sur la SNACN et ses différentes composantes, se reporter à l'Introduction du Directeur parlementaire du budget (2013).

⁴⁷ Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (2013b).

⁴⁸ Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (2013d).

⁴⁹ Canadian American Strategic Review (2012).

⁵⁰ Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (2013c).

⁵¹ CBC News (2013).

⁵² Les coûts de fonctionnement et de maintenance pour l'ensemble du cycle de vie des navires sont exclus.

⁵³ Se reporter à l'Appendice A.

4. établir le dépassement de coût qui résulterait du report du début de la construction à septembre 2016 ou septembre 2017⁵⁴.

3.1 Principes d'estimation des coûts

Puisque le projet de NPEA a un objectif variable (à savoir de six à huit navires), il est nécessaire, pour effectuer l'analyse, de commencer par établir un modèle d'estimation du coût de construction de huit navires. Si le scénario prévu n'est pas réalisable dans les limites du budget établi, le modèle peut alors être ajusté afin d'établir le nombre de navires qui pourront être acquis avec le budget établi.

3.2 Processus d'estimation des coûts

Le DPB utilise le processus d'estimation des dépenses militaires reconnu par le secteur et que le Government Accountability Office (GAO) des États-Unis décrit très bien. Le processus est décrit au Diagramme 3-1 ci-dessous.

Les étapes définies par le GAO, et appliquées aux particularités du NPEA, sont les suivantes :

1. Définir l'objectif de l'estimation : estimer le coût et le calendrier d'acquisition du NPEA.
2. Établir un plan d'estimation : le DPB a utilisé, pour établir l'estimation, TruePlanning® 14.0. Se reporter à l'Encadré 2 ci-dessous pour plus d'explications sur le logiciel TruePlanning.
3. Définir le programme : le programme a été défini comme un programme d'acquisition de six à huit navires de patrouille résistant aux glaces devant être construits au Canada conformément aux règles d'approvisionnement du gouvernement du Canada.

4. Définir la méthode d'estimation : la méthode d'estimation a été fondée sur les données disponibles, ainsi que sur un modèle d'analyse paramétrique.

5. Définir les règles et les hypothèses de départ : l'estimation documentera les autres options disponibles de façon exhaustive (se reporter à la section 3.4).

6. Obtenir les données : les données physiques (taille, poids, etc.) relatives aux NGCC ont été recueillies.

7. Établir une estimation ponctuelle : l'estimation des coûts a été établie de façon itérative en se fondant sur les valeurs connues (classe des navires, poids lège⁵⁵) et les principaux paramètres ou facteurs de coût, tels que la complexité de fabrication de la structure (complexité), la conception, la complexité du projet et la complexité de l'ingénierie. Cette estimation des coûts reflète les « réalités canadiennes » (estimation en dollars canadiens, application de la fiscalité canadienne et capacité des chantiers navals canadiens).

8. Effectuer une analyse de sensibilité : une analyse de sensibilité fondée sur les principaux facteurs de coût (poids et complexité) a permis d'établir les répercussions financières d'éventuelles modifications.

9. Effectuer une analyse des risques et de l'incertitude : une fois l'estimation ponctuelle achevée, une analyse des risques et de l'incertitude a été entreprise et ses résultats sont présentés dans la section 4, « Estimation des résultats ». L'analyse des risques a permis d'établir une distribution

⁵⁴ Les programmes de construction navale ont un taux d'inflation, plus élevé que le PIB ou l'IPC, qui peut osciller entre 7 et 11 %. Se reporter à Arena, Blickstein, Younossi et Grammich (2006).

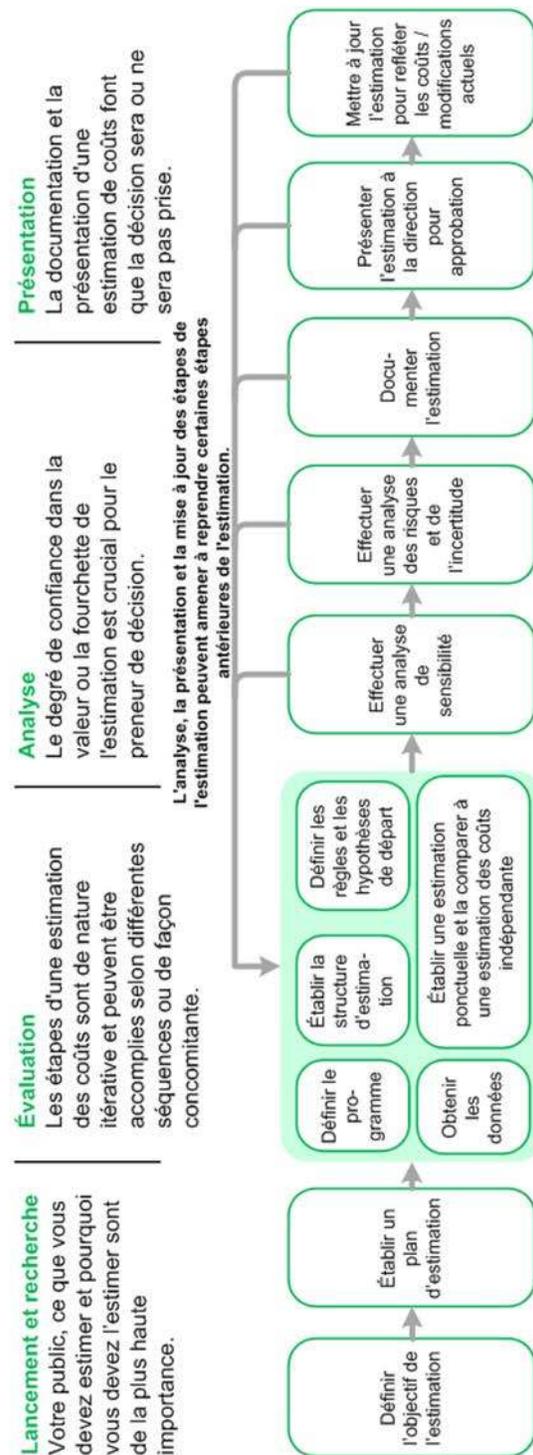
⁵⁵ Le poids lège du navire est son poids à vide, sans carburant, sans équipage et sans cargaison.

triangulaire⁵⁶ des fourchettes les plus probables pour le poids, la complexité, la caractéristique opérationnelle et la complexité de l'ingénierie possibles du projet. L'incertitude a été modélisée au moyen de TruePlanning qui fournit des niveaux de confiance pour chacune des estimations ponctuelles de coûts qu'il produit.

Encadré 2 : Comment fonctionne le logiciel TruePlanning® de PRICE Systems LLC?

TruePlanning® est un outil d'estimation des coûts breveté utilisé tant dans le domaine militaire que civil. Il s'appuie sur une vaste expertise en estimation des coûts dans le domaine militaire. Parmi les clients, on citera le Département américain de la Défense, Sikorsky Aircraft, la NASA, BAE Systems, Gulfstream, United Technologies et Boeing. La liste complète des clients peut être consultée à http://www.pricesystems.com/success/customer_overview.aspx. Le DPB a utilisé ce logiciel pour la première fois afin de produire, en février 2013, un rapport intitulé *Budget d'acquisition de deux navires de soutien interarmées – Faisabilité*⁵⁷ où sont fournis des renseignements détaillés sur ce logiciel et son utilisation pour produire des estimations de coûts. Le présent rapport renverra à ce précédent rapport lorsque cela est nécessaire, mais les lecteurs qui souhaiteraient en savoir plus sur le logiciel pourraient vouloir consulter le précédent rapport ou bien le site Web de PRICE Systems LLC⁵⁸.

Diagramme 3-1 : Approche de l'estimation de coûts adoptée par le GAO



Source : (United States Government Accountability Office, 2009).

⁵⁶ TruePlanning™ s'appuie sur une loi triangulaire pour distribuer de façon aléatoire les facteurs afin d'établir les intervalles de confiance de l'évaluation des risques.

⁵⁷ Directeur parlementaire du budget (2013).

⁵⁸ <http://www.pricesystems.com/>.

3.3 Collecte et sources de données

Les données utilisées pour l'analyse du projet de NPEA proviennent de sources diverses. Des données sur le poids et le coût de projets antérieurs similaires, ainsi que d'autres caractéristiques de conception ont été incluses dans le modèle. La liste des diverses données recueillies figure au Tableau 3-1.

Tableau 3-1 : Résumé des données recueillies

| Documents | Source |
|--|---|
| Détails du projet de NPEA | Défense nationale et Forces armées canadiennes (2013a) |
| Convention collective liant la section locale n° 1 des Marine and Shipbuilding Workers of Canada et le chantier naval de Halifax (2012-2017) | Section locale n° 1 des Marine and Shipbuilding Workers of Canada |
| Poids « à la livraison » des navires similaires de la Garde côtière, selon leur manuel de stabilité | Sources du DPB |
| Coûts des navires similaires de la Garde côtière | Demande d'information IR0127 ⁵⁹ |
| Énoncés des besoins du NPEA | Sources du DPB |

3.4 Règles et hypothèses de départ

Les règles et les hypothèses de départ utilisées pour la présente estimation sont les suivantes :

- inclure les coûts de développement et de production;
- calculer en dollars canadiens « dépensés⁶⁰ »;
- tabler sur une indexation annuelle des coûts de 3,3 % (se reporter à l'Encadré 3 sur l'indexation des coûts);

⁵⁹ Se reporter à l'Appendice B pour les données reçues sur les coûts des navires.

⁶⁰ On entend par « dépensé » le montant réellement dépensé l'année où le navire a été construit.

- tabler sur un navire de 6 400 tonnes;
- tabler sur un prototype⁶¹ et 5 à 7 unités de production (une unité de production est un navire);
- tabler sur le fait que le développement a débuté le 1^{er} mars 2013;
- tabler sur le fait que la construction du prototype débutera le 1^{er} septembre 2015 et sera achevée d'ici le 1^{er} décembre 2018;
- tabler sur le fait que les navires subséquents seront achevés d'ici le 1^{er} décembre 2024;
- tabler sur un bénéfice de 10 % sur le contrat;
- tabler sur une TVH de 15 % sur le contrat.

Encadré 3 : Indexation des coûts d'acquisition de navires

L'acquisition de navires est sujette à deux différentes formes d'indexation des coûts, qui sont toutes les deux supérieures à l'indice des prix à la consommation (IPC). La première est l'indexation des coûts entre deux générations d'un même type de navires. Le coût d'une nouvelle version d'un navire, par rapport à celui de la précédente version, est sujet à une indexation annuelle de 3 à 7 % supérieure à l'IPC⁶². Le logiciel de modélisation PRICE tient compte de cette variation entre générations de navire. La seconde forme d'indexation est l'indexation des coûts durant la construction de différentes versions d'un même navire. Cette indexation des coûts est supérieure de 1,3 % à l'IPC⁶³. Pour l'établissement du coût du NPEA, on a tablé sur le taux d'IPC de 2 % que s'est fixé la Banque du Canada, auquel on a ajouté 1,3 % pour obtenir un total de 3,3 %.

3.4.1 Examen des marges bénéficiaires

La marge bénéficiaire prévue par le contrat d'Irving avec le gouvernement n'a pas encore été rendu publique, puisqu'elle continue de faire l'objet de négociations entre les deux parties. Cependant, en vertu de l'entente-cadre de la SNACN, Irving se voit garantir une quantité de travail suffisante pour compenser les 300 millions de dollars qu'elle a

⁶¹ Bien que le premier navire soit considéré comme un prototype, il s'agit en fait d'un navire de production qui sera mis en service comme tous les autres navires subséquents.

⁶² Arena, Blickstein, Younossi et Grammich (2006) et calculs du DPB.

⁶³ Congressional Budget Office (2013)

investis dans la modernisation du chantier naval, faute de quoi, le Canada devra les rembourser⁶⁴.

Le DPB n'a pas été en mesure, au terme de sa recherche d'exemples comparables au Canada, de trouver des données canadiennes récentes sur des acquisitions de cette nature: 18 ans se sont écoulés depuis que la dernière des frégates de classe Halifax a été mise en service⁶⁵ et 15 ans se sont écoulés depuis que le dernier des navires de défense côtière de classe Kingston a été mis en service⁶⁶.

Faute d'exemples au Canada, l'expérience européenne nous apprend que la marge bénéficiaire du secteur de la construction navale peut varier de façon importante et subir des pertes pouvant atteindre 8 à 9 %⁶⁷. La marge bénéficiaire d'une société donnée varie selon le type de navires construits ou réparés et les capacités des concepteurs et des constructeurs de navires⁶⁸. En appliquant la marge bénéficiaire de 8 à 9 % établie en Europe, et en tablant sur le fait que les 300 millions de dollars de dépenses en immobilisation dans le chantier naval seront amortis plus rapidement que la moyenne du secteur (selon le minimum garanti par l'entente-cadre), le DPB a estimé que la marge bénéficiaire pourrait être légèrement supérieure, soit 10 %.

3.5 Établissement du modèle paramétrique

Le coût du NPEA a été estimé au moyen d'un modèle paramétrique. Un modèle paramétrique s'appuie sur des équations statistiques pour évaluer des paramètres techniques et de rendement généraux, tels que le déplacement et la taille du navire, ainsi

que le coût d'autres navires comparables, et établir une estimation du coût du navire en question.

L'alternative à une analyse paramétrique consiste en une analyse ascendante fondée sur les caractéristiques détaillées du navire. Lorsque le NPEA a été initialement annoncé, l'Énoncé des besoins techniques opérationnels a été rendu public, mais il a depuis lors été retiré du site Web du ministère de la Défense nationale (MDN⁶⁹). Le DPB a demandé au MDN l'Énoncé des besoins du NPEA, mais il s'est vu répondre que l'EB ne relevait pas du mandat du DPB⁷⁰. L'EB a par la suite été obtenu au moyen d'une demande d'accès à l'information, mais il ne renfermait pas suffisamment d'information, car il avait été expurgé. Même s'il n'avait pas été expurgé, l'information qu'il renferme est beaucoup trop générale pour se prêter à une analyse ascendante. C'est pourquoi, faute de l'information détaillée nécessaire pour entreprendre une analyse ascendante, il a été choisi d'adopter une approche paramétrique.

Pour établir le modèle paramétrique, le DPB a opté pour une estimation à neuf composantes (décrites plus loin) plutôt qu'une estimation détaillée à l'échelle du sous-système. La précédente estimation de coût effectuée par le DPB pour le budget d'acquisition des deux navires de soutien interarmées (NSI) s'appuyait sur un modèle à deux composantes⁷¹. La composante « principale » (à savoir la première composante) du modèle, pour le NSI, correspondait au coût des ressources nécessaires à l'ingénierie des systèmes et à la gestion du projet, tandis que la composante « dérivée » (à savoir la deuxième composante) correspondait au coût de construction modélisé relatif au développement et à la production du navire.

⁶⁴ Bureau du vérificateur général du Canada (2013).

⁶⁵ Wikipedia (2014c).

⁶⁶ Wikipedia (2014e).

⁶⁷ ECORYS SCS Group (2009).

⁶⁸ Bjørn Guvåg, Oterhals, Johannessen, Moghaddam, Seth, Ona and Furstrand (2012).

⁶⁹ Se reporter à Canadian American Strategic Review (2008a) où le lien vers l'Énoncé des besoins techniques opérationnels ne fonctionne plus.

⁷⁰ Demande d'accès à l'information IR0107 (2013).

⁷¹ Directeur parlementaire du budget (2013).

Il n'est cependant pas possible de distinguer les différents navires produits dans une analyse reposant sur un modèle à deux composantes. Le DPB a, pour cette raison, décidé d'utiliser un modèle à neuf composantes afin de pouvoir établir des coûts et un nombre d'heures de travail reflétant, pour chacun des navires, la courbe d'apprentissage.

Ce modèle à neuf composantes est similaire au modèle à deux composantes utilisé pour le rapport sur le NSI, en ce que la composante « principale » correspond toujours aux tâches d'ingénierie des systèmes et de gestion du projet pour l'intégralité du programme d'acquisition (première composante), mais, au lieu d'une seule composante « dérivée » (deuxième composante) correspondant à l'ensemble des navires (le prototype, plus le nombre total de navires de production), ce sont neuf composantes (de la deuxième à la neuvième composante) qui représentent chacune l'un des huit navires produits. Une courbe d'apprentissage peut ainsi être modélisée en indiquant, pour chaque composante, combien d'unités ont été précédemment produites.

Les paramètres suivants ont été utilisés :

- le nombre de navires acquis, qui a été fixé à huit (un prototype et sept navires de production);
- le calendrier des acquisitions, qui a été établi à partir de la DP;
- le poids du système, qui se fonde sur l'hypothèse d'un NPEA dont le poids lège est de 6 400 tonnes (soit approximativement 14 millions de livres).

Comme expliqué précédemment, les coûts ont été estimés en dollars canadiens avec un taux d'indexation annuel de 3,3 %.

Les facteurs de coût ayant une incidence sur les principales composantes du système sont le

développement sur plusieurs sites, la complexité des interactions avec l'entrepreneur et la complexité du projet. Ces facteurs s'appliquent aux tâches d'ingénierie des systèmes et de gestion du projet requise pour entreprendre un projet de cette complexité. Tous les facteurs du modèle sont indiqués, et décrits, à l'Appendice C.

3.5.1 Processus de normalisation des données

La première étape, dans l'établissement d'un modèle paramétrique, consiste à normaliser les données utilisées dans le modèle. Dans le cas qui nous intéresse, il s'agit d'un éventail de navires comparables. Le DPB a obtenu une « base de données » refermant les points de comparaison suivants⁷² :

- Nom du navire
- Classe du navire
- Nombre de navires construits
- Pays d'origine
- Chantier naval
- Année de fin de la construction (date de production)
- Poids lège (en tonnes)
- Taille (longueur, largeur, tirant d'eau)
- Effectif (équipage⁷³)
- Groupes motopropulseurs et moteurs
- Type de coûts
- Notes sur les coûts

La base de données renfermait principalement des données sur les navires de la Garde côtière du Canada (NGCC) produits de 1969 à aujourd'hui. Ces données ayant été fournies par navire, le nettoyage, la normalisation et la calibration des données ont dû aussi être fournis par navire. Les estimations de coûts ont donc été effectuées par navire.

⁷² Se reporter à l'Appendice B.

⁷³ Se reporter à l'Appendice A.

Les principales données requises pour calibrer le modèle étaient l'année de construction, le poids et le coût du navire. Les données relatives aux NGCC ayant toutes été données dans les mêmes unités de mesure et de devise, la normalisation des données requise a été minimale. La section suivante consiste en une brève description des navires envisagés, et de ceux retenus, pour la calibration.

3.5.1.1 Navires comparables

Il est nécessaire, afin d'effectuer une estimation paramétrique des coûts, d'établir une liste des navires dont les fonctions sont similaires à celles du navire en question.

Quatre classes de navires ont été envisagées comme points de comparaison : Svalbard, Thetis, Knud Rasmussen, ainsi que la flotte actuelle des navires de la Garde côtière canadienne, qui possèdent des degrés variables de résistance aux glaces.

Puisqu'il était impossible d'obtenir les caractéristiques détaillées du produit, le DPB a commencé par consulter des experts navals familiers des besoins de ce navire et a comparé ces derniers avec ceux du Svalbard, du Thetis, du Knud Rasmussen et du NGCC. L'information ainsi obtenue a été utilisée pour évaluer la complexité de construction du navire par comparaison avec différents navires de taille et de capacité similaires à celles du projet de NPEA. Au terme de cet exercice, il a été établi que la conception canadienne différait :

1. du Svalbard sur plusieurs points importants (se reporter à la Section 2 et à l'Appendice B.1), auxquels s'ajoute l'absence de données fiables sur son coût;
2. du Thetis, dont le poids est presque moitié moindre et pour lequel, comme pour le

Svalbard, aucune donnée fiable n'est disponible sur son coût;

3. du Knud Rasmussen, dont le poids est le quart celui du NPEA, qui est moins résistant aux glaces que ce dernier, et sur lequel, une fois encore, aucune donnée fiable n'est disponible sur son coût.

Ainsi, donc, le navire le plus similaire, et construit au Canada, est-il le NGCC, sur le coût duquel des données fiables sont disponibles. Pour ces raisons, le NGCC a été choisi comme point de comparaison. Une étude comparative plus détaillée de ces navires est présentée à l'Appendice B.

3.5.2 Processus de calibration de la complexité de fabrication

Le logiciel TruePlanning utilise l'année de construction, le poids et le coût en dollars d'aujourd'hui pour calibrer la complexité en fonction de l'éventail de navires comparables choisi. Pour une complexité donnée, le modèle permet d'établir, avec des degrés de certitude et de précision chiffrés, le coût du projet. Il est donc important de réduire la complexité à une fourchette de valeurs possibles.

Le Tableau 3-2 ci-dessous présente les résultats de l'analyse de complexité des NGCC effectuée au moyen de TruePlanning. Plus de détails sur les navires figurant dans le tableau peuvent être consultés au Tableau B-1 de l'Appendice B, en page 30. À quelques rares exceptions, plus le navire est lourd et plus sa complexité est élevée.

Le Diagramme 3-2, indique le degré de complexité calculé en fonction du poids du navire à partir des données figurant au Tableau 3-2. Ce diagramme montre clairement que le Louis St-Laurent (LSL), au sommet, et le Griffon, tout en bas, se détachent du reste des navires en termes de quotient poids/complexité. Ces deux navires ont été construits bien avant les autres (voir l'Appendice B)

et semblent suivre une courbe de complexité différente. Ces deux navires ont donc été exclus de la régression linéaire utilisée pour estimer la complexité du NPEA en fonction de son poids ($R^2=0,64$, $p < 0,01$). La complexité d'un NPEA de 14,16 millions de livre a ainsi été estimée à 3,73.

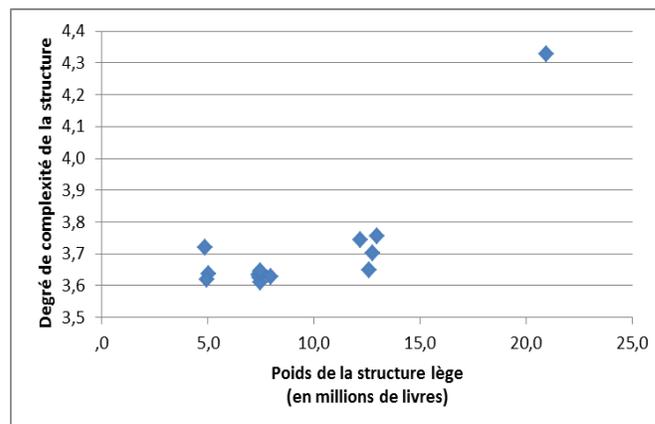
Ce degré de complexité de construction peut être utilisé pour calculer une estimation ponctuelle, mais une fourchette de valeurs a été utilisée pour mener l'analyse des risques (se reporter à l'Appendice F pour les facteurs de risque et à la section 4 pour les intervalles de confiance en résultant).

Tableau 3-2 : Degré de complexité de navires de la Garde côtière canadienne comparables

| Nom du navire | Degré de complexité | Poids de la structure légère (en livres) | Coût reporté (en M\$ d'aujourd'hui) |
|-----------------------|---------------------|--|-------------------------------------|
| Louis St-Laurent | 4,327 | 20 939 520 | 170 \$ |
| Henry Larsen | 3,755 | 12 992 000 | 104 \$ |
| Amundsen | 3,702 | 12 788 160 | 52 \$ |
| Des Groseilliers | 3,648 | 12 613 440 | 65 \$ |
| Pierre Radisson | 3,744 | 12 199 040 | 52 \$ |
| Griffon | 3,719 | 4 883 200 | 14 \$ |
| Edward Cornwallis | 3,634 | 7 403 200 | 60 \$ |
| Sir William Alexander | 3,626 | 7 443 520 | 60 \$ |
| Ann Harvey | 3,611 | 7 461 440 | 60 \$ |
| George R. Pearkes | 3,640 | 7 479 360 | 60 \$ |
| Sir Wilfred Laurier | 3,628 | 7 965 440 | 60 \$ |
| Martha L. Black | 3,645 | 7 483 840 | 60 \$ |
| Samuel Risley | 3,636 | 5 051 200 | 41 \$ |
| Earl Grey | 3,619 | 4 977 280 | 41 \$ |

Source : DPB au moyen du logiciel TruePlanning.

Diagramme 3-2 : Degré de complexité en fonction du poids du navire



Source : DPB au moyen du logiciel TruePlanning.

4 Résultats de l'estimation

Au moyen du modèle et des paramètres décrits dans la précédente section, ainsi que de paramètres additionnels décrits à l'Appendice C, un éventail d'estimations ponctuelles a été produit, au moyen du logiciel TruePlanning. Ces estimations ont été ajustées en fonction des risques, pour un intervalle de confiance allant de 5 à 95 %. TruePlanning calcule les estimations correspondant à l'intervalle en faisant varier les principaux facteurs de coût choisis par l'estimateur de coûts. Dans ce cas précis, ce sont le poids de la structure, la complexité de fabrication, la complexité de l'ingénierie et la caractéristique opérationnelle que l'on a fait varier pour produire les estimations correspondant à l'intervalle de confiance (se reporter à l'Appendice F pour une description de ces facteurs et des fourchettes utilisées).

Encadré 4 : Pourquoi le niveau de confiance est-il important?

Les modèles d'estimation de coûts permettent d'obtenir deux types de résultats : des estimations ponctuelles et des intervalles de confiance.

Les estimations ponctuelles permettent d'établir le coût prévu en fonction de ce que les estimateurs jugent être le

résultat le plus probable du projet. Cependant, dans le cas de projets complexes tels que celui du NPEA, de nombreux ajustements devront probablement être apportés aux plans de conception et de construction. Afin de tenir compte des risques associés au projet, les estimateurs de coûts effectuent également des analyses des risques afin d'évaluer comment la modification des principaux facteurs (p. ex. le poids du navire) peut avoir des répercussions sur l'estimation des coûts. Un logiciel est utilisé pour calculer, à partir de différentes combinaisons possibles de facteurs, un éventail d'estimations des coûts possibles qui définissent, une fois ordonnées, un intervalle allant de plus faible à plus élevé. La médiane de cet intervalle, correspondant à un niveau de confiance de 50 %, est considérée comme la norme minimale acceptable lorsqu'il s'agit d'établir un budget. Les organisations les moins enclines à prendre des risques, ou qui entreprennent des projets plus risqués, peuvent établir des budgets avec un niveau de confiance de 80 %, à savoir que seulement 20 % des estimations donnent des valeurs supérieures au budget établi.

Deux éventails d'estimations ont été produits. Le premier se fondait sur l'hypothèse que la construction du NPEA débuterait, comme prévu, en septembre 2015 et le second sur l'hypothèse que le début de la construction sera retardé d'un à deux ans. Chacun de ces cas sera examiné.

4.1 Estimation des coûts du NPEA

Des estimations ponctuelles, ajustées en fonction des risques et assorties d'intervalles de confiance, ont été calculées pour des scénarios tablant sur quatre, cinq, six et huit navires dont la construction débuterait, comme prévu, en septembre 2015. Les résultats en sont présentés dans le Tableau 4-1 et représentés dans le Diagramme 4-1 de la page suivante.

Comme on peut le constater, il n'est pas possible de construire huit ou six navires dans les limites d'un budget de 2,8 milliards de dollars, et ce, pour quelque intervalle de confiance que ce soit. Ce n'est qu'en réduisant le nombre de navires construits à cinq que l'on obtient un niveau de confiance de 5 %

ou plus. Pour cinq navires, le niveau de confiance est tout juste inférieur à 20 %. Il est donc très improbable que l'on puisse construire cinq navires sans augmenter le budget. Un niveau de confiance tout juste inférieur à 20 % signifie que la probabilité que le budget soit dépassé est de 80 %. On peut constater, à partir du Tableau 4-1, que, pour obtenir un niveau de confiance de 50 % pour cinq navires, le budget doit être augmenté d'au moins 230 millions de dollars. Un scénario beaucoup plus probable, pour un budget de 2,8 milliards de dollars, est la construction de quatre navires avec un niveau de confiance oscillant entre 50 et 55 %. Dans un tel scénario, la probabilité de dépassement de budget n'est que de 45 à 50 %.

Si le gouvernement veut produire, comme prévu, un minimum de six navires, le budget devra être augmenté de 470 millions de dollars pour obtenir un niveau de confiance de 50 %.

Tableau 4-1 : Estimation du coût total de la production d'un nombre donné de navires*

| Niveau de confiance | Coût total pour N navires (milliards de dollars) | | | |
|---------------------|--|-----------|-----------|-----------|
| | 8 navires | 6 navires | 5 navires | 4 navires |
| 5 % | 3,27 | 2,84 | 2,62 | 2,39 |
| 10 % | 3,37 | 2,93 | 2,70 | 2,47 |
| 15 % | 3,43 | 2,99 | 2,76 | 2,53 |
| 20 % | 3,49 | 3,04 | 2,81 | 2,58 |
| 25 % | 3,54 | 3,08 | 2,85 | 2,62 |
| 30 % | 3,58 | 3,12 | 2,89 | 2,65 |
| 35 % | 3,62 | 3,16 | 2,93 | 2,69 |
| 40 % | 3,66 | 3,20 | 2,96 | 2,72 |
| 45 % | 3,70 | 3,23 | 2,99 | 2,75 |
| 50 % | 3,74 | 3,27 | 3,03 | 2,78 |
| 55 % | 3,77 | 3,30 | 3,06 | 2,82 |
| 60 % | 3,81 | 3,34 | 3,10 | 2,85 |
| 65 % | 3,86 | 3,38 | 3,13 | 2,89 |
| 70 % | 3,90 | 3,42 | 3,17 | 2,92 |
| 75 % | 3,95 | 3,46 | 3,21 | 2,96 |
| 80 % | 4,00 | 3,51 | 3,26 | 3,01 |
| 85 % | 4,06 | 3,57 | 3,32 | 3,06 |
| 90 % | 4,15 | 3,65 | 3,39 | 3,13 |
| 95 % | 4,27 | 3,76 | 3,5 | 3,24 |

*La couleur verte indique que le budget est respecté.

Source : DPB au moyen du logiciel TruePlanning.

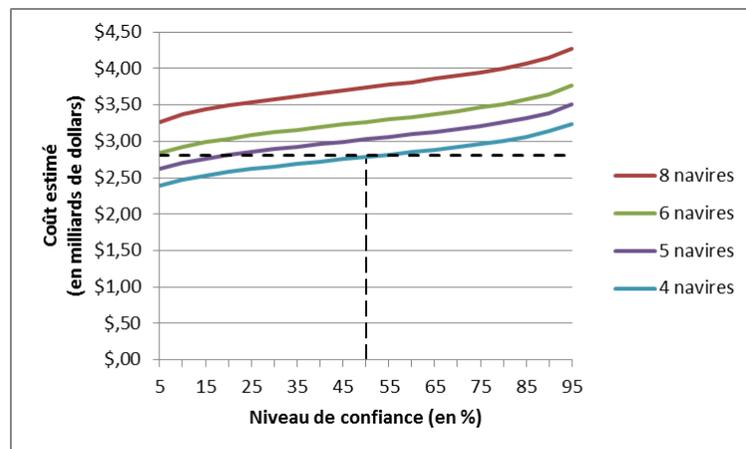
4.1.1 Calendrier de livraison sans retard

Étant donné que le gouvernement n'a annoncé aucun calendrier de livraison du NPEA, le DPB s'est fondé, pour l'établir, sur les calendriers de livraison de précédents navires de la Marine royale canadienne. Il s'est donc renseigné sur les calendriers de livraison des navires de patrouille de classe Kingston, qui ont été construits durant les années 1990, et des frégates de classe Halifax, qui ont été construites de la fin des années 1980 au milieu des années 1990. De façon générale, deux navires de patrouille de classe Kingston ont été livrés chaque année par chacun des chantiers navals, mais ces navires sont beaucoup plus petits, ne pesant qu'environ 1 000 tonnes contre les 6 400 tonnes du NPEA⁷⁴. Pour les frégates de classe Halifax, qui

⁷⁴ Wikipedia (2014e) et sources du DPB.

sont plus comparables, avec un poids de 4 800 tonnes, le calendrier de livraison était d'un par an et par chantier naval⁷⁵. On a donc estimé que le calendrier de livraison du NPEA serait similaire à celui des frégates de classe Halifax, à raison d'un par an.

Diagramme 4-1 : Coût des navires en fonction du niveau de confiance



Source : DPB au moyen du logiciel TruePlanning.

Selon les estimations du logiciel TruePlanning, le délai optimal de construction, au regard du coût des navires de production (du deuxième au septième navire), est de 30 mois. Le délai optimal de construction, au regard du coût du prototype (le premier navire), est très sensible à divers facteurs, dont le poids du navire. Compte tenu de ce degré de sensibilité, fixer un mois de livraison serait trop sujet à erreur, et la livraison du prototype n'est donc indiquée que comme prévue pour 2018 (autour du mois de septembre).

Les dates de livraison de chaque navire, ainsi que le nombre d'années-personnes nécessaires pour le construire, sont indiqués dans le Tableau 4-2 ci-dessous. Le Diagramme 4-2 ci-dessous présente la courbe d'apprentissage en termes de réduction prévue du nombre d'années-personnes nécessaires à la construction d'un navire.

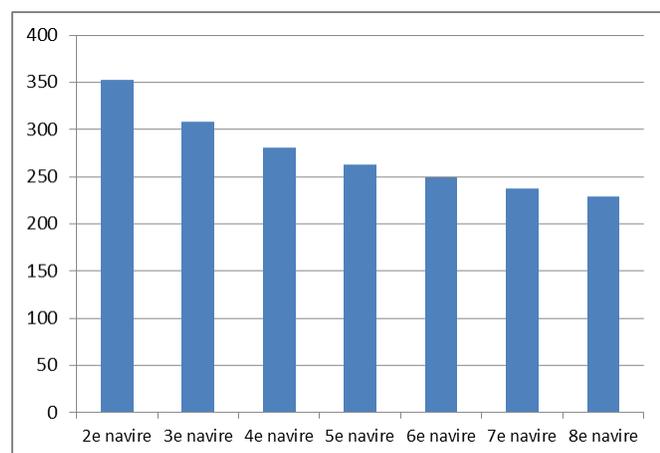
⁷⁵ Wikipedia (2014c).

Tableau 4-2 : Dates de livraison des navires

| Navire n° | Date de livraison | Nombre d'années-personnes par navire ⁷⁶ |
|-----------|-------------------|--|
| 1 | Probablement 2018 | Voir note ⁷⁷ |
| 2 | Janvier 2019 | 353 |
| 3 | Janvier 2020 | 308 |
| 4 | Janvier 2021 | 281 |
| 5 | Janvier 2022 | 262 |
| 6 | Janvier 2023 | 249 |
| 7 | Janvier 2024 | 238 |
| 8 | Janvier 2025 | 229 |

Sources : DPB au moyen du logiciel TruePlanning.

Diagramme 4-2 : Nombre d'années-personnes nécessaires pour construire chaque navire



Source : DPB au moyen du logiciel TruePlanning.

Le nombre d'années-personnes pour construire chaque navire a été calculé par le logiciel TruePlanning en tablant sur 1 824 heures par personne et par an.

Il est important de remarquer que le nombre d'années-personnes diminue pour chaque navire. C'est le résultat de « l'apprentissage » dont la

variation du taux se traduit par une courbe d'apprentissage. Un chantier naval peut utiliser cette diminution pour :

1. réduire le délai nécessaire pour construire un navire en conservant le même nombre d'employés;
2. réduire le nombre d'employés en conservant le même délai de construction;
3. une combinaison de 1 et 2 (p. ex. un délai moins long et moins d'employés).

Le DPB a tablé sur le fait que le chantier naval livrerait un navire par année (tel qu'indiqué dans le tableau) comme cela avait été le cas pour de précédents navires de tailles similaires⁷⁸. Le délai nécessaire pour construire le 2^e navire a été estimé à 30 mois. Aucune hypothèse n'a été formulée quant au fait que les navires 3 à 8 puissent, ou non, nécessiter un délai moindre, une main-d'œuvre moindre, ou bien une combinaison des deux.

4.1.2 Estimation des coûts du NPEA avec un et deux ans de retard

Le DPB s'est également penché sur les répercussions qu'aurait sur le programme un retard du début de la construction des NPEA. La principale répercussion d'un retard est que, en raison de l'inflation, le gouvernement dépenserait le même montant (2,8 milliards de dollars) pour un nombre réduit de navires livrés. Étant donné que l'inflation en matière d'approvisionnement militaire est supérieure à l'indice des prix à la consommation (IPC), les retards des projets militaires ont des répercussions plus importantes sur leur budget qu'on ne pourrait le penser⁷⁹. Comme précédemment indiqué,

⁷⁶ Pour la construction seulement.

⁷⁷ Il n'est pas possible d'estimer de façon fiable le nombre d'années-personnes nécessaires pour construire le premier navire, puisque, dans le cas du prototype, l'ingénierie s'ajoute à la construction. Les deux combinées sont estimées à environ 2 000 années-personnes.

⁷⁸ Se reporter au calendrier de livraison du précédent programme des frégates de classe Halifax : Wikipedia (2014c).

⁷⁹ Arena, Blickstein, Younossi et Grammich (2006), Encadré 3, section 3.4 en page 11

l'hypothèse utilisée pour la présente analyse est que le taux d'indexation sera de 3,3 %.

Afin d'évaluer les répercussions d'un retard sur le projet, des estimations ont été faites en tablant sur des retards d'un et deux ans de la construction de trois et quatre navires. Cela signifierait que la construction débuterait en septembre 2016 ou en septembre 2017. Les résultats de ces estimations sont présentés dans le Tableau 4-3 et représentés dans le Diagramme 4-3 ci-dessous.

L'hypothèse d'un retard dans la construction de cinq navires n'est pas présentée puisque ne serait-ce qu'un an de retard se traduirait par un niveau de confiance de moins de 15 %.

Avec un an de retard, le niveau de confiance, pour quatre navires, baisse d'une fourchette de 50 à 50 % à 45 %. Une telle baisse augmente les risques que présente le projet de construire quatre navires dans les limites d'un budget établi à 2,8 milliards de dollars. Avec deux ans de retard, le niveau de confiance tombe entre 35 et 40 %. De façon réaliste, si le projet de NPEA est retardé de deux ans, il est probable que seuls trois navires pourront être construits dans les limites du budget établi.

Il est important de souligner que l'on entend par « début de la construction » le début réel de la construction, par opposition à une simple cérémonie de lancement de projet. Les dates de début et de fin de la construction auront des répercussions concrètes non seulement sur le programme de NPEA, mais également sur celui du NCSC. Pour ce qui est des répercussions sur le programme de NCSC, se reporter à l'Encadré 5 ci-dessous.

Tableau 4-3 : Estimations des coûts de 3 et 4 navires avec un et deux ans de retard du début de la construction*

| Niveau de confiance | Coût total pour N navires (en milliards de dollars) | | | |
|---------------------|---|-----------|--------------------|-----------|
| | Un an de retard | | Deux ans de retard | |
| | 4 navires | 3 navires | 4 navires | 3 navires |
| 5 % | 2,44 | 2,20 | 2,49 | 2,24 |
| 10 % | 2,52 | 2,28 | 2,57 | 2,32 |
| 15 % | 2,58 | 2,33 | 2,63 | 2,37 |
| 20 % | 2,62 | 2,38 | 2,67 | 2,42 |
| 25 % | 2,66 | 2,41 | 2,71 | 2,46 |
| 30 % | 2,70 | 2,45 | 2,75 | 2,49 |
| 35 % | 2,74 | 2,48 | 2,79 | 2,52 |
| 40 % | 2,77 | 2,51 | 2,82 | 2,56 |
| 45 % | 2,80 | 2,54 | 2,85 | 2,59 |
| 50 % | 2,83 | 2,58 | 2,89 | 2,62 |
| 55 % | 2,87 | 2,61 | 2,92 | 2,65 |
| 60 % | 2,90 | 2,64 | 2,95 | 2,68 |
| 65 % | 2,94 | 2,67 | 2,99 | 2,72 |
| 70 % | 2,97 | 2,71 | 3,03 | 2,75 |
| 75 % | 3,01 | 2,75 | 3,07 | 2,79 |
| 80 % | 3,06 | 2,79 | 3,11 | 2,84 |
| 85 % | 3,12 | 2,84 | 3,17 | 2,89 |
| 90 % | 3,19 | 2,91 | 3,24 | 2,96 |
| 95 % | 3,29 | 3,01 | 3,35 | 3,06 |

*La couleur verte indique que le budget est respecté.

Source : DPB au moyen du logiciel TruePlanning.

Encadré 5 : Répercussions sur le programme de NCSC

Le gouvernement ayant annoncé que son objectif était de faire du programme de NPEA le « point de départ ⁸⁰ » à l'approche de projets beaucoup plus complexes, comme celui du NCSC, il est utile de présenter brièvement ici l'incidence, et les répercussions, que peut avoir le premier sur le second.

L'expression « point de départ » signifie que l'expérience acquise par le chantier naval lors de la construction du NPEA sera mise à profit pour celle du NCSC. Qui plus est, il est également prévu que certains frais généraux seront partagés par les deux programmes lorsque celui de NPEA tirera à sa fin et que celui de NCSC sera mis en route.

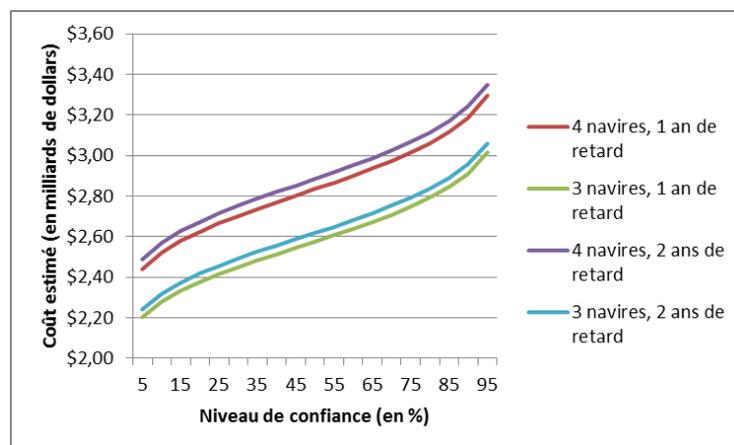
⁸⁰ Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (2013c)

À l'heure actuelle, il est prévu que le premier NCSC soit livré à la « [m]i 2020⁸¹ ». À des fins d'illustration, supposons que cela signifie en 2025. En se fondant sur l'hypothèse qu'il faudra quatre années pour construire le NCSC (se reporter à l'Appendice G), il faudrait donc que la construction du NCSC débute en 2021 pour qu'il puisse être mis en service en 2025. À l'heure actuelle, cela concorde plutôt bien avec une date d'achèvement du quatrième NPEA qui est prévue pour 2021 (se reporter au Tableau 4-2 ci-dessus). Mais si, pour une raison quelconque, le programme de NCSC prend du retard et, par conséquent, si sa construction ne débute pas en 2021, il est probable que la productivité du chantier naval baisse durant cet intervalle en raison des mises à pied et de l'attrition, et que le partage des frais généraux entre les deux projets en soit également réduit⁸². Bien que cela n'ait pas de répercussions financières sur le projet de NPEA, il est probable que cela fasse augmenter le coût du projet de NCSC.

En résumé, compte tenu du budget du programme de NPEA, fixé à 2,8 milliards de dollars, il est prévu que ce dernier s'achève en 2021. Si la construction du NCSC ne débute pas en 2021, le gain d'expérience et l'économie de frais généraux permis par le NPE risquent d'en être réduits, ce qui augmenterait le coût total du projet de NCSC.

Le seul avantage éventuel (autant que l'on puisse parler d'avantage) à un retard du début de la construction est que le chantier naval Irving risque moins de se retrouver sans ouvrage si le début de la construction des NCSC est lui aussi retardé. Mais il convient de rappeler qu'un retard du projet de NCSC réduirait probablement le nombre de navires livrés en raison de l'inflation.

Diagramme 4-3 : Coût des navires en fonction du niveau de confiance et du retard du début de la construction



Source : DPB au moyen du logiciel TruePlanning.

4.2 Analyse de sensibilité

Afin d'établir l'incidence des principaux facteurs de coût sur le budget d'acquisition, le DPB a entrepris une analyse de sensibilité du modèle d'estimation des coûts d'acquisition de quatre navires.

Une analyse de sensibilité permet de mettre en lumière l'incidence financière de la variation d'un facteur de coût donné, tous les autres facteurs demeurant constants. Bien qu'il soit possible d'effectuer une analyse de tous les facteurs en présence, par souci de brièveté, seuls les facteurs essentiels seront ici présentés et analysés, à savoir le poids de la structure, la complexité de fabrication, la caractéristique opérationnelle et la complexité de l'ingénierie (se reporter à l'Appendice F).

L'analyse de sensibilité a été effectuée selon la méthodologie d'estimation en fonction des risques précédemment expliquée et pour des résultats ayant un niveau de confiance de 50 %. Cela signifie que, bien que l'on fasse varier les facteurs du modèle, les fourchettes de risque, telles que définies à l'Appendice F ne varient pas. L'absence de variation de ces fourchettes de risque associées aux facteurs

⁸¹ Défense nationale et Forces armées canadiennes (2014b)

⁸² Puisque le contrat de construction des NCSC n'a pas encore été signé, tous les coûts de l'entente-cadre sont réputés être couverts par le NPEA. Se reporter à la section 3.4.1.

du modèle se traduit par une variation réduite du coût.

Enfin, toutes les variations du coût en fonction des sensibilités décrites dans les sous-sections suivantes se combinent de façon additive et multiplicative. Ainsi, si le poids d'un navire, de même que sa complexité de fabrication, augmentent, ces deux variations entraînent chacune une augmentation des coûts, auxquelles s'ajoute celle résultant de l'interaction entre les deux facteurs.

4.2.1 Sensibilité au poids

Les estimateurs de coûts entreprennent habituellement une analyse de sensibilité au poids du navire parce qu'il est probable que le poids réel diffère de celui prévu par les concepteurs. L'analyse vise donc à établir dans quelle mesure une variation du poids du navire peut entraîner une variation du coût de ce dernier.

Le coût d'un navire augmente avec son poids pour deux principales raisons. Une raison évidente est que l'acier coûte de l'argent et que, plus le navire sera lourd, et plus il faudra d'acier pour le construire. Une raison plus subtile est qu'un gain de poids traduit souvent des capacités additionnelles. Plus de capacités, initialement non prévues, sont ajoutées à un navire, et plus son poids augmente. Ces capacités additionnelles ont un coût. Qui plus est, à partir d'un certain seuil, ajouter plus de poids nécessite de modifier le système de propulsion, et une capacité additionnelle en carburant, si le navire est censé continuer de se déplacer à la même vitesse et sur la même distance.

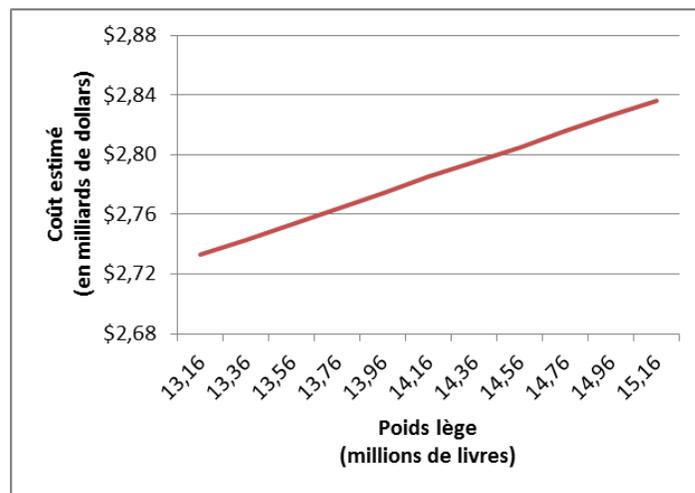
Bien que le poids du navire puisse constituer un facteur de coût important, l'analyse de sensibilité démontre qu'une légère réduction du poids du NPEA ne permettrait pas de réduire sensiblement son coût. En termes simples, une légère surestimation du poids

multiplié par quatre n'est pas en mesure de permettre la construction d'un navire supplémentaire. Cependant, une sous-estimation du poids pourrait mettre en péril la construction d'un quatrième navire.

L'incidence du poids du NPEA sur son coût, pour un niveau de confiance de 50 %, est représentée par le Diagramme 4-4 ci-dessous.

Le poids prévu du NPEA est actuellement de 14,16 millions de livres. Sur le diagramme ci-dessous, cela correspond à un coût de 2,78 milliards de dollars. Si le poids du NPEA devait augmenter jusqu'à 15,16 millions de livres, le coût estimé de quatre navires passerait, pour un niveau de confiance de 50 %, à 2,84 milliards de dollars.

Diagramme 4-4 : Incidence du poids du navire sur le coût de 4 navires



Source : DPB au moyen du logiciel TruePlanning.

La fourchette de poids utilisée pour l'analyse de sensibilité représente une variation maximale de $\pm 7\%$. Si le poids atteint l'extrémité supérieure de la fourchette (15,16 millions de livre), le niveau de confiance associé au fait de pouvoir construire quatre navires pour 2,8 milliards de dollars tombe à 45 %. Si le poids, à l'inverse, est inférieur de 7 %, les

économies réalisées ne seront cependant pas suffisante pour construire un navire supplémentaire.

Il est important de souligner que réduire le poids d'un navire tout en maintenant sa complexité constante ne constitue peut-être pas une hypothèse réaliste. La raison en est que réduire le poids d'un navire revient souvent à trouver un compromis entre sa capacité et sa complexité. Si son poids est réduit tout en maintenant sa capacité constante, sa complexité va nécessairement s'accroître et son coût sera plus élevé. Réduire le poids d'un navire ne consiste pas à construire un navire où tout serait légèrement plus petit : réduire la taille d'un navire entraîne nécessairement la réduction de sa capacité opérationnelle ou l'accroissement de sa complexité.

4.2.2 Sensibilité à la complexité de fabrication

Le modèle d'estimation de coûts est sensible au facteur complexité, car c'est celui qui reflète le degré et la quantité de technologie présents dans le navire et, par conséquent, le nombre d'années-personnes requis pour le concevoir et le construire. Comme expliqué à la section 3.5.2 en page 14, la majorité des NGCC se sont révélés avoir un degré de complexité oscillant entre 3,6 et 3,8 et, après régression linéaire, une complexité de 3,73 a été choisie pour ce modèle.

Comme indiqué dans le Tableau 4-4 ci-dessous, le projet de NPEA serait moins coûteux si son degré de complexité était moindre. Cependant, les données accumulées sur les NGCC semblent démontrer qu'un navire de patrouille résistant aux glaces ne puisse posséder un degré de complexité inférieur à 3,65. L'inverse est également vrai puisque la nature hybride du navire pourrait augmenter sa complexité et, incidemment, son coût.

Tableau 4-4 : Incidence de la complexité sur le coût de 4 navires

| Degré de complexité | Coût estimé (en milliards de dollars) | Notes |
|---------------------|---------------------------------------|--|
| 3,65 | 2,70 | Les NGCC (hormis le LSL) se situent dans cette fourchette. |
| 3,69 | 2,74 | |
| 3,73 | 2,78 | |
| 3,77 | 2,83 | |
| 3,81 | 2,88 | Cette fourchette a été incluse afin de tenir compte de l'incertitude liée à la construction d'un navire hybride. |

Source : DPB au moyen du logiciel TruePlanning.

4.2.3 Caractéristique opérationnelle

La caractéristique opérationnelle reflète l'utilisation prévue du matériel (p. ex. navire civil ou militaire). Le DPB a décidé de choisir un facteur qui reflète la fiabilité escomptée du NPEA (soit 1,5 : se reporter à l'Appendice C). Pour un examen des différentes valeurs de la « caractéristique opérationnelle », se reporter à l'Appendice F. Il est possible que tout ou partie des éléments constitutifs du navire soient construits selon des caractéristiques légèrement supérieures ou inférieures, mais dépasser 1,6, qui est la médiane pour les navires militaires, semble irréaliste. C'est pourquoi on a fait varier la caractéristique opérationnelle entre 1,2 (médiane pour les navires civils) et 1,6. Une valeur de 1,2 réduirait le coût d'acquisition de quatre navires de 340 millions de dollars, et une valeur de 1,6 l'augmenterait de 130 millions de dollars.

4.3 Complexité de l'ingénierie

Le degré de complexité de l'ingénierie consiste en une mesure des facteurs compliquant la conception

au regard de l'expérience et des qualifications de l'équipe de conception en ingénierie. Le DPB s'est fondé sur la valeur « modérée » (soit 1,1) de ce facteur. La fourchette de valeurs retenues reflète tant une évaluation optimiste qu'une évaluation pessimiste des compétences en ingénierie de l'équipe de conception. En faisant varier ce facteur (entre 1,0 et 1,2), on obtient une différence maximale d'environ ± 65 millions de dollars pour l'acquisition de quatre navires. Se reporter à l'Appendice C-1 en page 38, pour un examen plus approfondi du degré de complexité de l'ingénierie.

Bibliographie

- Arena, M., Blickstein, I., Younossi, O., & Grammich, C. A. , (2006), *Why Has the Cost of Navy Ships Risen? A Macroscopic Examination of the Trends in U.S Naval Ship Costs Over the Past Several Decades*, Santa Monica, CA, RAND Corporation.
- Association internationale des sociétés de classification, (2011), *Requirements concerning POLAR CLASS*, consulté le 10 avril 2014 à http://www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Unified_requirements/PDF/UR_I_pdf410.pdf.
- Bell, J., (2012), « Nanisivik: Nunavut's incredible shrinking naval facility », consulté le 18 juin 2014 à http://www.nunatsiaqonline.ca/stories/article/65674nanisivik_nunavuts_incredible_shrinking_naval_facility/.
- Bjørn Guvåg, Oterhals, O., Johannessen, G., Moghaddam, S. M., Seth, A. T., Ona, T., & Furstrand, R., (2012), *STX OSV Supplier Analysis*.
- Bureau du directeur parlementaire du budget, (2013), *Budget d'acquisition de deux navires de soutien interarmées – Faisabilité* Ottawa, consulté à http://www.pbo-dpb.gc.ca/files/files/JSS_FR.pdf.
- Bureau du vérificateur général du Canada, (2013). *Automne 2013 – Rapport du vérificateur général du Canada*, consulté à http://www.oag-bvg.gc.ca/internet/Francais/parl_oag_201311_03_f_38797.html.
- Cabinet du Premier ministre, (2014), *Réalisations associées à la tournée*, consulté le 12 septembre 2014 à <http://pm.gc.ca/fra/nouvelles/2014/08/19/realisations-associees-la-tournee>.
- Canadian American Strategic Review, (2007), *Armed Naval Icebreakers (A/OPS) – DND/CF News*, publié le 10 juillet 2007, consulté le 4 juin 2014 à <http://www.casr.ca/doc-dnd-icebreaker.htm>.
- Canadian American Strategic Review, (2008a), *Arctic Offshore Patrol Ship - Proposed Ship Capabilities & TSOR features*, consulté le 4 juin 2014 à <http://www.casr.ca/doc-dnd-icebreaker-tsor.htm>.
- Canadian American Strategic Review, (2008b), *BMT Fleet Technology News Release - AOPS DELMS*, consulté le 4 juin 2014 à <http://www.casr.ca/doc-news-aops-definition.htm>.
- Canadian American Strategic Review, (2008c), *Current Danish Naval Projects*, consulté le 11 juin 2014 à <http://www.casr.ca/id-danish-naval-projects-rasmussen.htm>.
- Canadian American Strategic Review, (2012), *Background – Arctic Offshore Patrol Ship (OPS) Naval Icebreaker*, consulté le 11 mars 2014 à <http://www.casr.ca/bg-navy-aops-icebreaker.htm>.
- Chase, R. B., (2001), *Operations management for competitive advantage* (9 éd.), McGraw Hill/Irwin.
- Chasemore, R., & Jenssen, H., (2010), *Icebreaker project 2010*.
- Christensen, K. D., (2007), « The Navy in Canada's Northern Archipelago », *Defence Requirements for Canada's Arctic*.
- Congressional Budget Office, (2013). *An Analysis of the Navy's Fiscal Year 2014 Shipbuilding Plan*, Washington (DC), consulté à <http://www.cbo.gov/sites/default/files/cbofiles/attachments/44655-Shipbuilding.pdf>.
- Danish Naval History, (2008), *First new Arctic Offshore Patrol Vessel Commissioned*, consulté le 11 juin 2014 à http://www.navalhistory.dk/english/navynews/2008/0220_KnudRasmussen.htm.
- Defense Industry Daily, (2014), « LCS: The USA's Littoral Combat Ships », consulté le 19 juin 2014 à <http://www.defenseindustrydaily.com/the-usas-new-littoral-combat-ships-updated-01343/#FY2002-2006>.
- Défense nationale et les Forces armées canadiennes, (2013a), *Navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique (NPEA)*, consulté le 27 mai 2014 à <http://www.forces.gc.ca/fr/faire-affaires-equipement/navire-patrouille-extracotier-arctique.page?>.
- Défense nationale et les Forces armées canadiennes, (2013b), *Rapport ministériel sur le rendement 2012-2013 : Rapport d'étape sur les projets visés par une approbation spéciale du Conseil du Trésor*, consulté le 17 mars 2014 à <http://www.forces.gc.ca/fr/a-propos-rapports-pubs-performance-ministerielle/2013-section-iii-rapport-etape-projets-vises-une-approbation-speciale-conseil-tresor.page>.

Analyse budgétaire de l'acquisition de la classe de navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique

- Défense nationale et les Forces armées canadiennes, (2014a), Rapports sur les plans et les priorités 2013-2014 - *Rapport d'étape sur les projets de transformation et les grands projets de l'État*, « Navire de patrouille extracôtier/de l'Arctique », consulté le 7 mars 2014 à <http://www.forces.gc.ca/fr/a-propos-rapports-pubs-rapport-plans-priorites/2013-autres-rapport-etape-projets-transformation-grands-projets-etat-rpp-2013-2014.page#arctique>.
- Défense nationale et les Forces armées canadiennes, (2014b), Rapports sur les plans et les priorités 2013-2014 - *Rapport d'étape sur les projets de transformation et les grands projets de l'État*, « Projet de navire de combat de surface canadien », consulté le 18 juin 2014 à <http://www.forces.gc.ca/fr/a-propos-rapports-pubs-rapport-plans-priorites/2013-autres-rapport-etape-projets-transformation-grands-projets-etat-rpp-2013-2014.page#navirecombat>.
- Demande d'information IR0107, (2013), *Renseignements relatifs au projet des navires de patrouille extracôtiers ou de l'Arctique*, consulté le 10 juin 2014 à http://www.pbo-dpb.gc.ca/files/files/response_IR0120_IR0107_AO_PS_FR.pdf.
- Demande d'information IR0155, (2014). *Renseignements relatifs au chantier naval Irving d'Halifax et au projet de NPEA*, consulté le 24 juin 2014 à http://www.pbo-dpb.gc.ca/files/files/IR0155_Response_PWGSC_May_23_2014_FR.pdf.
- Det Norske Veritas, (2009), « Ships for Navigation in Ice ». *Rules for the Classification of Ships* consulté le 5 juin 2014 à <https://exchange.dnv.com/publishing/ruleship/2009-07/ts501.pdf>.
- Doucette, K., (2013), Arctic Patrol Ship Contract: Irving Shipbuilding Gets \$288-Million Deal For Ship, consulté le 25 mars 2014 à http://www.huffingtonpost.ca/2013/03/07/arctic-patrol-ship-contract-irving_n_2827614.html?view=screen.
- ECORYS SCS Group, (2009), *Study on the Competitiveness of the European Shipbuilding Industry*, Rotterdam.
- Équipe de recherche du Maritime Security Policy Program du CFPS, (2013), *Analysis of "Shipbuilding contract holds \$250M mystery" by Terry Milewski*, consulté le 7 mars 2014 à <http://www.navalreview.ca/2013/05/analysis-of-shipbuilding-contract-holds-250m-mystery-by-terry-milewski>.
- homelandsecurity-technology.com, (2014), *KV Svalbard (W 303) Icebreaker / Offshore Patrol Vessel (OPV), Norway*, consulté le 5 juin 2014 à <http://www.homelandsecurity-technology.com/projects/kv-svalbard-w-303-icebreaker-opv/>.
- Irving Shipbuilding Inc., (2013), « Irving Shipbuilding Moves Forward with Detailed AOPS Design, Preparing for Construction in 2015 », consulté le 25 mars 2014 à <http://us5.campaign-archive1.com/?u=afa665b6610ed09d5fb2db021&id=9b9b629e22>.
- Levy, D. A., (2004), NCSM Regina (FFH 334).
- Lloyd's Register, (2013), *Rules & Regulations for the Classification of Ships 2013*, Londres, Royaume-Uni, Lloyd's Register.
- Loi sur le Parlement du Canada*, 79.1 C.F.R. (2007).
- Milewski, T., (2013), « Shipbuilding contract holds \$250M mystery », Canadian Broadcasting Corporation.
- naval-technology.com., (2014), *Thetis Class, Denmark*, consulté le 11 juin 2014 à <http://www.naval-technology.com/projects/thetis/>.
- Proussalidis, D., (2013), *\$56 million just to build Nanisivik refuelling facility*, consulté le 18 juin 2014 à http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:PKZ53XHkJIE:blogs.canoe.ca/eyeonthehill/general/119591/comment-page-1/+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=ca&lr=lang_en%7Cang_fr.
- Radio-Canada, (2013), « Ottawa dévoile un contrat de 288 millions \$ au chantier naval d'Halifax », consulté le 9 juin 2014 à <http://ici.radio-canada.ca/regions/atlantique/2013/03/07/002-annonce-construction-navale-halifax.shtml>.

Analyse budgétaire de l'acquisition de la classe de navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique

- STX Canada Marine, (2012), *The Canadian Arctic Offshore Patrol Ship (AOPS) Design*, consulté le 15 avril 2014 à <http://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=&frm=1&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCgQFjAA&url=http%3A%2F%2Fhigherlogicdownload.s3.amazonaws.com%2FSNAME%2Fce7dbd62-cb5f-4739-abc2-44ac55b35df0%2FUploadedImages%2FAOPS%2520SNAME%2520PNW%2520Section%2520Presentation%2520Rev2.pdf&ei=wZ1NU4eHJpDq2wW6-4CoAg&usg=AFQjCNGEqd4zHqHTcSFVHrpJCiBer9FuA>.
- Thomas, D., (2007a), « Warship Developments: Arctic/Offshore Patrol Ships », *Canadian Naval Review*, vol. 3(3), p. 2., consulté à <http://www.navalreview.ca/wp-content/uploads/public/vol3num3/vol3num3.pdf>.
- Thomas, D., (2007b), « What about sea-based support for the arctic patrol ship? », *Canadian Naval Review*, consulté à <http://www.navalreview.ca/2007/03/what-about-sea-based-support-for-the-arctic-patrol-ship/>.
- Transports Canada, (2010), À notre sujet (Division responsable de la navigation dans l'Arctique), consulté le 10 avril 2014 à <http://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/desn-arctique-notre-sujet-240.htm>.
- Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, (2013a) *Document d'information sur la Stratégie nationale d'approvisionnement en matière de construction navale (SNACN) - Année 2 : Mise à jour*, consulté le 10 mars 2014 à <http://www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/app-acq/sam-mps/ddi-bkgr-10-fra.html>.
- Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, (2013b), *Document d'information : Le gouvernement Harper signe un contrat préliminaire avec Irving Shipbuilding pour les navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique*, consulté le 6 mars 2014 à <http://www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/app-acq/sam-mps/dighscisnpea-bkhgpcisap-fra.html>.
- Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, (2013c), *Notes d'allocation pour Séance d'information technique sur la SNACN*, consulté le 4 juin 2014 à <http://www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/app-acq/sam-mps/sina-tbsn-fra.html>.
- Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, (2013d), *Déclaration en réponse au reportage de la Société Radio-Canada du 2 mai 2013 sur les navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique*, consulté le 27 mai 2014 à <http://www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/app-acq/sam-mps/cbc-fra.html>.
- United States Government Accountability Office, (2009), *GAO Cost Estimating and Assessment Guide: Best Practices for Developing and Managing Capital Program Costs*, consulté à <http://www.gao.gov/assets/80/77175.pdf>.
- Wikipédia, (2014a), « Azipod », consulté le 6 juin 2014 à <http://en.wikipedia.org/wiki/Azipod>.
- Wikipédia (2014b), CCGS Terry Fox, consulté le 11 juin 2014 à http://fr.wikipedia.org/wiki/NGCC_Terry_Fox
- Wikipédia, (2014c), « Classe Halifax », consulté le 20 juin 2014 à http://fr.wikipedia.org/wiki/Classe_Halifax
- Wikipédia, (2014d), « NCSM Halifax (FFH 330) », consulté le 19 juin 2014 à [http://fr.wikipedia.org/wiki/NCSM_Halifax_\(FFH_330\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/NCSM_Halifax_(FFH_330)).
- Wikipédia, (2014e), « Classe Kingston », consulté le 20 juin 2014 à http://fr.wikipedia.org/wiki/Classe_Kingston.
- Wikipédia, (2014f), « NoCGV Svalbard », consulté le 3 juillet 2014 à http://en.wikipedia.org/wiki/NoCGV_Svalbard.
- Wikipédia, (2014g), « USS Arleigh Burke (DDG-51) », consulté le 18 juin 2014 à [http://fr.wikipedia.org/wiki/USS_Arleigh_Burke_\(DDG-51\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/USS_Arleigh_Burke_(DDG-51)).
- Wikipédia, (2014h), « Classe Zumwalt », consulté le 18 juin 2014 à http://fr.wikipedia.org/wiki/Classe_Zumwalt.
- Wikitravel, (2014), « Svalbard », consulté le 11 juin 2014 à <http://wikitravel.org/en/Svalbard>.

Appendice A Terminologie

Effectif : Le terme « effectif » est utilisé pour désigner le nombre de personnes qui assureront le fonctionnement du navire. C'est une variable importante lorsqu'il s'agit de prédire la taille ou la complexité du NPEA, car l'espace requis pour entreposer les provisions et les déchets croît avec la distance entre les ports. L'équipage du NPEA comptera 45 personnes⁸³.

Courbe d'apprentissage unitaire : Plus les employés d'un chantier naval se familiarisent avec la construction d'un navire donné et moins de temps il leur faudra pour construire les navires subséquents. Par conséquent, les estimateurs de coûts doivent tenir compte de l'amélioration de l'efficacité de la main d'œuvre avec le temps. Une manière de le faire est d'utiliser une courbe d'apprentissage unitaire qui permet d'estimer combien de temps il faudra pour produire les navires subséquents⁸⁴.

$$Y_x = Kx^{\log_2(b)}$$

L'exemple suivant illustre en quoi une courbe d'apprentissage unitaire de 95 %⁸⁵ modifie le nombre d'heures de main-d'œuvre directe requises.

- Soit K , le nombre d'heures de main-d'œuvre directe requises pour produire la 1^{re} unité de production d'un navire.
- Soit Y_x , le nombre d'heures de main-d'œuvre directe requises pour produire la 8^e unité de production d'un navire
- Soit x , le numéro de l'unité, à savoir 8 pour le 8^e navire.

- Soit b , le taux d'apprentissage, que l'on estime à 95 % (0,95) pour ce projet

$$Y_8 = K(8)^{\log_2(0,95)}$$

$$Y_8 = K(0,857)$$

$$Y_8/K = 85,7 \%$$

Par conséquent, nous pouvons prédire que le nombre d'heures de main-d'œuvre directe requises pour produire le 8^e navire représenta 85,7 % de celui requis pour le 1^{er} navire.

Dans le modèle utilisé pour estimer le coût du NPEA, le DPB n'a pas borné la courbe d'apprentissage unitaire afin que le logiciel TruePlanning puisse établir la valeur la plus appropriée en fonction des programmes précédents.

⁸³ STX Canada Marine (2012).

⁸⁴ Chase (2001).

⁸⁵ Un taux de 95 % est utilisé à titre d'exemple seulement. Dans le cadre de l'analyse, c'est le logiciel qui a établi la courbe d'apprentissage appropriée.

Appendice B Données sur les navires

Dans cet appendice sont présentées les quatre classes de navires envisagés comme point de comparaison pour le NEAP. Il s'agit des classes Svalbard, Thetis, Knud Rasmussen et des navires de la Garde côtière du Canada. Chacune de ces classes est examinée ci-après.

B.1 Navires de la classe Svalbard

Afin de trouver un équilibre entre les besoins divergents d'être résistant aux glaces et de pouvoir naviguer, au large, dans les eaux extracôtiers, la conception retenue pour le NPEA ressemble à celle du navire norvégien Svalbard, mais avec une coque et un système de commande et de contrôle dont la conception a été modifiée⁸⁶. La conception du Svalbard constitue un compromis entre ces deux capacités opérationnelles en ce que le navire a une coque plus profilée, mais renforcée afin de pouvoir briser la glace. La coque du NPEA n'étant pas parabolique, ce dernier brise la glace en la fendant plutôt qu'en se hissant sur glace, puis en l'écrasant, comme le ferait un brise-glace. Sa proue doit donc être capable de fendre de la glace épaisse de première année (plus de 1,2 mètre d'épaisseur). C'est pourquoi la coque ne nécessite qu'une cote CP 5 (pour fendre des sections de vieille glace) alors que sa proue doit posséder une cote CP 4⁸⁷.

Le Svalbard est un brise-glace qui s'est vu attribuer une classe DNV de POLAR-10⁸⁸. DNV signifie Det Norske Veritas, qui est une société de classification et de normalisation norvégienne (similaire à Lloyd's Register⁸⁹). POLAR-10 signifie que le navire peut briser une glace de première année pouvant

atteindre un mètre d'épaisseur, avec des sections de vieille glace, mais pas la défoncer comme le ferait un brise-glace⁹⁰. En s'appuyant sur cette description, on peut estimer qu'un navire de classe DNV POLAR-10 est plus ou moins équivalent à un navire de cote CP 5 (une glace de 1 mètre, au lieu de 1,2 mètre d'épaisseur). Ainsi, au regard de la classe polaire, la proue du NPEA est supérieure de plus d'une cote à celle du Svalbard. Cette meilleure cote se traduira par une coque plus coûteuse.

Une autre différence entre le Svalbard et le NPEA est que le Svalbard est équipé d'un système de propulsion Azipod qui permet au fuseau d'hélice de pivoter à 360 degrés sur son axe vertical⁹¹, tandis que le NPEA est équipé d'un système conventionnel et moins coûteux consistant en deux hélices à arbre d'entraînement et deux gouvernails⁹².

Le Svalbard et le NPEA diffèrent enfin par leur capacité de commandement et de surveillance, ainsi que par leur degré d'intégration, qui sont supérieurs pour le NPEA, ce qui en augmentera le coût⁹³.

Comme le démontre ce qui précède, le Svalbard présente des caractéristiques qui le rendent à la fois moins coûteux (moins bonne résistance aux glaces et moindre capacité de surveillance/d'intégration) et plus coûteux (système de propulsion Azipod) que le NPEA. Il possède par contre le même déplacement que le NPEA, soit 6 400 tonnes⁹⁴. De façon générale, les différences existantes peuvent être considérées comme négligeables et le Svalbard pourrait donc constituer un point de comparaison utile pour établir un modèle paramétrique du NPEA. Selon divers documents rendus publics, le prix du Svalbard pourrait osciller entre 80 et 100 millions de dollars⁹⁵.

⁸⁶ Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (2013c).

⁸⁷ Un navire se voit attribuer une classe polaire globale correspondant à la classe la plus faible de sa conception. C'est pourquoi, dans le cas du NPEA, le navire s'est vu attribuer la classe CP 5, qui est celle de sa coque, alors même que sa proue est CP 4.

⁸⁸ homelandsecurity-technolgy.com (2014).

⁸⁹ Plus connue sous le nom de Lloyd's Register of Shipping.

⁹⁰ Det Norske Veritas (2009).

⁹¹ Wikipedia (2014a).

⁹² Canadian American Strategic Review (2012).

⁹³ Sources du DPB.

⁹⁴ homelandsecurity-technolgy.com (2014) et sources du DPB.

⁹⁵ Se reporter à Milewski (2013), Wikipedia (2014f)

Ces prix ne sont pas jugés fiables, car il est peu probable qu'ils incluent le coût total de la conception du navire, certains systèmes d'équipements dont ces navires sont dotés, ainsi que les subventions aux chantiers navals norvégiens⁹⁶. Faute de données fiables relatives au coût du Svalbard, ce dernier n'a pas pu être utilisé.

B.2 Navires de classe Thetis

La classe Thetis est celle de navires construits par le Danemark au début des années 1990 et conçus comme des navires de patrouille extracôtiers (NPE) résistant aux glaces et capables de naviguer dans des glaces d'une épaisseur maximale de 80 cm⁹⁷. En raison de leur petite taille (3 500 tonnes⁹⁸, contre 6 400 tonnes⁹⁹ pour le NPEA), de leur faible résistance aux glaces, et de l'absence de données sur leur coût, ils n'ont pas été utilisés à titre de comparaison.

B.3 Navires de classe Knud Rasmussen

La classe Knud Rasmussen est une autre classe de NPE danois, dont le premier exemplaire a été mis en service en 2007¹⁰⁰. Les navires de la classe Knud Rasmussen sont encore plus légers (1 700 tonnes) et d'une résistance aux glaces (d'une épaisseur de glace maximale de 70 cm) encore moindre que ceux de la classe Thetis¹⁰¹. Pour ces raisons, ils n'ont pas été jugés un bon point de comparaison pour le NPEA.

B.4 Navires de la Garde côtière canadienne

Finalement, les navires les mieux adaptés à une comparaison avec les NPEA sont ceux des flottes de

brise-glaces et de navires résistant aux glaces de la Garde côtière canadienne (GCC). Le tableau B-1, en page 30, renferme la liste de ces navires, à l'exception du Terry Fox. Ce dernier a été exclu, car il a été initialement construit pour la Gulf Oil et plus tard racheté par la GCC¹⁰². Le coût initial du Terry Fox n'étant pas disponible, il a donc été exclu de la liste des points de comparaison.

Les navires de la GCC constituent de bons points de comparaison pour plusieurs raisons. Premièrement, ils ont tous été construits dans des chantiers navals canadiens comme le seront les NPEA. Cela réduit les risques de manque d'uniformité pouvant exister, en matière de coût du travail ou de taxes, entre deux pays. Deuxièmement, ils ont été conçus pour résister aux glaces dans des conditions météorologiques canadiennes. Les températures d'exploitation varient selon les conditions climatiques dans lesquelles le navire doit fonctionner¹⁰³. Troisièmement, le déplacement des brise-glaces moyens (Amundsen, Des Groseilliers, Henry Larsen et Pierre Radisson) est similaire au déplacement estimé du NPEA. De tels points de comparaison similaires permettent de réduire les erreurs d'estimation. Quatrièmement, le coût de construction de ces navires peut être obtenu auprès de la GCC. Plus important encore, le DPB est en droit de penser que ces coûts ont été calculés de façon uniforme pour tous les navires, ce qui est nécessaire à une calibration précise du logiciel de modélisation.

⁹⁶ On a assisté à un débat public sur le fait que le Svalbard coûterait 100 millions de dollars canadiens en dollars de 2001. Se reporter à (Milewski (2013) et Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (2013c). Ce coût n'est pas représentatif en raison des importantes subventions publiques accordées à l'époque aux chantiers navals norvégiens. (*ibid.*).

⁹⁷ naval-technology.com (2014)

⁹⁸ Christensen (2007)

⁹⁹ Sources du DPB

¹⁰⁰ Danish Naval History (2008)

¹⁰¹ Canadian American Strategic Review (2008c)

¹⁰² Wikipedia (2014b)

¹⁰³ Les eaux, autour des îles de Svalbard, sont plus tempérées en raison du Gulf Stream. Wikitravel (2014)

Analyse budgétaire de l'acquisition de la classe de navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique

Tableau B-1 : Caractéristiques de navires canadiens comparables

| Nom du navire | Année | Ancienne classe | Nouvelle classe | Région(s) | Constructeur | Coût initial (\$) | Déplacement lège (en tonnes, à la livraison) |
|-----------------------|-------|-----------------|--|------------------------|-------------------|-------------------|--|
| Louis S. St-Laurent | 1969 | 1300 | Brise-glace lourd | Atlantique | Canadian Vickers | 169 644 954 | 9 348 |
| Pierre Radisson | 1978 | 1200 | Brise-glace moyen | Centrale et atlantique | Versatile | 52 245 631 | 5 446 |
| Amundsen | 1979 | 1200 | Brise-glace moyen | Centrale et atlantique | Burrard | 52 077 650 | 5 709 |
| Des Groseilliers | 1982 | 1200 | Brise-glace moyen | Centrale et atlantique | Port Weller | 64 557 000 | 5 631 |
| Henry Larsen | 1987 | 1200 | Brise-glace moyen | Atlantique | Versatile | 104 455 000 | 5 800 |
| Griffon | 1970 | 1100 | Navire polyvalent à long rayon d'action | Centrale et atlantique | Davis | 13 713 362 | 2 180 |
| Edward Cornwallis | 1986 | 1100 | Navire polyvalent à long rayon d'action | Atlantique | Marine Industries | 60 106 700 | 3 305 |
| George R. Pearkes | 1986 | 1100 | Navire polyvalent à long rayon d'action | Atlantique | Versatile | 60 213 459 | 3 339 |
| Sir Wilfrid Laurier | 1986 | 1100 | Navire polyvalent à long rayon d'action | Ouest | Collingwood | 60 167 230 | 3 556 |
| Martha L. Black | 1986 | 1100 | Navire polyvalent à long rayon d'action | Centrale et atlantique | Versatile | 60 106 700 | 3 341 |
| Sir William Alexander | 1987 | 1100 | Navire polyvalent à long rayon d'action | Atlantique | Marine Industries | 60 106 700 | 3 323 |
| Ann Harvey | 1987 | 1100 | Navire polyvalent à long rayon d'action | Atlantique | Halifax Dartmouth | 60 106 700 | 3 331 |
| Samuel Risley | 1985 | 1050 | Navire polyvalent à moyen rayon d'action | Centrale et atlantique | Vito Steel | 41 409 245 | 2 255 |
| Earl Grey | 1986 | 1050 | Navire polyvalent à moyen rayon d'action | Atlantique | Pictou | 41 402 500 | 2 222 |

Source : Sources du DPB et demande d'accès à l'information 0127 du DPB. Se reporter à http://www.pbo-dpb.gc.ca/files/files/IR0127_FOC_AOPS_Financial_Data_FR.pdf.

Appendice C Facteurs du modèle

TruePlanning distingue les coûts associés à la production du prototype, ou premier navire de la classe, des coûts associés à la production des navires de production, à savoir les navires produits après le prototype. Cette distinction est faite, car les coûts associés à la production du premier navire sont considérablement plus élevés que ceux associés à ceux des navires de production qui suivent et que seuls ces derniers sont susceptibles de permettre des économies de coût résultant d'une courbe d'apprentissage.

Le projet de NPEA prévoit l'acquisition de six (un prototype et cinq navires de production) à huit navires (un prototype et sept navires de production). Le modèle a donc été structuré de la façon suivante :

- **Projet de NPEA**
 - Ingénierie des systèmes et gestion du projet
 - └ Prototype
 - └ 2^e de la classe
 - └ 3^e de la classe
 - └ 4^e de la classe
 - └ 5^e de la classe
 - └ 6^e de la classe
 - └ 7^e de la classe
 - └ 8^e de la classe

Tableau C-1 : Détails des facteurs intégrés dans le modèle de TruePlanning utilisé pour estimer le coût total

| Niveau | Variable | Facteur | Explication |
|--|--|---------|---|
| Ingénierie des systèmes et gestion du projet | Quantité au niveau immédiatement supérieur | 1 | La quantité au niveau immédiatement supérieur reflète le fait que le modèle doit inclure une unité de chacun des navires (p. ex. un prototype, un 2 ^e de la classe, etc.). |

Analyse budgétaire de l'acquisition de la classe de navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique

| Niveau | Variable | Facteur | Explication |
|--------|-----------------------------------|-------------------------|---|
| | Caractéristique opérationnelle | 1,50 (fiabilité élevée) | <p>La caractéristique opérationnelle reflète l'utilisation prévue du matériel (p. ex. militaire terrestre, sous-marine, missiles air-air, etc.). Elle a une incidence sur le coût, car différentes caractéristiques opérationnelles sous-entendent différents besoins en matière de portabilité, fiabilité, structuration, essais et documentation. TruePlanning attribue une valeur à chaque caractéristique opérationnelle et cette valeur à une incidence importante sur les coûts d'ingénierie de développement.</p> <p>Étant donné que le NPE ne correspond pas à une seule catégorie de matériel, le mode « fonction » a été utilisé pour calculer la caractéristique opérationnelle de la plateforme. Compte tenu du besoin d'une fiabilité supérieure à la moyenne, la caractéristique opérationnelle a été estimée à 1,5.</p> |
| | Développement sur plusieurs sites | 4,5 | <p>La valeur de développement sur plusieurs sites reflète les défis, en matière de communications, que présente le fait que plusieurs équipes travaillent en différents endroits géographiques. Les communications ont une incidence sur la productivité qui devient plus importante lorsque la main-d'œuvre chargée du développement travaille à partir de plusieurs sites sur un même équipement. Cette valeur reflète le nombre et la qualité des communications entre les différents sites participant au programme.</p> <p>Dans le cas qui nous intéresse, plusieurs sites participeront au programme (à savoir le client (MDN), un certain nombre d'entrepreneurs et de sous-traitants durant la phase de conception (p. ex. Odense Maritime Technology au Danemark^{104,105}) et Irving.</p> <p>Les règles fédérales d'approvisionnement fixent un certain nombre de</p> |

¹⁰⁴Irving Shipbuilding Inc. (2013).

¹⁰⁵Doucette (2013).

Analyse budgétaire de l'acquisition de la classe de navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique

| Niveau | Variable | Facteur | Explication |
|--------|--|---|--|
| | | | <p>restrictions à la capacité qu'ont les employés fédéraux de communiquer avec des entrepreneurs. Étant donné que le gouvernement doit participer aux communications entre le chantier naval et le concepteur, cela entraînera des délais et des dépenses supplémentaires. En cas de communications médiocres entre les différents sites d'un projet, TruePlanning accorde une valeur de 4,5.</p> |
| | Complexité des interactions avec les entrepreneurs | Besoins très élevés en interaction avec les entrepreneurs et en supervision | <p>La complexité des interactions avec les entrepreneurs reflète le degré et l'intensité du besoin d'interagir avec les entrepreneurs et leurs sous-traitants dans le cadre du projet. Elle peut varier de faible à très élevée.</p> <p>Les besoins relatifs aux examens techniques, vérifications et à l'assurance de la qualité et aux essais d'acceptation officiels dans le cadre de cette acquisition sont importants par comparaison à l'acquisition de biens non militaires. Ces besoins feront l'objet d'une surveillance grâce à une série de « points de contrôle », ou jalons, utilisés pour assurer le suivi des progrès du projet au regard des objectifs fixés. Pour cette raison, la complexité des interactions avec les entrepreneurs sera très élevée.</p> |
| | Complexité du projet | <p>75</p> <p>Élevé : reflète des niveaux de planification et de surveillance propre à un projet de taille moyenne à importante, ou de complexité moyenne.</p> | <p>La complexité du projet reflète les activités de planification et de surveillance nécessaires à la bonne gestion du projet.</p> <p>La complexité du projet permet de prévoir le degré de surveillance et de planification requis pour assurer la bonne gestion du projet. La valeur de ce facteur peut osciller entre 0 et 100 : une valeur de 0 correspond à un projet ne requérant ni planification, ni surveillance. Une valeur de 50 correspond au degré de planification et de surveillance requis par un projet de petite ou moyenne taille et une valeur de 100 correspond à un gros projet ou à un projet très complexe.</p> |

Analyse budgétaire de l'acquisition de la classe de navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique

| Niveau | Variable | Facteur | Explication |
|-------------|------------------------|-------------------|--|
| | | | Un degré élevé a été choisi en raison de la complexité liée à la gestion de l'acquisition par le gouvernement d'un seul navire requérant de nombreuses vérifications et approbations. |
| | Nombre d'entrepreneurs | 5 | Le nombre d'entrepreneurs correspond au nombre de sources externes fournissant du matériel, des logiciels ou des services. La valeur de ce facteur a une incidence sur les activités d'ingénierie des systèmes. Si le nombre précis d'entrepreneurs qui participeront à ce projet demeure inconnu, il y aura, à tout le moins, cinq entrepreneurs de premier niveau : Lloyds Register Canada Ltd, Lockheed Martin Canada Inc., Odense Maritime Technology, General Electric Energy Conversion, et Fleetway Inc. ¹⁰⁶). Pour cette raison, le nombre d'entrepreneurs a été fixé à 5. |
| Acquisition | Date de début | Mars 2013 | Cette date est tirée du plus récent Rapport sur les plans et les priorités (RPP). |
| | Poids de la structure | 14 160 000 livres | <p>Le poids de la structure reflète le point de la composante mécanique/structurelle du matériel. Lorsque le poids augmente, les besoins en ingénierie augmentent, tout en étant pondérés par la maturité technologique croissante ou décroissante. Une augmentation du poids se traduit également par une augmentation des besoins de main-d'œuvre et de matériel nécessaires pour développer le prototype.</p> <p>Le poids utilisé dans le modèle d'estimation du NPEA provient de différents documents d'information du processus de conception¹⁰⁷.</p> |

¹⁰⁶ Demande d'accès à l'information IR0155 (2014).

¹⁰⁷ STX Canada Marine (2012).

Analyse budgétaire de l'acquisition de la classe de navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique

| Niveau | Variable | Facteur | Explication |
|--------|--|---|--|
| | Complexité de fabrication de la structure (complexité) | 3,73 | <p>La complexité est un indice technologique reflétant les caractéristiques opérationnelles de la composante structurelle. Elle est liée à la spécification opérationnelle. La complexité de fabrication mesure le degré de technologie requis par un équipement, sa productibilité (usinage et montage, difficulté d'usinage, surfaçage, etc.) et son rendement.</p> <p>La complexité de fabrication du NPEA a été calculée à partir de données sur ses caractéristiques obtenues de sources publiques et d'une demande d'information au ministère des Pêches et des Océans¹⁰⁸. Ces données ont été calibrées au moyen de TruePlanningTM et d'applications connexes¹⁰⁹.</p> |
| | Pourcentage de nouvelle structure | Prototype : 75 % Navires subséquents : 0 % | <p>Le pourcentage de nouvelle structure reflète la quantité de nouvelle conception requise par la structure en fonction des conceptions déjà existantes ou achevées. La valeur du pourcentage de nouvelle structure constitue un facteur de coûts pour les activités d'ingénierie de développement du matériel.</p> <p>Bien que le gouvernement ait acheté la conception du Svalbard, les besoins spécifiés par le gouvernement pour le NPEA (p. ex. plus léger, système de propulsion différent) s'en démarquent clairement.</p> <p>Le modèle se fonde sur l'hypothèse que la nouvelle structure requiert une activité d'ingénierie de développement complète, tandis que la structure existante ne requiert pas d'ingénierie au niveau du composant.</p> |
| | Pourcentage de reprise de conception | 40 % | Ce facteur reflète la reprise d'éléments de conception en raison de la symétrie de la coque du navire. Le pourcentage de reprise de conception est celui des composants répétés par rapport aux composants uniques. Un navire |

¹⁰⁸ Navires figurant à l'Appendice B

¹⁰⁹ Se reporter à la section 3.5.2 pour une explication détaillée du processus de calibration.

Analyse budgétaire de l'acquisition de la classe de navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique

| Niveau | Variable | Facteur | Explication |
|--------|---|---|--|
| | pour la structure | | <p>totallement symétrique obtiendra un pourcentage de reprise de conception de 50 %.</p> <p>Bien que la coque elle-même soit symétrique, certains composants internes ne le sont pas nécessairement (p. ex. les systèmes de communications et d'armement).</p> |
| | Complexité de l'ingénierie | <p>1,1 (se reporter à l'examen ci-dessous)</p> <p>Nouvelle conception, technologie existante</p> <p>Expérience variée, une certaine familiarité avec le produit</p> | <p>Le degré de complexité de l'ingénierie consiste en une mesure des facteurs compliquant la conception en rapport avec l'expérience et les qualifications de l'équipe de conception en ingénierie.</p> <p>Lorsque les compétences et l'expérience décroissent, ou que les défis d'ingénierie s'accroissent, le coût de l'ingénierie de développement s'accroît en proportion. La complexité de la fabrication en développement, de l'outillage en développement et les activités d'essais augmentent avec la complexité de l'ingénierie lorsque les ingénieurs et les monteurs doivent s'efforcer de mettre en œuvre et à l'essai des prototypes conçus par des personnes ayant moins d'expérience, ou bien travaillant dans des conditions de conceptions loin d'être idéales.</p> <p>La complexité de l'ingénierie est un facteur important qui a une incidence importante sur l'ingénierie du développement. La complexité de l'ingénierie n'a pas d'incidence sur les coûts de production, mais elle a une incidence non linéaire sur les coûts de développement.</p> |
| | Courbe d'apprentissage de la main-d'œuvre | Projection faite au moyen d'un logiciel à partir des programmes précédents | Cette courbe d'apprentissage reflète le taux auquel les coûts de production décroissent en raison de l'efficacité accrue de la main-d'œuvre. |

Analyse budgétaire de l'acquisition de la classe de navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique

| Niveau | Variable | Facteur | Explication |
|--------|------------------------------------|--|---|
| | Courbe d'amortissement du matériel | Projection faite au moyen d'un logiciel à partir des programmes précédents | Cette courbe d'amortissement reflète le taux auquel les coûts de production décroissent en raison de baisses du coût du matériel. |
| | Indice des procédés de fabrication | 2,920 | Le logiciel TruePlanning™ permet à l'utilisateur de calculer un facteur d'ajustement permettant de refléter le degré de travail manuel requis par un produit. Dans le cas du NPEA, il est nécessaire d'ajuster cette valeur, car la construction de navire requiert beaucoup de travail et peu de tâches peuvent être automatisées. |
| | Ingénierie du développement | Début : 2013 Fin : 2018 | Ces dates sont tirées du RPP ¹¹⁰ . |
| | Fabrication en production | Fin : 2024 | Cette date est tirée du RPP. ¹¹¹ Le calendrier du modèle a été établi afin de respecter cette date d'achèvement. |
| Autre | Taux de la main-d'œuvre | Selon un modèle tarifaire pour les professionnels et selon la convention collective pour la main-d'œuvre qualifiée | TruePlanning renferme des coûts par unités de travail préétablis. Ces chiffres ont été ajustés afin de refléter la plus récente convention collective signée par Irving avec ses employés. |

¹¹⁰Se reporter à l'Appendice D.

¹¹¹Se reporter à l'Appendice D.

C.1 Examen de la complexité de l'ingénierie

Le Tableau C-2 présente une version modifiée des critères de sélection du degré de complexité de l'ingénierie. Pour ce qui est de l'expérience de la main-d'œuvre, « Variée – Vaguement familière du produit » a été choisi, car le chantier naval d'Irving est en activité, mais n'a pas construit de navires résistant aux glaces depuis près de 20 ans, sans oublier qu'une grande partie du personnel sera embauché lorsque le chantier naval sera agrandi pour construire le NPEA. Pour ce qui est de l'ampleur du travail d'ingénierie, « Nouvelle conception – Technologie existante » a été choisi, car la terminologie de TruePlanning définit une « nouvelle conception » comme un navire qui n'a jamais été construit auparavant. Puisque jamais un NPEA n'a été construit, il s'agit d'une nouvelle conception, mais, puisque sa conception se fonde sur celle du Svalbard, il relève d'une technologie existante. La valeur du degré de complexité de l'ingénierie, à l'intersection de « Nouvelle conception – Technologie existante » et, pour l'expérience du personnel, de « Variée – Vaguement familière du produit », est de 1,1.

Tableau C-2 : Établissement du degré de complexité de l'ingénierie

| Ampleur du travail de conception | Expérience de la main-d'œuvre | | | |
|--|--|------------------------------------|--|--|
| | Approfondie Familière du produit | Normale Familière du produit | Variée Vaguement familière du produit | Limitée Peu familière du produit |
| Simple modification Conception existante | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
| Modification importante Conception existante | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| Nouvelle conception Technologie existante | 0,9 | 1 | 1,1 | 1,2 |
| Nouvelle conception Nouvelle ligne de produits | 1 | 1,2 | 1,4 | 1,6 |
| Nouvelle conception Technologie mal connue | 1,3 | 1,6 | 1,9 | 2,2 |
| Nouvelle conception Technologie de pointe | 1,9 | 2,3 | 2,7 | 3,1 |

Sources : DPB et logiciel TruePlanning.

Appendice D Calendrier du projet

Tableau D-1 : Calendrier du projet

| Principaux jalons | Date |
|---|---------------|
| Approbation préliminaire de projet du Conseil du Trésor | Mai 2007 |
| Publication de la demande de propositions pour la définition, le génie, la logistique et le soutien à la gestion (DP DGLSG) | Décembre 2007 |
| Clôture de la DP DGLSG | Février 2008 |
| Adjudication du contrat de DGLSG | Mai 2008 |
| Approbation de projet censée (Définition) I | Octobre 2011 |
| Adjudication du contrat auxiliaire | Juin 2012 |
| Approbation de projet révisée (Définition) II | Automne 2012 |
| Adjudication du contrat de définition | Hiver 2013 |
| Approbation de projet (Mise en œuvre) | 2015 |
| Adjudication du contrat de mise en œuvre | 2015 |
| Livraison du premier navire | 2018 |
| Capacité opérationnelle initiale | 2019 |
| Capacité opérationnelle totale | 2023 |
| Clôture du projet | 2024 |

Source : (Défense nationale et Forces armées canadiennes, 2014a).

Appendice E Budget et dépenses du projet

Tableau E-1 : Dépenses passées et prévues du gouvernement pour le NPEA

| Estimation initiale du coût total | Estimation révisée du coût total | Coûts totaux réels (selon le RMR 2012-2013) | Dépenses prévues 2012-2013 | Autorisations totales 2012-2013 | Dépenses réelles 2012-2013 |
|-----------------------------------|----------------------------------|---|----------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| 3 073 600 000 \$ | 3 073 600 000 \$ | 52 779 000 \$ | 27 202 000 \$ | 27 202 000 \$ | 17 377 000 \$ |

Source : (Défense nationale et Forces armées canadiennes, 2013b).

Appendice F Risques utilisés pour établir le niveau de confiance

Le présent tableau présente un résumé des paramètres utilisés pour établir le niveau de confiance de l'estimation du NPEA. Une explication des limites optimiste et pessimiste de la fourchette est fournie.

Tableau F-1 : Variables de TruePlanning et valeurs choisies pour établir la fourchette d'estimation

| Variable | Optimiste | Pessimiste | Explication de la fourchette |
|---|----------------------------------|----------------------------------|--|
| Spécification opérationnelle | 1,20 | 1,60 | La valeur assignée par défaut aux navires civils est de 1,20 (médiane de 1,0 – 1,4), tandis que la valeur assignée par défaut aux navires militaires est de 1,60 (médiane de 1,4 – 1,8). Cette différence reflète les essais additionnels et les exigences en matière de documentation propre aux navires militaires. |
| Poids de la structure | 13 160 000 livres (6 000 tonnes) | 15 160 000 livres (6 900 tonnes) | La fourchette de poids choisie reflète la possibilité d'écart entre le navire sur plans et le navire livré. La limite inférieure a été choisie en raison des fluctuations qu'a connues le poids du NPEA depuis son annonce. Il devait être initialement de 6 000 tonnes, mais devrait à présent être de 6 400 tonnes. La limite supérieure a été choisie dans l'éventualité où il connaîtrait une nouvelle augmentation identique. |
| Complexité de fabrication de la structure | 3,65 | 3,81 | La fourchette utilisée pour le degré de complexité reflète le fait que des ajustements pourraient être apportés aux besoins opérationnels du navire. La fourchette a été établie au moyen des degrés de complexité figurant au Tableau 3-2. Étant donné que tous les NGCC ont un degré de complexité oscillant entre 3,6 et 3,8, le LSL constituant une exception avec un degré de complexité de 4,3, une fourchette allant de 3,65 à 3,81 semblait réaliste pour le NPEA. |
| Complexité de l'ingénierie | 1,0 | 1,2 | La fourchette a été choisie pour refléter une équipe d'ingénierie de développement plus ou moins expérimentée. Se reporter à la section C.1 pour les différentes valeurs possibles de cette variable. |

Source : Analyse du DPB.

Appendice G Estimation du délai de construction du NCSC

Afin d'établir quand doit débiter la construction du NCSC afin qu'il puisse être livré en 2025, une étude des délais de construction de navires similaires antérieurs a été entreprise. Cette étude a porté sur les navires suivants : frégate canadienne de classe Halifax, destroyer américain de classe Arleigh Burke, destroyer américain de classe Zumwalt et navire de combat en zone littorale (LCS pour Littoral Combat Ship) américain de classe Freedom (monocoque). Les délais de construction de chacun de ces navires, depuis la pose de la quille à la mise en service, sont indiqués dans le Tableau G-1 ci-dessous.

difficultés, la date de mise en service a été utilisée dans le présent rapport parce qu'elle semble être la mesure la plus uniforme.

Comme on peut le constater dans le Tableau G-1, le délai de construction peut varier de 2,6 à 5 ans. En s'appuyant sur l'hypothèse que les NCSC ne seront pas aussi complexes que les Zumwalt, et plus proches des LCS, et que le chantier naval Irving aura acquis de l'expérience lors de la construction du NPEA (et que le délai de construction sera donc plus court que celui des Halifax), on peut estimer que la construction d'un NCSC devrait prendre quatre années, de la pose de la quille à l'entrée en service.

Tableau G-1 : Délais de construction de navires comparables

| Classe du navire | Pose de la quille | Entrée en service | Délai de construction |
|------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| Halifax | Mars 1987 | Juin 1992 | 5,3 années |
| Arleigh Burke | Déc. 1988 | Juillet 1991 | 2,6 années |
| Zumwalt | Nov. 2011 | Prévue en 2016 | ~5 années |
| LCS Freedom | Juin 2005 | Nov. 2008 | 3,4 années |

Sources : (Defense Industry Daily, 2014; Wikipedia, 2014d, 2014g, 2014h).

Comparaison des délais de construction

Établir le temps que nécessite la construction d'un navire est ouvert à débat. Quand peut-on estimer que la construction d'un navire est « achevée »? Existe-t-il des critères précis qui doivent être respectés pour qu'un navire puisse être lancé (il doit assurément flotter), mis en service ou opérationnel? Ces critères sont-ils uniformes d'un pays à l'autre, et d'un navire à l'autre?

Un bref examen a permis d'établir qu'il n'était pas manifeste que des critères uniformes soient appliqués à ces termes. De plus, le délai qui peut s'écouler entre le moment où un navire est mis en service et celui où il devient pleinement opérationnel peut grandement varier selon sa complexité (si l'on tient pour acquis que ces critères sont uniformes). Mais, indépendamment de ces