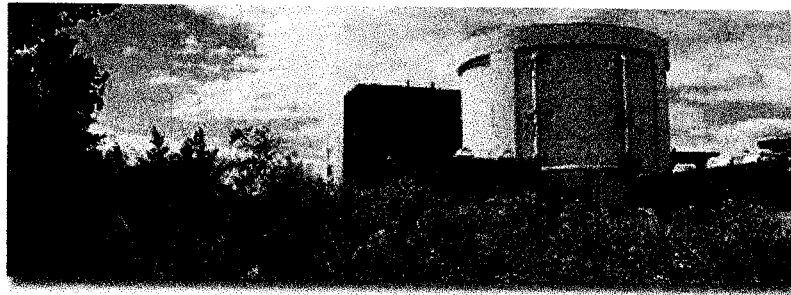


Doit-on poursuivre les opérations de la centrale nucléaire Gentilly-2 après 2013?



Minimisation de coûts économiques

**Présenté par
Mathieu Gervais**

Centre de Documentation
Éco. de sciences économiques
Université de Montréal
1105, Avenue "S"
Montréal, Québec H3T 1J6

**Département de sciences économiques
Université de Montréal
Décembre 2003**

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE EXÉCUTIF	5
HISTORIQUE	7
PLOBLÉMATIQUE	8
PROJET PROPOSÉ	9
SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET ZONE À L'ÉTUDE	11
LES OPPOSANTS	12
LES ÉTUDES	13
OBJECTIF DE LA PRÉSENTE ÉTUDE	14
L'ANALYSE PAR LA MINIMISATION DE COÛTS ÉCONOMIQUES	14
LE MODÈLE	17
LE TAUX SOCIAL D'ACTUALISATION D'HYDRO-QUÉBEC	23
LES COÛTS ÉCONOMIQUES (AVEC PROJET DE RÉFECTION)	24
Les coûts d'investissement (I_t)	24
Les coûts d'opération économiques (C_t)	25
Gain social dû à la préservation des emplois ($GSMO_t$)	27
Coûts de substitution de l'électricité (CS_t)	34
Valeur résiduelle de la centrale (RV_t)	35

Frais de gestion des déchets radioactifs (FGD _t)	36
Externalités environnementales et les risques pour la santé	37
Risque d'explosion ou d'attaque terroriste	38
LES COÛTS ÉCONOMIQUES (SANS PROJET DE RÉFECTION)	39
Coûts d'opération économiques de Gentilly-2 (C _t)	40
Valeur résiduelle (RV _t) et frais de gestion des déchets (FGD _t)	40
Coût de substitution de l'électricité (CS _t)	41
Coûts d'investissement dans un projet alternatif (IA _t)	42
Coûts de production économiques d'un projet alternatif (CPA _t)	44
Impact économique régional de la fermeture de Gentilly-2	44
La perte de l'expertise au Québec	45
ANALYSE DES RÉSULTATS	46
ANALYSE DE SENSIBILITÉ	49
CONCLUSION	50
ANNEXE A (calendrier)	52
ANNEXE B (calcul GSMO)	54
ANNEXE C (VAN avec projet - tableur Excel)	56
ANNEXE C (VAN sans projet - tableur Excel)	59
BIBLIOGRAPHIE	62

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAU 1 : Répartition des coûts d'investissement du projet de réfection	25
TABLEAU 2 : Coûts d'opération économiques avec le projet de réfection	26
TABLEAU 3 : GSMO avec le projet de réfection	33
TABLEAU 4 : Coûts d'opération économiques de Gentilly-2 sans le projet	40
TABLEAU 5 : Répartition des coûts d'investissement projet alternatif	43
TABLEAU 6 : Valeurs actuelles nettes en fonction du taux d'actualisation	50
FIGURE 1 : Carte géographique de la région	11
FIGURE 2 : Répartition des effectifs permanents en 2002	28
FIGURE 3 : Poids des coûts économiques avec le projet de réfection	47
FIGURE 4 : Poids des coûts économiques sans le projet de réfection	48

SOMMAIRE EXÉCUTIF

La présente étude économique a pour but d'évaluer si, d'un point de vue économique, le projet de réfection de la centrale nucléaire de Gentilly-2 représente la meilleure alternative réalisable pour produire une quantité d'électricité similaire à sa capacité actuelle jusqu'en 2035. Le projet consiste essentiellement en l'agrandissement des aires de stockage des déchets radioactifs et en la réfection du réacteur ainsi que de certaines composantes des systèmes auxiliaires de la centrale. Ce projet permettrait de poursuivre la production d'électricité de la centrale jusqu'en 2035.

Comme outil d'évaluation, on utilise l'analyse par la minimisation de coûts économiques (analyse «cost-effectiveness»). Cette approche économique consiste à quantifier et monétiser tous les coûts économiques générés conséquemment à la réalisation du projet de réfection pour ensuite les comparer aux coûts économiques générés sans ce projet tout en assurant la disponibilité d'une certaine quantité d'énergie (avantage constant). Cette comparaison doit se faire sur une base commune et à un moment précis, en l'occurrence le 1^{er} janvier 2006.

Le modèle utilisé consiste donc en la valeur actuelle nette (VAN) de tous les coûts économiques occasionnés par la réalisation du projet de réfection de Gentilly-2 qui sera comparée à la VAN des coûts économiques sans le projet. L'alternative qui présentera la VAN des coûts économiques la moins élevée sera considérée comme étant la meilleure option de production.

Les principaux coûts économiques en considérant la réalisation du projet sont les investissements que nécessitent les travaux de réfection, les coûts d'opération de la centrale, les coûts de substitution de l'énergie perdue pendant les travaux, les coûts de démantèlement de la centrale à la fin de sa vie utile (2035) et les frais de gestion des déchets radioactifs accumulés à cette date. Notons que ces coûts économiques seront diminués par le gain social dû à la préservation des emplois à la centrale jusqu'en 2035.

D'autre part, dans l'alternative où le projet ne serait pas réalisé, les coûts économiques considérés sont les coûts d'opération de la centrale nucléaire jusqu'à sa fermeture, les coûts de démantèlement de celle-ci, les frais de gestion des déchets radioactifs accumulés jusqu'en 2013, les coûts de substitution de l'électricité perdue pendant les diminutions de production, les coûts d'investissement dans un projet alternatif ainsi que les coûts d'opération qui lui sont associés.

Au terme de cette étude, on peut conclure que le projet de réfection de la centrale Gentilly-2 est socialement la meilleure alternative de production de l'énergie en question. En effet, on obtient une valeur actuelle nette inférieure dans l'alternative considérant le projet de réfection. De plus, même à la suite d'une analyse de sensibilité qui considère des variations du taux d'actualisation, l'option du projet est toujours préférée.

Toutefois, même si la présente étude conclut que le projet étudié est socialement préférable et suggère la réalisation du projet, ceci est fait sous certaines réserves. En effet, plusieurs hypothèses sont utilisées surtout quant au choix d'un projet alternatif de capacité de production similaire à utiliser dans l'analyse. De plus, étant donné les études d'avant-projet en cours, des données supplémentaires et plus précises pourraient remettre en question cette conclusion. On fait référence ici à des études techniques qui pourraient modifier les coûts d'investissement considérés et à des études qui pourraient éventuellement prouver des dommages sur l'environnement ou sur la santé humaine. De plus, il est important de mentionner que les gouvernements ainsi que les instances nucléaires sont présentement à la recherche d'une solution adéquate pour la disposition ultime des déchets radioactifs. Même si certaines hypothèses sont déjà posées à ce sujet, la présente étude se voit contrainte de négliger le problème de la disposition ultime des déchets radioactifs.

HISTORIQUE

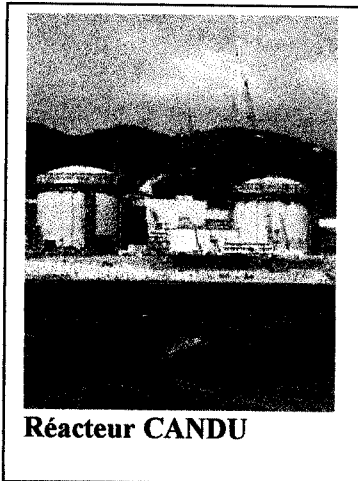
Au début des années 70, les besoins énergétiques étaient en pleine expansion au Québec. La demande en électricité augmentait d'environ 7% chaque année. Pour combler cette demande accrue, Hydro-Québec a pris la décision, en 1972, d'aller de l'avant avec un développement hydroélectrique majeur dans la région de la Baie James. De plus, à l'époque, la société d'état croyait qu'une part importante de sa production serait d'origine nucléaire avant la fin du siècle. De ce fait, Hydro-Québec qui exploitait déjà la centrale Gentilly-1 propriété de Énergie Atomique du Canada Limitée (EACL) a mis sur pied un projet de construction d'une deuxième centrale nucléaire : Gentilly-2.

Entreprise en novembre 1973, la construction de la centrale nucléaire Gentilly-2 s'est échelonnée sur dix ans. Le chantier a connu de multiples difficultés qui ont entraîné des retards dans le calendrier de travail ainsi que des dépassements de coûts. Ces difficultés étaient principalement associées à des resserrements au niveau des normes de sécurité et à l'ajout de divers systèmes par rapport au projet initial. De plus, le promoteur a rencontré certains problèmes d'approvisionnement auprès des différents fournisseurs en cours de construction ce qui s'est résulté en des délais supplémentaires. Globalement, le projet a coûté 1,4 milliard de dollars dont 546 millions (39%) en intérêts seulement. L'importante charge d'intérêts est en partie causée par l'augmentation fulgurante des taux d'intérêt à la fin des années 70. Dû au fait que Gentilly-2 était la première de la série des PHW-600 mégawatts à être construite, le bilan d'Hydro-Québec en ce qui concerne la phase de construction demeure tout de même positif.

Mise en service en octobre 1983, Gentilly-2 est la seule centrale nucléaire en opération à ce jour au Québec¹. Cette centrale, intégrée au réseau d'Hydro-

¹ Il est à noter que la centrale Gentilly-1 a cessé son exploitation en 1979 pour devenir, en 1983, un centre de formation pour le personnel de la centrale Gentilly-2.

Québec, fournit une puissance de 675 mégawatts, soit environ 3% de la puissance installée du réseau provincial de production d'électricité. Une puissance équivalente peut fournir de l'électricité à environ 74 000 clients résidentiels.



La centrale utilise un réacteur de type CANDU (CANada Deutérium Uranium). Cela signifie que le réacteur utilise l'eau lourde comme modérateur et de l'uranium naturel comme combustible. Ce type de réacteur possède l'avantage de pouvoir fonctionner sans interruption ce qui n'est pas le cas des autres types de centrales comme celles utilisées aux États-Unis par exemple. Les réacteurs CANDU possèdent aussi plusieurs avantages en terme de sûreté tels que des barrières protectrices multiples et d'autres systèmes spéciaux.

La technologie des centrales CANDU a été conçue et développée au Canada. Toutes les centrales canadiennes sont de ce type. La majorité est située en Ontario notamment à Pickering, Bruce et Darlington. Le Nouveau-Brunswick en compte également une située à Pointe-Lebreau.

PROBLÉMATIQUE

La centrale nucléaire de Gentilly-2 est en fonctionnement depuis 1983 et a une durée de vie utile d'une trentaine d'années. C'est donc dire qu'elle pourrait normalement être maintenue en activité jusqu'en 2013. Par contre, de récentes études soulèvent une dégradation prématurée de certains systèmes de la centrale. De ce fait, pour des raisons de sécurité, la centrale devra être utilisée à 80% de sa capacité à partir de 2010 pour ensuite fermer ses portes en début de 2013.

La fermeture de Gentilly-2 représente non seulement une perte de production énergétique significative pour la société d'état, mais nécessite aussi des déboursés importants de sa part. En effet, si la centrale nucléaire ferme ces portes, le démantèlement de celle-ci s'étalera sur une longue période de temps et nécessitera une quantité de ressources humaines et matérielles importante. À ceci s'ajoute les coûts associés à la décontamination des terrains utilisés par la centrale et surtout, les frais associés à la gestion des déchets radioactifs.

Face à cette problématique, plusieurs options sont considérées. Une première consiste à remplacer l'énergie produite par Gentilly-2 par une source alternative, en l'occurrence, l'hydroélectricité. En effet, dans l'éventualité d'une fermeture de la centrale nucléaire, Hydro-Québec pourrait élaborer un projet hydroélectrique ou autre ayant une capacité de production similaire à celle de Gentilly-2. Hydro-Québec propose également une seconde option, c'est-à-dire des modifications de la centrale Gentilly-2 de manière à poursuivre son exploitation. C'est cette dernière possibilité qui fera l'objet principal de la présente étude.

PROJET PROPOSÉ

Le projet avancé par la société d'état Hydro-Québec consiste en la modification des installations de stockage et en la réfection de la centrale Gentilly-2 elle-même.

En ce qui concerne la modification des installations de stockage, celle-ci exige la construction d'une nouvelle aire de stockage des déchets radioactifs ainsi que l'augmentation de la capacité de l'aire de stockage à sec du combustible irradié (ASSCI). Ces installations seraient utilisées à deux escients. Tout d'abord, ces aires permettront d'entreposer le matériel radioactif (combustible irradié et déchets de faible et moyenne radioactivité) provenant du

prolongement des activités de la centrale. De plus, de nouvelles installations de stockage seront nécessaires pour entreposer des déchets spécifiques de haute radioactivité qui seraient générés pendant les travaux de réfection de la centrale. Ces modifications auraient lieu en 2006 et 2007.

Quant aux travaux de réfection, ils consistent principalement au remplacement de certains composants du réacteur et en la maintenance majeure des systèmes de la centrale. Ces travaux s'étaleraient sur une période de 18 mois et débuteraient en avril 2008 pour se terminer en septembre 2009. Le tout nécessite des investissements évalués à 846,3 millions de dollars de 2000 répartis sur environ quatre ans². Le projet permettrait de prolonger la vie utile de la centrale jusqu'en 2035. Il est à noter qu'il n'y aurait pas de production d'électricité durant la période des travaux. L'alternative au projet proposé est le démantèlement de la centrale en 2013. Un calendrier précis du projet proposé ainsi que de l'alternative est présenté à l'annexe A³.



Module de stockage à sec

² Étude de la firme NB Power sur le projet de la centrale nucléaire de Pointe-Leprau : «www.nbpower.com».

³ Les principales informations concernant le projet de réfection proviennent d'une publication d'Hydro-Québec Production à ce sujet : «Modification des installations de stockage des déchets radioactifs et réfection de la centrale nucléaire de Gentilly-2», Description du projet, 2003.

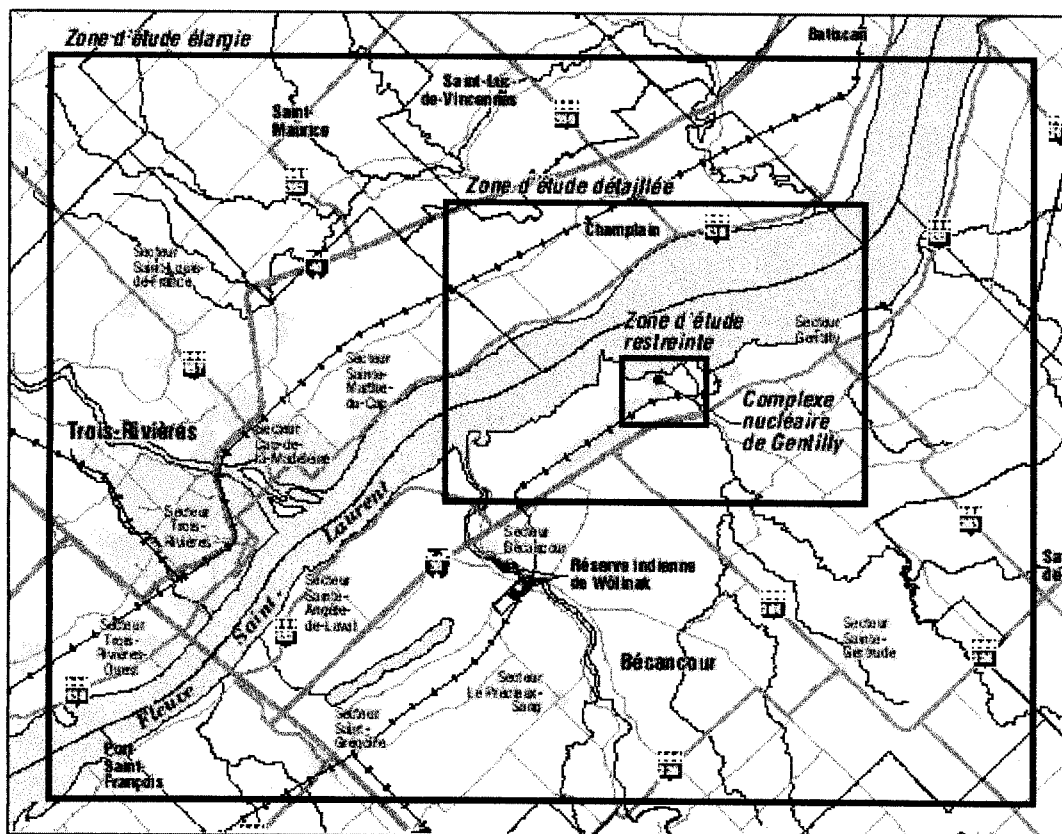
SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET ZONES À L'ÉTUDE

La centrale nucléaire Gentilly-2 est située à St-Édouard-de-Gentilly dans le comté de Nicolet sur la rive sud du fleuve St-Laurent. Les installations sont donc situées à plus ou moins 40 kilomètres de la ville de Trois-Rivières. Puisque les terrains utilisés par Hydro-Québec sont aux abords du fleuve St-Laurent, ceux-ci sont accessibles par la voie maritime, par le réseau routier ainsi que par voie ferroviaire.

Dans le cadre des activités d'avant-projet, trois zones ont été définies : une zone restreinte, une zone détaillée ainsi qu'une zone élargie. Ces délimitations serviront de référence dans la détermination de certains éléments de la présente étude. Les trois zones sont illustrées à la figure suivante :

Figure 1

Carte géographique de la région avoisinante de la centrale Gentilly-2



La zone restreinte correspond approximativement aux limites du terrain d'Hydro-Québec. Cette superficie est d'environ 4 km². Elle est délimitée à l'est par la rivière Gentilly, à l'ouest par la décharge Lavigne, au sud par l'autoroute 30 et, finalement, au nord par le fleuve St-Laurent. C'est à l'intérieur de cette zone que les travaux de réfection sont envisagés.

La zone d'étude détaillée couvre une superficie d'environ 150 km². Elle comprend principalement une partie du territoire de la ville de Bécancour, une partie du secteur Ste-Marthe-du-Cap de la nouvelle ville de Trois-Rivières ainsi que la municipalité de Champlain située sur la rive nord du fleuve. La densité de population dans cette zone est de 35 habitants par km². Le territoire se démarque par son importante utilisation agricole. La partie sud de la zone regroupe également le vaste parc industriel et portuaire de Bécancour.

Finalement, la zone élargie est d'environ 920 km². Cette zone est considérée dans le cadre du programme de surveillance de l'environnement d'Hydro-Québec. Elle englobe principalement la ville de Trois-Rivières, la ville de Bécancour ainsi que plusieurs municipalités avoisinantes.

LES OPPOSANTS

Dans le cadre de son avant-projet, Hydro-Québec a effectué plusieurs rencontres d'information et de consultation auprès de la population de la zone élargie et des médias. Divers représentants de différents domaines tels que l'environnement, la santé et l'économie étaient présents.

Lors de ces rencontres, trois principaux groupes d'opposants se sont faits entendre. Premièrement, plusieurs organismes environnementalistes ont exprimé leurs inquiétudes à propos des répercussions du projet sur l'environnement.

Leurs préoccupations se situent principalement au niveau des effets sur la végétation, sur la faune et sur le milieu aquatique. Ensuite, une partie de la population avoisinante (Gentilly, Bécancour, Nicolet, Champlain et Trois-Rivières) s'oppose au projet pour des raisons de santé et de sécurité. Certains affirment qu'il y a eu par le passé des cas de déformations infantiles et d'autres problèmes de santé liés à l'existence de la centrale. Finalement, des ex-travailleurs du nucléaire disent souffrir de maladies qui seraient reliées à leur exposition prolongée à une dose de radioactivité supérieure à celle que l'on retrouve en milieu naturel.

Il est important de mentionner que même si ces préoccupations sont valables et considérables, il n'existe aucune étude scientifique qui démontre de façon claire que la présence de la centrale nucléaire est en relation avec les problèmes de santé et environnementaux mentionnés précédemment.

LES ÉTUDES

En premier lieu, il est important de mentionner que le projet doit obligatoirement être approuvé par l'autorité fédérale responsable, en l'occurrence la Commission canadienne en sûreté nucléaire (CCSN) pour que celui-ci se réalise. À cet effet, les travaux envisagés doivent faire l'objet d'une évaluation environnementale en vertu de la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale*. Hydro-Québec réalise donc une étude d'impact sur l'environnement qui servira non seulement à l'approbation du projet, mais aussi à développer un programme de surveillance et de suivi de l'environnement.

De plus, dans le cadre de son avant-projet, Hydro-Québec réalisera des études techniques et des études de sûreté. Celles-ci serviront notamment à vérifier l'état des systèmes, des structures, des composants du réacteur et de la turbine en vue de l'exploitation de la centrale jusqu'en 2035. Ces études

permettront aussi d'établir les coûts et le calendrier associés aux travaux de manière exacte. À cela s'ajoute des études financières et économiques comme la présente afin de déterminer la rentabilité financière et économique du projet.

OBJECTIF DE LA PRÉSENTE ÉTUDE

L'objectif de la présente étude est de déterminer si le projet proposé représente la meilleure alternative possible pour assurer la disponibilité d'une quantité d'électricité similaire à celle produite actuellement par Gentilly-2 jusqu'en 2035. Ceci implique que l'on cherche à minimiser les coûts économiques nécessaires à la production de cette quantité d'énergie. Puisque l'on considère la fonction d'utilité de l'ensemble de la société québécoise, la minimisation de coûts doit prendre en compte tous les coûts économiques qui affectent la collectivité d'une part avec la réalisation du projet et, d'autre part, sans celui-ci.

L'ANALYSE PAR LA MINIMISATION DE COÛTS ÉCONOMIQUES

L'analyse par minimisation de coûts économiques ou analyse «cost-effectiveness» est un outil que les économistes utilisent afin de pouvoir suggérer des décisions optimales dans le cadre de l'évaluation de projets publics ou de projets privés d'intérêt public (utilisation des fonds publics, conséquences écologique, etc.). Cet outil évalue les différentes possibilités d'atteindre un but prédéterminé de manière à définir celle qui engage le moins de coûts économiques pour la société. En d'autres termes, l'analyse «cost-effectiveness» détermine de quelle façon ou par quel moyen produire un avantage (constant) le plus efficacement possible. De ce fait, la minimisation de coûts économiques définit les décisions optimales du point de vue de l'efficacité (allocation optimale des ressources) et non pas de l'équité. Le critère d'acceptation des projets peut

se définir comme suit : Après avoir considéré toutes les alternatives, on accepte un projet s'il représente la façon la moins coûteuse d'un point de vue collectif de produire un avantage déterminé.

Pour mettre en application ces principes, on doit considérer les coûts économiques nets des externalités (positives ou négatives) générés par un projet⁴. De plus, il est nécessaire de déterminer et de monétiser sur une base commune (dollars constants) tous les coûts économiques générés par le projet étudié. Ensuite, de manière à prendre en considération la valeur temps, on a recours au principe d'actualisation. Ce principe est nécessaire puisque les différents agents ont une préférence pour le présent. Une fois tous les coûts économiques actualisés, la sommation détermine ce qu'on définit comme étant la valeur actuelle nette (VAN) du projet. D'un point de vue technique, on détermine si un projet représente l'option la plus efficace de produire un avantage constant si la VAN des coûts économiques associés au projet est inférieure à la VAN des coûts économiques de tout autre alternative. Cette approche permet donc la comparaison de plusieurs projets substitués sur le plan économique.

À première vue, l'analyse «cost-effectiveness» peut sembler simpliste et facile d'application. Dans les faits, ce n'est pas toujours le cas. Les économistes peuvent se buter à plusieurs difficultés. Tout d'abord, il peut y avoir des difficultés au niveau de l'identification et de la quantification des coûts économiques à cause des effets impondérables et des distorsions de marché. Ensuite, la monétarisation des coûts économiques peut être problématique ; il suffit de penser aux externalités liées à l'environnement. Finalement, des difficultés peuvent survenir au niveau de l'agrégation ou de l'actualisation des données.

⁴Pour plus de détails sur la définition et la détermination des externalités, voir MARTIN, Fernand, *Évaluation des projets publics*, Guide pour la lecture des ouvrages principaux, Cours ECN 6873, chapitre V, Département de sciences économiques, Université de Montréal, 2002-2003.

En ce qui concerne le projet de réfection de la centrale nucléaire de Gentilly-2, l'analyse par la minimisation de coûts économiques est nécessaire pour évaluer si le projet représente la meilleure alternative de production d'électricité. Étant donné le caractère public du projet, une analyse financière n'est pas suffisante du point de vue décisionnel. En effet, l'analyse financière considère seulement les flux monétaires liés au projet tandis que l'analyse économique considère les coûts d'opportunité qui se base sur la volonté à payer des agents.

D'autre part, dans le cadre de ce projet, la minimisation de coûts économiques est privilégiée à l'analyse avantages-coûts économique. L'analyse avantages-coûts cherche à démontrer si un projet est rentable socialement. Elle considère donc les augmentations et les diminutions de bien-être collectif par les avantages et les coûts économiques. Dans notre cas, l'avantage est fixé à l'avance (production d'une quantité d'électricité comparable à celle de Gentilly-2) et on veut déterminer l'option la plus efficace (moins coûteuse) d'y parvenir. De ce fait, on doit évaluer les coûts économiques nets des externalités sans toutefois monétiser les avantages qui sont fixes peu importe l'option retenue. L'outil d'analyse par la minimisation de coûts économiques est donc l'approche la plus adéquate pour aborder cette problématique.

Il est à noter que pour des projets d'autres natures, différents critères peuvent être utilisés. On peut penser ici aux projets à caractère culturel, à la préservation de l'environnement, à l'allocation inter génération etc. Dans ces cas particuliers, des critères comme la valeur de leg, la valeur d'existence, le développement durable ou semi-durable et autres peuvent prévaloir par rapport à l'analyse avantages-coûts économique ou l'analyse «cost-effectiveness».

LE MODÈLE

Le modèle spécifique au cas étudié utilise la valeur actuelle nette (VAN) de tous les coûts économiques qui pourraient être générés par le projet de réfection de la centrale Gentilly-2. La somme actualisée de ces coûts doit ensuite être comparée à la VAN des coûts économiques de la meilleure alternative possible de production de la même quantité d'électricité. Pour constituer le modèle, on considère les éléments suivants :

- ✓ L'objectif est de déterminer si le projet représente la meilleure alternative pour produire la quantité d'énergie en question, et ce, du point de vue de la société québécoise. On considère donc la fonction d'utilité de l'ensemble de la population du Québec.
- ✓ On doit évaluer le projet en date du 1^{er} janvier 2006 puisque si le projet est mis de l'avant, les travaux d'agrandissement des aires de stockage débuteront au cours de l'année 2006. C'est donc en 2006 que les premiers coûts économiques se concrétiseraient.
- ✓ L'horizon du projet quant à l'exploitation de la centrale est 2035. C'est donc sur cette période que les différentes alternatives seront comparées.
- ✓ Le taux d'actualisation est de 7%. Ce taux est celui utilisé par la société Hydro-Québec dans l'évaluation de ses projets d'envergure. Il diffère du taux suggéré par Jenkins et adopté par le conseil du trésor du Québec qui est fixé à 10%. La différence provient de la structure de financement particulière d'Hydro-Québec. Une justification plus précise de l'utilisation de ce taux est présentée dans une section ultérieure du présent travail intitulée «Taux social d'actualisation d'Hydro-Québec».

- ✓ Par convention, on assume que tous les flux économiques sont effectués au 31 décembre de chaque année donc en fin de période.
- ✓ Toutes les données monétaires utilisées dans les calculs doivent être exprimées en dollars canadiens constants de l'année 2002. Si certaines données utiles pour l'analyse sont exprimées en dollars d'une autre année, elles seront converties à l'aide de l'indice des prix à la consommation (IPC) fourni par Statistique Canada. Dans le cas de données exprimées dans une autre devise que canadienne, elles seront converties avec le taux de change de l'époque, lui aussi fourni par Statistique Canada.
- ✓ On considère les coûts économiques générés par la réalisation du projet par rapport à la situation de référence qui est l'arrêt des opérations et le démantèlement de la centrale en 2013.

Dans un premier temps, tous les coûts économiques qui pourraient être générés par la réalisation du projet de réfection doivent être évalués. Dans cette perspective, on considère les coûts d'investissements que nécessite le projet, les coûts d'opérations économiques engendrés par l'exploitation de la centrale, les coûts de substitution de l'électricité pendant les arrêts de production causés par les travaux, les coûts de démantèlement de la centrale à la fin de sa vie utile et les frais de gestion des déchets radioactifs. Notons également que les coûts d'opération économiques qui incluent la rémunération des employés sont diminués par le gain social dû à la préservation des emplois à la centrale jusqu'en 2035.

Évidemment, les investissements que nécessite le projet de Gentilly-2 représentent un coût économique. En effet, cela nécessite des déboursés qui pourraient avoir un usage alternatif pour Hydro-Québec. Les coûts d'opération économiques engendrés par l'exploitation sont également à prendre en compte

pour les mêmes raisons. Ensuite, pendant les travaux de réfection, la centrale cesserait temporairement sa production. Dans cette éventualité, l'énergie perdue devrait être substituée par de l'électricité provenant d'une source alternative ce qui représente un coût économique pour le projet. Finalement, à la fin de la vie utile de la centrale, celle-ci aura une valeur résiduelle négative à cause des frais associés à son démantèlement. À ceci s'ajoute non seulement les frais de gestion des déchets radioactifs accumulés jusqu'en 2013, mais également ceux qui seront produits par la continuité des opérations. Ces frais sont difficilement quantifiables à cause du problème de la disposition ultime de ce type de déchets qui est encore non résolu à ce jour. Il sera question de ce problème ultérieurement.

On détermine donc la VAN de cette option en faisant la sommation des coûts économiques actualisés mentionnés ci-dessus en utilisant la formulation mathématique du modèle suivante :

$$VAN = + \sum_{t=1}^4 \frac{I_t}{(1+i)^t} + \sum_{t=1}^{30} \frac{C_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=5}^{30} \frac{GSMO_t}{(1+i)^t} + \sum_{t=2}^3 \frac{CS_t}{(1+i)^t}$$

$$+ \frac{RV}{(1+i)^{30}} + \frac{FGD}{(1+i)^{30}}$$

où

- VAN : la valeur actuelle nette totale de tous les coûts économiques générés par le projet de réfection de Gentilly-2 au 1^{er} janvier 2006
- t : la période à laquelle le coût économique est concrétisé
- i : le taux d'actualisation social d'Hydro-Québec

- I_t : investissements réalisés dans le cadre du projet (investissements sur 4 périodes, i.e. à chaque année où il y a réalisation de travaux)
- C_t : les coûts d'opération économiques générés par l'exploitation de la centrale incluant le coût de la main-d'œuvre
- $GSMO_t$: le gain social dû à la préservation de la main-d'œuvre (le signe négatif signifie que cet élément représente une réduction des coûts associés à la rémunération de la main-d'œuvre)⁵
- CS_t : coûts de substitution de l'électricité perdue pendant les arrêts de production dû aux travaux de réfection (arrêts à la période 2 et 3 donc 2008 et 2009)
- RV_t : la valeur résiduelle de la centrale Gentilly-2 (coût de démantèlement de celle-ci)⁶
- FGD_t : les frais de gestion des déchets radioactifs accumulés à la fin de la vie utile de la centrale nucléaire⁷

Ce modèle mathématique fait ressortir tous les coûts économiques non négligeables et mesurables avec un certain degré de fiabilité générés par le projet de réfection de la centrale nucléaire Gentilly-2. Ces éléments seront traités de façon plus approfondie dans les sections à venir du présent travail.

Dans un deuxième temps, le modèle doit considérer la meilleure alternative de production d'une quantité équivalente d'énergie dans l'éventualité de la non réalisation du projet de réfection de Gentilly-2. Dans cette perspective, on doit tenir compte des coûts d'opération économiques de Gentilly-2 tant qu'elle

⁵ Cette diminution de coûts économiques s'étalent de $t=5$ à 30 puisque si le projet n'est pas réalisé, il y aura des pertes d'emplois à partir de la période 5.

⁶ Comme le montre le calendrier de l'annexe A, les coûts de démantèlement s'étalent sur 15 ans (2035 à 2050). Néanmoins, pour des raisons de simplification et de présentation, on actualise ces coûts à la période 30 (2035) pour avoir une valeur résiduelle simplifiée en une seule période. RV sera ensuite actualisé à la période 0 dans le calcul de la VAN. Le détail du raisonnement et du calcul est présenté dans une section ultérieure.

⁷ Le même raisonnement que pour RV s'applique. Les détails sont également présentés dans une section ultérieure.

est encore en fonctionnement. Ensuite, on considère la valeur résiduelle de la centrale (négative à cause des coûts de démantèlement) ainsi que les frais de gestions des déchets radioactifs accumulés. À cet effet, notons que ces coûts ne surviendront pas aux mêmes périodes que dans l'option de réfection et que la quantité de déchets à gérer sera moindre à cause d'une exploitation plus courte de la centrale. De plus, il ne faut pas perdre de vue que, dans cette option, il y aurait une diminution de production à 80% de la capacité de Gentilly-2 pendant les trois dernière années de sa vie (2010 à 2013). À ce moment, l'électricité perdue devrait être remplacée par une source alternative ce qui représente un coût économique de l'alternative.

D'autre part, puisque même si le projet de réfection de la centrale nucléaire n'est pas réalisé, il faut assurer la disponibilité d'une certaine quantité d'énergie, Hydro-Québec devra se tourner vers un autre projet de capacité similaire. Il faut donc considérer non seulement les coûts d'opération de ce projet alternatif, mais aussi les investissements qu'il représente comme des coûts économiques⁸.

La formulation mathématique de la VAN des coûts économiques sans le projet de réfection se présente comme suit :

$$\begin{aligned}
 VAN = & + \sum_{t=1}^7 \frac{C_t}{(1+i)^t} + \sum_{t=5}^7 \frac{CS_t}{(1+i)^t} + \sum_{t=1}^7 \frac{IA_t}{(1+i)^t} \\
 & + \sum_{t=8}^{30} \frac{CPA_t}{(1+i)^t} + \frac{RV}{(1+i)^8} + \frac{FGD}{(1+i)^8}
 \end{aligned}$$

⁸ Le choix du projet alternatif à utiliser peut être contestable. C'est pourquoi il doit être fait avec précaution et sous certaines réserves. Ces éléments seront discutés dans une section ultérieure.

où

- VAN :** la valeur actuelle nette totale au 1^{er} janvier 2006 de tous les coûts économiques générés sans le projet de réfection de Gentilly-2 tout en assurant la disponibilité d'une quantité d'énergie équivalente à la production de Gentilly-2
- t :** la période à laquelle le coût économique est concrétisé
- i :** le taux d'actualisation social d'Hydro-Québec
- C_t :** coûts d'opération économiques de la centrale Gentilly-2 jusqu'à sa fermeture complète en 2013⁹
- CS_t :** coûts de substitution de l'électricité perdue lors des diminutions de production pendant la période s'étalant de 2010 à 2013
- IA_t :** coûts nets d'investissement¹⁰ dans un projet alternatif de capacité de production énergétique similaire
- CPA_t :** coûts d'opération économiques associé à la production d'électricité dans un projet alternatif de capacité similaire
- RV_t :** la valeur résiduelle de la centrale Gentilly-2 (coût de démantèlement de celle-ci)¹¹
- FGD_t :** les frais de gestion des déchets radioactifs accumulés à la fin de la vie utile de la centrale nucléaire i.e. en 2013

⁹ Pour certaines périodes, les coûts sont identiques à l'alternative avec projet. La présentation pourrait se faire en considérant les coûts incrémentaux, i.e. en considérant le différentiel des coûts. Toutefois, la méthode de présentation utilisée ici semble plus claire et évite la confusion sans changer les résultats.

¹⁰ Par coûts nets d'investissement, on présume des coûts d'investissement nets de toutes externalités reliées au projet telles que les dommages à l'environnement, le gain social de la main-d'œuvre, etc. De plus, on considère que les coûts sont répartis sur les sept premières années puisque, comme il le sera présenté plus loin, le projet utilisé demande une période de construction de sept ans et qu'il faut assurer une disponibilité de l'électricité pour 2013.

¹¹ On utilise ici le même raisonnement que dans la détermination de RV dans l'alternative avec projet à l'exception des périodes de concrétisation des coûts. Il va de même pour les frais de gestion des déchets radioactifs (FGD). Le détail du calcul sera tout de même présenté dans une section ultérieure.

Cette deuxième équation mathématique fait ressortir tous les coûts économiques non négligeables et mesurables avec un certain degré de fiabilité générés si le projet de réfection de Gentilly-2 n'a pas lieu tout en assurant un avantage constant (disponibilité d'une quantité d'énergie similaire à celle de Gentilly-2 jusqu'en 2013). Ces éléments seront également traités de façon plus approfondie dans les sections à venir du présent travail.

Une fois ces deux VAN calculées, il sera possible de déterminer si le projet de réfection de la centrale nucléaire de Gentilly-2 est la meilleure alternative pour produire l'énergie en question. Techniquement, si la VAN des coûts économiques de l'option du projet de réfection est inférieure à celle des coûts économiques de l'alternative, le projet proposé sera considéré comme étant la meilleure option de production.

Auparavant, voyons pourquoi cette analyse «cost-effectiveness» utilise un taux d'actualisation social propre à Hydro-Québec au détriment du taux suggéré par Jenkins qui est utilisé par le gouvernement du Québec dans l'évaluation de ses projets d'envergure.

LE TAUX SOCIAL D'ACTUALISATION D'HYDRO-QUÉBEC

Le coût du capital d'Hydro-Québec est différent de celui du gouvernement fédéral et des autres emprunteurs gouvernementaux pour deux principales raisons. Tout d'abord, les projets d'Hydro-Québec ont pour effet d'augmenter l'enveloppe de fonds étrangers disponible au Canada. C'est la qualité des projets qui suscite l'offre de prêts. Ensuite, les montants impliqués dans les projets sont suffisamment considérables pour justifier un calcul séparé. La différence avec les gouvernements est que ces derniers empruntent davantage sur le marché canadien où l'effet d'éviction est plus grand ce qui se traduit par un coût de capital plus élevé.

Dans la détermination du taux d'actualisation d'Hydro-Québec, on se base sur l'approche de portefeuille où la circulation des capitaux est non seulement fonction du taux d'intérêt, mais aussi des caractéristiques du titre offert aux investisseurs et prêteurs. On considère donc la structure de capital à long terme ainsi que les taux d'intérêt et de rendement à long terme.

En considérant les préférences en structure de capital d'Hydro-Québec, il s'agit d'établir l'impact des emprunts d'Hydro-Québec tant au Canada qu'à l'étranger, c'est-à-dire l'effet d'éviction. Cet impact est fonction des élasticités dans les trois secteurs possiblement affectés : les consommateurs-épargnants, les entreprises et les marchés étrangers. Une fois ces élasticités établies, on utilise la formule de Edwards (1986) $W^1 = \gamma\rho + \beta r + [1 - (\gamma + \beta)] \pi$ pour obtenir un taux d'actualisation social arrondi à 7%¹².

LES COÛTS ÉCONOMIQUES (AVEC PROJET DE RÉFECTION)

Cette section explique et calcul tous les coûts économiques qui seront générés pour la collectivité si le projet de réfection de la centrale Gentilly-2 est réalisé. De plus, des justifications seront fournies quant à la non considération de certains éléments dans le calcul des coûts économiques tels que les externalités environnementales négatives et le risque d'explosion ou d'attaque terroriste.

Les coûts d'investissement (I_t)

Pour évaluer les coûts d'investissement du projet étudié, on se réfère au projet de réfection de la centrale nucléaire de Pointe-Lepreau au Nouveau-Brunswick. En effet, ce projet est similaire en tout point au projet proposé pour

¹² La justification du taux d'actualisation présentée ici n'est qu'un bref résumé de la méthodologie présentée dans le cours ECN 6873. Pour une justification plus complète ainsi qu'un calcul précis, voir MARTIN, Fernand, *Évaluation des projets publics*, Guide pour la lecture des ouvrages principaux, cours ECN 6873, Département de sciences économiques, Université de Montréal, 2002-2003, P. IX-61 à IX-71.

Gentilly-2. Les études spécifiques au projet de Gentilly-2 qui devraient tirer des conclusions très similaires n'étant pas encore complétées, le projet de Pointe-Lepreau représente une référence très pertinente. On établit les investissements totaux à 846,3 millions de dollars de 2000 ce qui représente 887,3 millions de dollars de 2002¹³. Puisque ces coûts d'investissement sont affectés dans une proportion de un tiers à l'agrandissement des aires de stockage et dans une proportion de deux tiers aux travaux de réfection, on obtient la répartition des investissements suivante :

Tableau 1
Répartition des coûts d'investissement du projet de réfection
(en millions de dollars de 2002)

	2006	2007	2008	2009
INV	147,9	147,9	295,8	295,8

Source : Étude de NB Power sur le projet de Pointe-Leprau

Note : On prend en compte des coûts d'investissement à la période où ils sont effectivement déboursés. Une méthode alternative serait de les exprimer sous forme d'annuité sur toute la durée de vie du projet (distribution sur une base annuelle moyenne). Après actualisation, ces deux approches donnent le même résultat¹⁴.

Coûts d'opération économiques (C_t)

D'après le plus récent rapport des activités de la centrale Gentilly-2 en 2002, les dépenses annuelles d'exploitation de la centrale sont de l'ordre de

¹³ Source : «www.nbpower.com»

¹⁴ Pour le détail de la deuxième approche ainsi que la démonstration de l'équivalence, voir MARTIN, Fernand, *Évaluation des projets publics*, Guide pour la lecture des ouvrages principaux, cours ECN 6873, Département de sciences économiques, Université de Montréal, 2002-2003, chapitre VI.

130,9 millions de dollars¹⁵. Ces coûts sont composés principalement de salaires (77,4 millions de dollars), d'achats de matériel (12,6 millions de dollars), de services achetés et de factures diverses (40,9 millions de dollars)¹⁶. On suppose que ces coûts sont constants dans le temps pour une production d'électricité identique d'une année à l'autre.

Il est à noter que la quantité d'électricité produite par la centrale est plus ou moins variable d'une année à l'autre selon les différents arrêts de production planifiés. La production annuelle d'électricité est donc déterminée en faisant la moyenne empirique de production depuis la mise en opération de Gentilly-2 ce qui correspond sensiblement à la production de 2002¹⁷. On peut donc dire que les coûts d'opération annuels déclarés au rapport annuel de 2002 représente une bonne approximation des coûts d'opération annuels moyens qui prévaudront tout au long de la durée de vie de la centrale. De plus, on suppose la flexibilité complète des coûts lors d'une diminution planifiée de la production comme lors des éventuels travaux de réfection en 2008 et 2009. On répartit donc les coûts d'opération économiques de la manière suivante :

Tableau 2
Coûts d'opération économiques avec le projet de réfection
(en millions de dollars constants de 2002)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	....	2035
Coûts	130,9	130,9	32,7	32,7	130,9	130,9	....	130,9

Source : *Rapport des activités à la centrale de Gentilly-2 en 2002*, Hydro-Québec

¹⁵ Source : *Rapport des activités à la centrale nucléaire de Gentilly-2 en 2002*, Hydro-Québec.

¹⁶ Il est à noter que le total de ces coûts englobe les frais annuels de gestion des déchets radioactifs jusqu'à la disposition ultime de ceux-ci lors du démantèlement de la centrale.

¹⁷ Voir *Rapport des activités de Gentilly-2 2002*.

Note : On considère seulement 3/12 des coûts d'opération en 2008 et 2009 car, avec le projet, il y aurait 9 mois d'arrêt de production dû aux travaux pour chacune de ces deux années et que l'on suppose la flexibilité complète des coûts associés à la production. Par la suite, on prévoit une production similaire à la moyenne empirique pour toute la vie utile de la centrale. Les coûts d'opération économiques sont donc fixes à 130,9 millions de dollars constants de 2002 jusqu'en 2035.

Gain social dû à la préservation des emplois (GSMO_t)

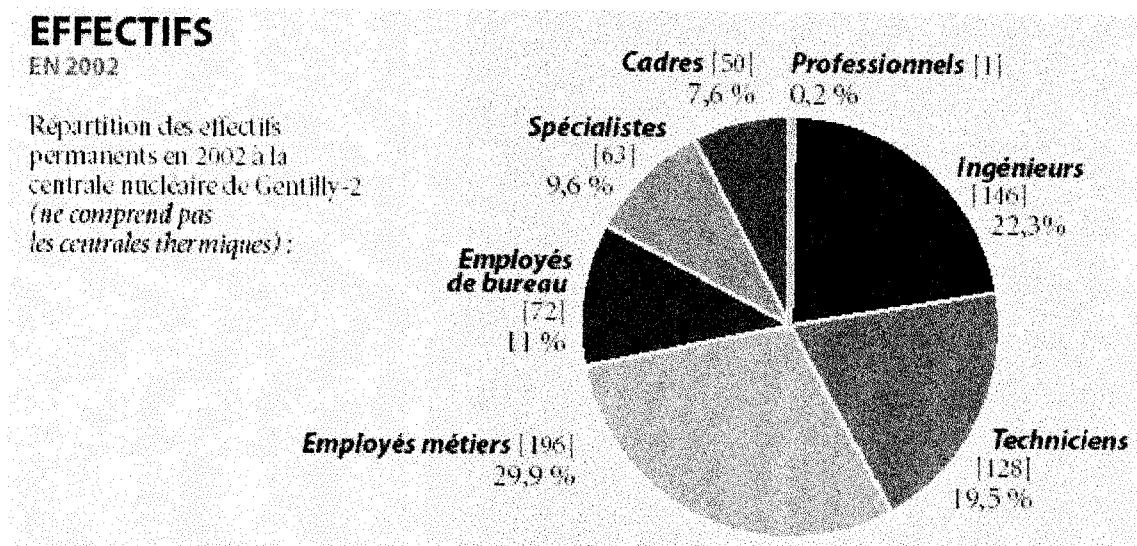
Le gain social de la main-d'œuvre représente une diminution de coûts économiques liés à la rémunération de la main-d'œuvre. Ce gain provient de la différence entre le coût nominal de la main-d'œuvre et son coût d'opportunité social. On définit le coût d'opportunité social de la main-d'œuvre comme étant la valeur de ce que produiraient les travailleurs en incluant la valeur de leurs loisirs s'ils n'étaient pas utilisés dans le cadre des activités reliées au projet. En ce qui a trait au coût nominal de la main-d'œuvre, il consiste tout simplement au coût réellement assumé pour le salaire des employés incluant les bénéfices sociaux et les taxes sur les salaires payées par l'employeur. On considère cette diminution de coûts économiques pour les travailleurs locaux seulement.

Même si la centrale est située dans la région administrative Centre du Québec, la grande majorité des employés proviennent de la région métropolitaine de Trois-Rivières qui fait partie de la région administrative de la Mauricie. Cette région est grandement affectée par le chômage tout comme les quelques villages entourant le site de la centrale. Puisque le projet implique la préservation de plusieurs emplois, on considère l'avantage relatif au gain social de la main-d'œuvre. Néanmoins, cette diminution de coûts économiques est considérée seulement pour ce qui a trait à la conservation des emplois à la centrale. On ne considère pas de gain social de la main-d'œuvre pour ce qui est des travailleurs non engagés à ce jour et qui seront employés dans le cadre des

travaux de réfection ou de démantèlement de la centrale, et ceci, puisque la main-d'œuvre utilisée pour ce genre de travaux est très spécialisée et provient généralement de l'extérieur du Québec.

En 2002, les dépenses salariales de la centrale totalisaient une somme de 77,4 millions de dollars. Étant donné la répartition des effectifs entre les différents métiers en demande à Gentilly-2, on considère qu'une grande partie des travailleurs restera au chômage qu'une courte période de temps seulement. On doit donc déterminer quels types d'emplois seront affectés par le chômage et dans quelles proportions. On retrouve la répartition des effectifs permanents pour 2002 à la figure 2 :

Figure 2



Source : Rapport des activités à la centrale nucléaire de Gentilly-2 en 2002, Hydro-Québec

La main-d'œuvre qui est susceptible d'avoir de la difficulté à retrouver un emploi à court terme se situe au niveau des employés que l'on considère comme étant non qualifiés. *À priori*, les employés qui occupent des postes de cadres, de spécialistes, de professionnels ou d'ingénieurs sont exclus de cette catégorie à cause de l'évolution favorable du marché du travail pour ces catégories

d'emplois¹⁸. En ce qui concerne les employés occupant des postes de techniciens, ceux-ci œuvrent principalement dans les domaines de l'électricité, de l'électronique et de l'informatique. Sachant que le secteur des hautes technologies traverse présentement une période peu prospère, plusieurs études ont été réalisées sur le marché du travail dans ces domaines d'activités. Parmi celles-ci, la «Revue du nouveau marché du travail» publiée par le Centre d'étude sur l'emploi et la technologie (CETECH) conclue que les techniciens de niveau collégial sont en forte demande au Québec et que le taux de chômage est très faible pour ce type d'emplois. Cette tendance devrait également se poursuivre dans les années à venir. On ne considère donc pas ce groupe d'employés dans la détermination du gain social de la main-d'œuvre.

Par contre, les employés de bureau ainsi que les employés de métiers (entretien, sécurité, plomberie, etc.) sont confrontés à un marché du travail très défavorable en Mauricie et au Centre du Québec¹⁹. Même si Emploi Québec prévoit un léger regain pour ce type d'emploi d'ici 2006, ces employés font face à un taux de chômage très élevé. On considère donc que les employés non qualifiés représentent un nombre de 72 employés de bureau et un nombre de 196 employés de métiers avec un salaire hebdomadaire moyen de 1 100\$²⁰. Afin de déterminer le prix de référence de la main-d'œuvre, on utilise le modèle de Jenkins et Kuo (1978), dans des conditions d'équilibre partiel. La formulation mathématique de ce modèle est présentée à la page suivante :

¹⁸ Source : *Les ingénieurs du Québec : évolution du marché du travail*, CETECH, décembre 2001.

¹⁹ Voir l'information sur le marché du travail d'Emploi Québec pour la Mauricie et le Centre du Québec : *Le marché du travail dans la région de la Mauricie*, Perspectives professionnelles 2001-2005, Information sur le marché du travail, IMT, Emploi-Québec.

²⁰ Estimation fournie par la Direction des ressources humaines de Gentilly-2.

$$CST = P \times W_t + (52 - P) \times L$$

avec

$$L = \frac{W_1(1-t) - B[fU(1-t) + gA(1-t)]}{B}$$

où

CST : Coût social du travail

P : P est la probabilité de travailler durant une année (exprimée en nombre de semaines travaillées durant une année). Au premier trimestre 2003, le taux de chômage dans la région de Trois-Rivières était de 9,9% en légère diminution par rapport au premier trimestre de l'année précédente. Toujours au premier trimestre 2003, on estime la durée moyenne du chômage pour la région métropolitaine de Trois-Rivières à 24,5 semaines²¹. Puisque la région touchée par le projet est plus large et englobe des villages qui sont affectés de façon similaire par le chômage, on considère ces données valables pour l'ensemble de la zone élargie²². On établit donc la valeur de P à 27,5 semaines.

W : W représente la rémunération hebdomadaire moyenne gagnée par un travailleur de la classe étudiée. Dans notre cas, on établit cette valeur à 1 100\$ par semaine. Ceci correspond à un salaire annuel brut de 57 200\$. Cette estimation est réaliste étant donné la structure salariale qui prévaut chez Hydro-Québec. Il est à noter

²¹ Source : Emploi-Québec Mauricie, *Bulletin régional sur le marché du travail*, premier trimestre 2003, Volume 6, Numéro 1.

²² Voir la carte géographique à la figure 1.

que le salaire moyen estimé est fixé de manière à ne pas surestimer les gains relatifs à la main-d'œuvre. Même si ce salaire paraît élevé, il est justifié puisque Hydro-Québec offre de très bonnes conditions salariales à ses employés et que la moyenne d'ancienneté de ceux-ci est élevée.

W_1 : W_1 correspond au salaire monétaire ordinairement gagné auquel on additionne les différents avantages sociaux payés par l'employeur²³. Par contre, on n'inclut pas les taxes pour bénéfices marginaux que les employeurs payent aux gouvernements. Pratiquement, ceci correspond à W multiplié par un facteur de 1,09²⁴. Ce facteur est estimé, mais s'approche de la réalité étant donné les différents avantages sociaux dont bénéficient les employés de ces catégories d'emplois. On obtient donc un montant de 1 199\$.

W_t : W_t représente le salaire hebdomadaire gagné plus les avantages marginaux et les taxes sur les salaires payées par les employeurs, c'est-à-dire la productivité de la main-d'œuvre. On détermine cette valeur en multipliant W par un facteur de 1,14²⁵. On obtient donc un montant de 1 254\$.

t : Taux effectif d'imposition sur le revenu imposable des travailleurs. Pour la classe de revenus étudiée, ce taux est de 27,6%²⁶.

²³ Ces avantages comprennent le temps supplémentaire, la prime pour ce genre d'emplois, les bonus, les absences payées et les autres bénéfices marginaux payés par l'employeur.

²⁴ Source : Estimation à partir d'une série historique de Statistiques Canada.

²⁵ Source : Estimation à partir d'une série historique de Statistiques Canada.

²⁶ Source : ROYER Pierre et DREW James, *Impôt et planification*, 2002.

- f : Proportion de la période de chômage durant laquelle un travailleur reçoit les bénéfices de l'assurance. On estime cette proportion à 70% étant donné l'attente et les procédures administratives.
- g : Proportion du temps en chômage où les travailleurs temporaires ayant épuisé les bénéfices de l'assurance chômage ont recours à l'assistance sociale. On estime ce paramètre à 10%.
- U : Ce paramètre correspond aux bénéfices hebdomadaires d'assurance chômage. Le montant des prestations versées au cours d'une période de chômage équivaut à 55% de la rémunération hebdomadaire. Cependant, la rémunération assurable maximale est fixée à 750\$²⁷. Ceci établit le U maximal à 413\$. Or, pour les emplois étudiés, le salaire est toujours au-dessus du maximum assurable.
- A : Paiements hebdomadaires d'assistance sociale. Au Québec, pour l'année 2002, ces paiements varient entre 6 654\$ par année pour une personne seule apte au travail et 17 642\$ par année pour une famille de deux adultes et deux enfants²⁸. On considère donc une moyenne de ces montants pour obtenir des prestations de 234\$ par semaine.
- B : Ce paramètre représente la sur-rémunération des travailleurs due au pouvoir monopolistique des syndicats et des barrières institutionnelles à la détermination libre des salaires. On estime ici un ratio égale à 4/3.

²⁷ Données obtenues à partir du site Internet du Mouvement Action-Chômage :
«<http://sites.rapidus.net/actionchomage/>».

En appliquant la formule de Jenkins et Kuo (1978) avec les paramètres précédents, on obtient un coût social du travail (CST) égale à 40 658\$. Pour tous les employés concernés, le CST est donc de 10 896 283\$. On établit le gain social de la main-d'œuvre (GSMO) en soustrayant le CST de la masse salariale des employés concernés, c'est-à-dire 15 329 600\$. On obtient une valeur annuelle du GSMO de 4 433 317\$. Le détail du calcul est présenté à l'annexe B.

Si le projet n'est pas réalisé, les mises à pied débuteraient dès 2010 alors que la centrale diminuerait sa production à 80% de sa capacité. Puisqu'on assume une flexibilité complète de la main-d'œuvre lors d'une diminution de production planifiée, on assume que 20% des emplois seraient perdus en 2010. On considère donc une diminution de coûts égale à 20% du GSMO annuel calculé pour une fermeture complète de la centrale (20% X 4 433 317 = 866 663\$). Ceci est valable pour les trois années où il y aurait une diminution de production sans le projet (2010, 2011 et 2012). Ensuite, puisque la centrale serait complètement fermée à partir de 2013 si le projet n'est réalisé, on considère que tous les emplois seraient perdus à partir de 2013. De ce fait, on assume la totalité du GSMO pour tout le reste de la vie utile de la centrale, i.e. 2035. La diminution de coûts économiques est donc répartie comme suit :

Tableau 3
GSMO avec le projet de réfection
(en millions de dollars constants de 2002)

	2006	...	2009	2010	2011	2012	2013	...	2035
GSMO	0	...	0	0,89	0,89	0,89	4,43	...	4,43

Source : Voir calcul à l'annexe B

²⁸ Données obtenues à partir du Conseil national du Bien-être Social : «www.ncwcnbes.net/».

Note : On ne considère pas de perte d'emploi pendant la phase de réfection. En effet, même s'il y a arrêt de production pendant cette période, on fait l'hypothèse que la partie des employés qui ne sera pas engagée dans le cadre des travaux sera affectée à d'autres tâches au sein même d'Hydro-Québec. Ce phénomène se traduirait par des gains de productivité et, de ce fait, il n'y aurait pas de perte sociale.

Coûts de substitution de l'électricité pendant les arrêts de production (CS_i)

Comme mentionné précédemment, les travaux de réfection nécessiteraient un arrêt complet de la centrale pour une période de 18 mois en 2008 et 2009. De ce fait, l'énergie perdue devrait être substituée par de l'électricité provenant d'une source alternative.

Étant donné la période relativement courte de l'arrêt de production, on fait l'hypothèse que la société d'état ne développera pas d'infrastructure spécifiquement à cet effet. On considère donc que la substitution s'effectuerait par le biais des infrastructures que possède actuellement Hydro-Québec ou encore par des achats d'électricité à l'extérieur comme c'est parfois le cas. On définit donc les coûts de substitution en prenant le coût des achats d'électricité d'Hydro-Québec que l'on additionne aux charges d'exploitation de manière à considérer les deux sources de remplacement possibles. On considère également les taxes payées à l'étranger par Hydro-Québec sur ses achats d'électricité. On divise ensuite ces coûts par la quantité totale des ventes d'électricité pour obtenir un coût de substitution de 29,73\$ par MW-h qui est en fait le coût de revient moyen de l'électricité vendue par Hydro-Québec²⁹.

La production d'électricité moyenne de la centrale se chiffre à 4 717 282 MW-h dont 314 770 MW-h sont consommés par les équipements auxiliaires.

²⁹ Ces données sont disponibles dans le *Rapport annuel 2002* ainsi que dans le *Profil financier 2002-2003* d'Hydro-Québec.

C'est donc dire que la production annuelle réelle nette (disponible pour la vente) est de 4 402 512 MW-h³⁰. La perte d'énergie pendant pour chacune des années de travaux se chiffre donc 3 301 884 MW-h à (9/12 X 4 402 512 = 3 301 884). Cette quantité représente donc un coût de substitution de 98,17 millions de dollars constants de 2002 pour chacune des années où s'effectuent les travaux de réfection (2008 et 2009).

Valeur résiduelle de la centrale (RV_t)

La valeur résiduelle de la centrale correspond en fait aux coûts de démantèlement de celle-ci. Cela représente des investissements colossaux. En effet, la plus récente étude à ce sujet établit des déboursés de l'ordre de 429,6 millions de dollars (en dollars de 2000)³¹. Cette estimation est sujette à changement ultérieurement suite aux études en cours. On considère ce montant exact du moins jusqu'à ce qu'une étude plus récente démontre une estimation différente. On doit corriger ce montant en utilisant l'indice des prix à la consommation (IPC)³² pour obtenir des coûts de l'ordre de 450,4 millions de dollars constants de 2002. Ces coûts seront étalés également sur quinze ans ce qui correspond à la période nécessaire au démantèlement de la centrale. On impute donc au projet des coûts économiques annuels de 30 millions (dollars constants de 2002) à partir de 2035. Néanmoins, comme mentionné précédemment, on utilise l'actualisation de ces coûts à la période 30 (2035) afin de simplifier la présentation. Notons que cette simplification n'implique aucun changement au niveau des résultats.

$$\sum_{t=1}^{15} [30/(1+7\%)^t] = 273,24 \text{ millions}$$

³⁰ Source : *Rapport des activités à la centrale nucléaire de Gentilly-2 en 2002*, Hydro-Québec.

³¹ Selon une étude de la firme américaine TLG Services.

³² Donnée de Statistique Canada.

Suite à l'actualisation, on obtient un coût de 273,24 millions de dollars constants de 2002 qui sera considéré en 2035. Il ne faut pas perdre de vue qu'étant donné le fait que ce montant est concrétisé à la période 30 (2035), il devra être actualisé à la période 0 (1^{er} janvier 2006) dans le calcul de la VAN.

Frais de gestion des déchets radioactifs (FGD_t)

Les frais de gestion, de stockage, de transport et d'enfouissement des déchets radioactifs sont estimés à 523,8 millions de dollars de 2000³³. Ceci inclut tous les déchets accumulés jusqu'en 2013. Convertie en dollars constants de 2002, cette somme représente 549,2 millions de dollars de 2002.

D'autre part, si le projet de réfection de la centrale est réalisé, les travaux ainsi que la continuité des opérations de la centrale jusqu'en 2035 généreront des déchets radioactifs supplémentaires. Bien sûr, tout comme les déchets produits jusqu'en 2013, cela se traduira par des frais de gestion que devra assumer Hydro-Québec. Selon les experts d'Hydro-Québec, la quantité de déchets à gérer sera doublée³⁴. Les frais le seront donc également. De ce fait, on conclue que les frais de gestion liés aux déchets supplémentaires seraient de l'ordre de 549,2 millions de dollars constants de 2002.

Comme dans le cas des coûts de démantèlement, les frais associés aux déchets accumulés jusqu'en 2013 ainsi qu'aux déchets additionnels générés par la continuité de l'exploitation de la centrale seront étalés sur quinze ans. On impute donc au projet des coûts économiques annuels de 73,2 millions (dollars constants de 2002) à partir de 2035 et ce pour une période de quinze ans. Une

³³ Les frais de gestion des déchets sont obtenus à partir l'étude de la firme américaine TLG Services citée précédemment. Même s'il existe le problème de la disposition ultime des déchets, TLG estime les frais totaux de gestion qui devraient être déboursés en continu lors du démantèlement. Cette estimation fait l'hypothèse d'une solution au problème et donc que ces frais englobent tous les déboursés jusqu'à l'infini. On assume également l'hypothèse voulant que la disposition des déchets s'étale exactement sur la même période que le démantèlement de la centrale.

³⁴ Source : HYDRO-QUÉBEC PRODUCTION, Modifications des installations de stockage des déchets radioactifs et réfection de la centrale Gentilly-2, Description du projet, Mars 2003.

fois encore, pour des questions de présentation, il est préférable d'exprimer ce coût de façon globale en 2035.

$$\sum_{t=1}^{15} [73,2 / (1 + 7\%)^t] = 666,7 \text{ millions}$$

On obtient donc un coût économique de 666,7 millions de dollars constants de 2002 qu'il faudra actualiser dans le calcul de la VAN puisqu'il est concrétisé en 2035.

Externalités environnementales négatives et les risques pour la santé

Tout d'abord, en ce qui a trait à la phase de construction du projet, on envisage des répercussions temporaires sur les milieux naturel et humain. En effet, on appréhende des perturbations au niveau des espèces fauniques utilisant des habitats terrestres ou semi-aquatiques situés à proximité de la centrale. Néanmoins, ces perturbations ne remettent pas en cause ni l'intégrité de ces habitats, ni la survie des espèces. En ce qui concerne le milieu humain, le principal impact retenu est l'accroissement de la circulation sur l'autoroute 30 à cause du transport des matériaux et des équipements nécessaires aux travaux. Puisque ces effets sont temporaires et n'entraînent pas d'impact majeur sur les milieux avoisinants, on les considère comme étant négligeables.

En ce qui a trait à la phase d'exploitation, aucun impact d'importance sur le milieu naturel n'est appréhendé. Jusqu'à maintenant, aucune étude d'experts démontre clairement que la présence de la centrale nucléaire dans la région augmente les risques de maladies. Il est de même pour la détérioration de l'environnement. Au contraire, différentes études démontrent que la radioactivité dégagée par la centrale n'a pas d'impact ni sur la santé des individus incluant les

travailleurs de Gentilly-2 ni sur les milieux productifs avoisinants³⁵. La présente étude ne considère donc pas d'impact environnemental significatif du moins jusqu'à ce que des études concluantes à ce sujet soient réalisées.

Le risque d'explosion ou d'attaque terroriste

Comme mentionné précédemment, les principaux opposants au projet sont les groupes écologistes ainsi qu'une certaine proportion de la population avoisinante. Ces derniers accordent une valeur négative à demeurer à proximité d'une centrale nucléaire à cause des risques potentiels que cela représente. Ces risques se situent au niveau de la possibilité d'explosion dû au mauvais fonctionnement des installations ou à une éventuelle attaque terroriste. De plus, la population exprime aussi une crainte par rapport au degré de radioactivité qui émerge de la centrale.

En ce qui concerne le risque d'explosion, celui-ci est minime à cause des contrôles très serrés du fonctionnement de la centrale et de la sécurité renforcée après les attaques terroristes du 11 septembre 2001. De plus, aucune étude technique démontre avec certitude quelconque effet néfaste sur la santé des individus relié à l'exploitation de la centrale nucléaire. Par contre, même après avoir clarifié ce point, les gens accordent une valeur au risque et celle-ci se reflète dans leurs comportements. On peut observer cette valeur par la volonté à payer des individus. Par exemple, un individu pourrait être disposé à payer moins cher pour une maison à proximité de la centrale ; un parent pourrait être prêt à payer plus cher pour que son enfant fréquente une école plus distante de la centrale etc. Cette valeur représente un coût économique en défaveur du projet de réfection.

³⁵ Voir *Le complexe nucléaire de Gentilly, au cœur de son environnement : Évaluation des risques écotoxicologiques et toxicologiques*, Hydro-Québec Production.

Il est possible de définir cette valeur par différentes méthodes. À cet effet, mentionnons les méthodes d'évaluation contingente ou encore la méthode des prix hédoniques qui utilise les transactions sur le marché immobilier de la région. Néanmoins, ces méthodes sont, une fois encore, facilement contestables et imprécises. De plus, dans ce cas précis, la faible densité de population à proximité de la centrale a pour effet l'obtention d'échantillons d'individus ou de transactions immobilières peu significatifs. On peut constater ce fait en analysant la carte géographique illustrée à la figure 1 ainsi que la description des zones à l'étude. La présente étude se contente donc de mentionner d'un point de vue qualitatif cet inconvénient au projet.

Ceci termine la présentation et le calcul de tous les coûts économiques générés si le projet de réfection de la centrale Gentilly-2 est réalisé. Un tableau présentant ces coûts dans le temps ainsi que leur valeur actuelle nette est exposé à l'annexe C. Ce tableau ainsi que les résultats de cette option seront commentés dans la section «Analyse des résultats». Tout d'abord, voyons les plus en détails les coûts économiques qui seront générés si le projet de réfection n'a pas lieu.

LES COÛTS ÉCONOMIQUES (SANS PROJET DE RÉFECTION)

Cette section présente l'explication et le calcul de tous les coûts économiques qui seront générés si le projet de réfection n'est pas réalisé tout en assurant la production d'un certain niveau de disponibilité de l'électricité. Il sera également question de la considération possible de l'impact économique régional de la fermeture éventuelle de la centrale nucléaire de Gentilly-2 et de la perte d'expertise dans le domaine de l'énergie nucléaire au Québec.

Coûts d'opération économiques de Gentilly-2 jusqu'à sa fermeture (C_t)

Puisque l'on analyse la valeur actuelle nette des coûts économiques en date du 1^{er} janvier 2006, on doit considérer les coûts d'opération de la centrale nucléaire jusqu'à sa fermeture définitive, c'est-à-dire en 2013. Ces coûts sont déterminés en utilisant la même méthodologie que dans l'option avec le projet de réfection de la centrale. Sans le projet, la centrale opère tout de même à 100% de sa capacité jusqu'à la fin de 2009 pour ensuite réduire sa production à 80% jusqu'à sa fermeture définitive. On a donc la répartition suivante :

Tableau 4

Coûts d'opération économiques de Gentilly-2 sans le projet de réfection (en millions de dollars constants de 2002)

	2006	....	2009	2010	2011	2012	2013	....	2035
Coûts	130,9	....	130,9	104,72	104,72	104,72	0	....	0

Source : *Rapport des activités à la centrale de Gentilly-2 en 2002*, Hydro-Québec

Note : Les coûts d'opération sont considérés à 100% jusqu'à la fin de 2009. Ensuite, pour les trois dernières années d'exploitation, on prend en compte 80% de ces coûts puisque l'on assume l'hypothèse de flexibilité complète des coûts d'opération dans le cas d'une diminution de production planifiée. Finalement, à partir de 2013, les coûts sont nuls puisque la centrale serait théoriquement fermée.

Valeur résiduelle de la centrale (RV_t) et frais de gestion des déchets (FGD_t)

Tout comme dans l'option du projet de réfection de la centrale, la valeur résiduelle correspond aux coûts associés au démantèlement de celle-ci. Ces coûts demeurent inchangés sans le projet (450,4 millions de dollars constants de 2002), mais ne se concrétisent pas aux mêmes périodes. En effet, sans le projet, Hydro-Québec pourrait procéder au démantèlement de Gentilly-2 dès sa

fermeture en 2013. On considère donc des coûts économiques annuels de 30 millions (dollars constants de 2002) répartis sur quinze ans à partir de 2013. En procédant à l'actualisation de ces coûts pour avoir un montant unique (exactement comme pour le calcul de RV avec projet), on obtient un coût de 273,2 millions de dollars constant de 2002 qui, cette fois-ci, serait concrétisé en 2013. Il faudra donc l'actualiser sur 8 périodes dans le calcul de la VAN.

Il va de même pour les frais de gestion des déchets radioactifs accumulés jusqu'en 2013 qui, comme dans la situation avec réfection, sont estimés à 549,2 millions de dollars de 2002 par la firme TLG Services. Dans cette alternative, les déboursés qui leurs sont associés seraient encore étalés sur quinze ans, mais cette fois-ci à partir de la fermeture en 2013. On obtient donc une série de coûts économiques annuels de 26,6 millions (dollars constants de 2002) à partir de 2013 jusqu'à l'année 2027. Après actualisation pour avoir un montant unique, on obtient un coût de 333,35 millions de dollars qui serait concrétisé en 2013.

Coût de substitution de l'électricité (CS_t)

Lors de la diminution de production à 80% de la capacité de la centrale en 2010, 2011 et 2012, l'énergie perdue devrait être substituée par de l'électricité provenant d'une source alternative. Le coût de substitution de cette énergie représente donc un coût économique de l'option sans projet de réfection.

En utilisant la même méthodologie de calcul et sous les mêmes hypothèses considérées à la sous-section «Coûts de substitution de l'électricité pendant les arrêts de production (CS_t)» de l'alternative avec projet de réfection, on définit un coût de substitution de 29,73\$ par MW-h.

En considérant 20% de la production d'électricité annuelle moyenne de la centrale qui se chiffre à 4 402 512 MW-h³⁶, on trouve un coût de substitution

³⁶ Cette quantité représente la production annuelle réelle nette tel que définie précédemment.

annuel de 26,2 millions de dollars constants de 2002³⁷ pour chacune des années en cause (2010, 2011 et 2012).

Coûts d'investissement dans un projet alternatif de capacité de production similaire à Gentilly-2 (IA_t)

Même si Hydro-Québec n'est pas contraint de développer des infrastructures pour substituer des pertes d'énergie sur de courtes périodes comme c'est le cas pour les arrêts temporaires de production, le problème se présente différemment à plus long terme. En effet, si le projet de réfection de Gentilly-2 n'est pas réalisé, il faudra trouver une source alternative de production d'électricité à long terme. Pour cette raison, cette analyse par la minimisation des coûts économiques considère les investissements nécessaires pour réaliser un projet de capacité de production similaire à celle de Gentilly-2.

Parmi les projets à l'étude ou en cours de réalisation à court et moyen terme chez Hydro-Québec, celui qui est le plus comparable à Gentilly-2 en terme de production d'énergie et de faisabilité est un projet hydroélectrique en cours de réalisation sur la rivière Ste-Marguerite. Le projet d'aménagement de la Ste-Marguerite-3 de 882 mégawatts sera complété dans des délais totaux de sept ans et nécessitera des coûts nets globaux de 2,4 milliards (dollars constant de 2002). L'énergie annuelle produite par cette centrale sera de 2,73 TW-h ce qui est légèrement inférieure à la production annuelle de Gentilly-2³⁸. Ce projet sera donc considéré comme une alternative possible au projet de réfection de Gentilly-2.

Il est important de mentionner que ce projet n'est pas réellement une alternative au projet de Gentilly-2. Par contre, il constitue un bon exemple du genre du projet qui pourrait éventuellement substituer Gentilly-2. Il est donc

³⁷ $20\% \times 4\,402\,512 \text{ MW-h} \times 29,73\$ = 26,2 \text{ millions}$

pertinent d'utiliser les investissements que nécessite ce projet pour le confronter au projet de réfection de la centrale nucléaire. De plus, on suppose que les investissements de 2,4 milliards de dollars nécessaires à la réalisation de ce projet sont nets de toutes les externalités générées par le projet.

Dans cette optique, on considère que si un tel projet doit être réalisé spécifiquement pour substituer l'électricité produite par Gentilly-2, les travaux si afférant devraient débuter en 2006 pour assurer la disponibilité de l'énergie au début de 2013 ce qui correspond à la fermeture complète de Gentilly-2. De plus, on suppose que les déboursés relatifs aux investissements dans le projet de Ste-Marguerite sont répartis également sur les sept ans de réalisation des travaux. On obtient donc la distribution de coûts économiques suivante :

Tableau 5
Répartition des coûts d'investissement dans un projet alternatif
(en millions de dollars de 2002)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
IA	342,86	342,86	342,86	342,86	342,86	342,86	342,86

Source : Site Internet d'Hydro-Québec : [«http://www.hydroquebec.com»](http://www.hydroquebec.com)

Note : La considération d'un tel projet d'investissement implique plusieurs hypothèses comme, par exemple, la disponibilité d'une telle possibilité d'investissement en 2006. De plus, les coûts d'investissement peuvent varier énormément d'un projet à l'autre selon la technologie utilisée, l'emplacement, etc. Les possibilités de projets alternatifs pourraient faire une grande différence au moment de la prise de décision. Il faut donc porter une attention particulière à

³⁸ Les informations à propos de ce projet proviennent du site Internet d'Hydro-Québec (<http://www.hydroquebec.com>) à la section «Projets de construction» en date du 30 novembre 2003.

cet élément de l'étude et mettre un bémol sur le montant des investissements utilisés.

Coûts de production économiques d'un projet alternatif (CPA_t)

Bien entendu, une fois les infrastructures alternatives opérationnelles, la production d'électricité génère des coûts d'opération économiques. On doit considérer ces coûts dans notre analyse.

Puisque l'on ne peut déterminer avec exactitude les coûts d'opération d'un projet alternatif non réalisé à ce jour, on prend en compte le coût de revient moyen de l'électricité vendue par Hydro-Québec tel que calculé précédemment (29,73\$ par MW-h)³⁹. Pour la quantité moyenne d'électricité produite par Gentilly-2 (4 402 512 MW-h), on obtient des coûts de production annuels de 130,89 millions de dollars constants de 2002. On considère ces coûts économiques à partir de la fermeture complète de Gentilly-2 jusqu'à la fin de la période d'analyse, c'est-à-dire 2035.

Impact économique régional de la fermeture de Gentilly-2

Un autre coût économique qu'il est possible de considérer dans une telle problématique se situe au niveau de l'impact économique régionale de la fermeture de la centrale. On peut déterminer sa valeur en évaluant la situation économique de la région sans la centrale par rapport à la situation actuelle. Il faut alors prendre en compte la création d'entreprises, la création d'emplois, l'augmentation des bénéfices de certaines entreprises etc. Avec cette évaluation, il est possible d'extrapoler ces bénéfices à la prolongation des activités de la centrale nucléaire.

³⁹ Voir la sous-section «Coûts de substitution de l'électricité pendant les arrêts de production (CS_t)» des coûts économiques avec le projet de réfection.

Toutefois, après avoir consulté des organismes de développement, en l'occurrence, le Centre local de développement de Bécancour (CLD Bécancour), la Société du parc industrielle et portuaire de Bécancour (SPIPB) et la Corporation de développement international Centre du Québec, on n'attribue pas de développement économique majeur en relation directe avec Gentilly-2. À première vue, on pourrait croire que la proximité d'une centrale électrique est la source du développement massif du parc industriel au cours des dernières décennies, mais ce n'est vraisemblablement pas le cas. Le source de ce développement est en réalité l'accessibilité. En effet, le parc industriel est accessible par l'autoroute 30, par voie ferroviaire et, surtout, par voie maritime. Ceci implique que les industries avoisinantes peuvent bénéficier du port de Bécancour pour recevoir leurs matières premières et acheminer leurs produits finis.

Néanmoins, Gentilly-2 fournit des contrats très lucratifs à plusieurs petites et moyennes entreprises de la région. Il est certain qu'une éventuelle fermeture de la centrale aurait un impact sur celles-ci. Toutefois, les intervenants de la région estiment que les pertes de revenus ainsi que les pertes d'emplois que cela pourrait générer seraient temporaires. En fait, on estime que les contrats attribués par la société d'état pourrait être remplacés dans des délais raisonnables. L'impact à long terme serait donc minime sur l'économie régionale.

Ces précisions nous amènent à ne pas considérer l'impact régional d'une éventuelle fermeture. On se contente donc de mentionner de façon qualitative un léger impact à long terme sur l'économie régionale.

La perte de l'expertise dans le domaine de l'énergie nucléaire au Québec

L'éventuelle perte de l'expertise dans le domaine nucléaire au Québec représente également un élément favorable à la réalisation du projet. En effet, l'énergie nucléaire sert à plusieurs escients. On l'utilise dans la production

d'électricité, mais aussi dans le domaine de la santé. La présence d'une centrale nucléaire au Québec stimule le développement des connaissances dans ce domaine. Sachant que Gentilly-2 est la seule centrale en activité dans la province, sa fermeture aurait des conséquences considérables sur l'évolution de la recherche et des travaux réalisés par diverses organisations. Mentionnons à cet effet la Chaire Hydro-Québec en génie nucléaire qui regroupe plusieurs chercheurs et professeurs de l'École Polytechnique de Montréal.

Même si cet aspect représente un coût certain à la non réalisation du projet, il est difficilement quantifiable. Les méthodes qui pourraient être utilisées sont facilement contestables et résulteraient en des valeurs monétaires imprécises. Dans la présente étude, on se contente donc de mentionner l'apport du projet de réfection à ce niveau de façon qualitative.

Ceci termine la présentation et le calcul de tous les coûts économiques générés si le projet de réfection de la centrale Gentilly-2 n'est pas réalisé. Un tableau présentant ces coûts dans le temps ainsi que leur valeur actuelle nette est exposé à l'annexe D. Ce tableau ainsi que les résultats de cette option sont commentés et analysés de façon simultanée avec les résultats de l'option avec projet de réfection dans la section suivante.

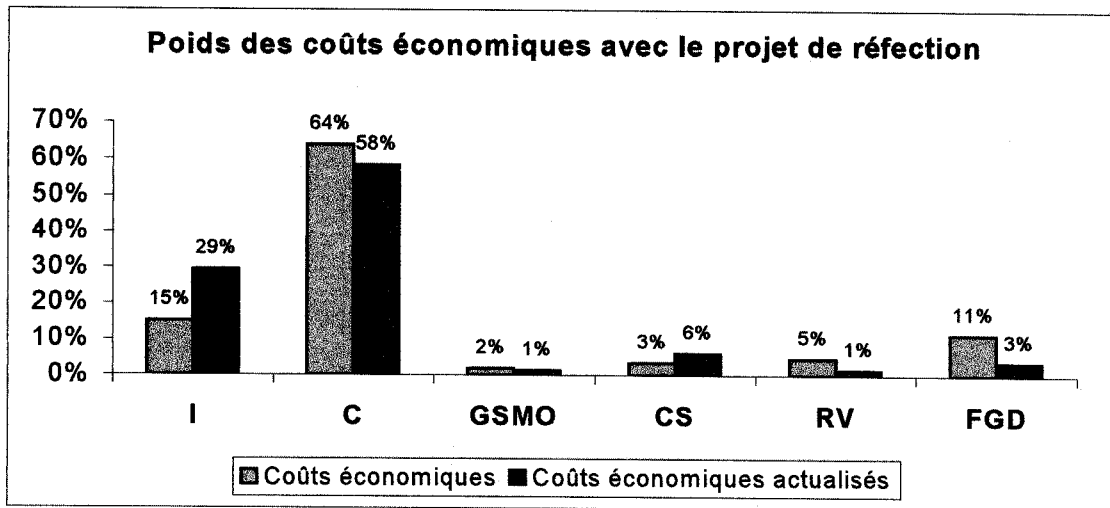
ANALYSE DES RÉSULTATS

En premier lieu, il est important de mentionner que les résultats qui seront développés dans la présente section dépendent en grande partie d'études techniques provenant de plusieurs sources différentes. On suppose donc que les données recueillies qui proviennent de ces études ou d'autres sources et qui sont utilisées à des fins de calcul sont exactes. Mentionnons également que les études ainsi que les sources choisies sont fiables et dignes de confiance ce qui devrait diminuer sans toutefois éliminer complètement les risques d'erreurs.

En considérant un taux d'actualisation de 7%, l'option du projet de réfection semble être la meilleur alternative de production de l'électricité en question. En effet, la VAN des coûts économiques avec projet de réfection est de 2 449 millions (dollars constant de 2002) comparativement à une VAN des coûts économiques de 3 825 millions (dollars constant de 2002) dans l'option alternative. Ceci représente un écart de coûts économiques d'environ 1 375 millions en faveur du projet de réfection. D'après ces résultats, il est donc socialement moins coûteux de réaliser le projet de réfection de la centrale Gentilly-2.⁴⁰

Les poids qu'occupent les différents coûts économiques dans l'option avec le projet de réfection de la centrale Gentilly-2 sont illustrés à la figure 3. Ce graphique présente les poids des coûts économiques non actualisés versus le poids de ces mêmes coûts actualisés.

Figure 3



Source : Calcul provenant du programme Excel utilisé pour la détermination de la VAN

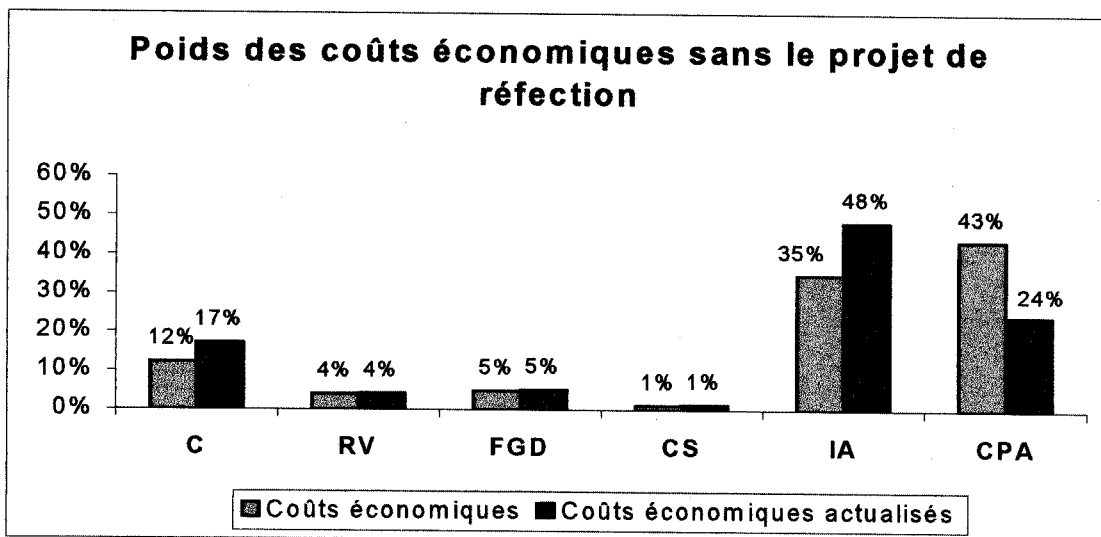
⁴⁰ Rappelons que les tableurs utilisés pour le calcul des coûts économiques et de leur VAN sont présentés aux annexes C et D. Ces tableurs proviennent du programme informatique Excel spécialement conçu pour les bienfaits de cette étude.

Ce graphique nous fait remarquer que la grande majorité des coûts économiques provient des coûts d'opération de la centrale. En seconde position, ce sont les coûts d'investissement qui occupent le poids le plus important. Le reste des coûts économiques ont un impact moindre et ce en termes actualisés ou non.

Un autre élément intéressant se situe au niveau de l'effet de l'actualisation. Effectivement, le poids relatif de certains coûts varie beaucoup suite à l'actualisation en 2006. Il sera donc intéressant de tester l'effet d'un changement de taux d'actualisation lors de l'analyse de sensibilité.

Voyons maintenant un graphique similaire pour les coûts économiques de l'alternative sans le projet de réfection de Gentilly-2 :

Figure 4



Source : Calcul provenant d'un programme Excel pour la détermination de la VAN

L'élément principal qui ressort de ce graphique est que les poids les plus importants se situent au niveau des coûts d'investissement pour la réalisation

d'un projet alternatif de capacité de production similaire à celle de Gentilly-2 et des coûts de production qui s'y rattachent (actualisés ou non). Le fait de devoir assurer la disponibilité de l'énergie à long terme avantage donc clairement le projet de réfection de la centrale. Il faut donc mettre un bémol sur le choix du projet alternatif à considérer entre autre à cause des nombreuses hypothèses mentionnées précédemment. Néanmoins, mentionnons qu'il faudrait prendre en compte un projet alternatif nécessitant des coûts d'investissement en deçà de 600 millions (une fois encore répartis sur 7 ans) pour que le projet de réfection de Gentilly-2 ne soit plus la meilleure alternative de production selon notre critère de décision.

D'après notre critère de décision, le projet de réfection de Gentilly-2 est donc clairement la meilleure alternative de production de la quantité d'énergie en question. Néanmoins, voyons maintenant dans quelle mesure une variation du taux d'actualisation peut influencer l'analyse.

ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Cette analyse de sensibilité consiste à faire varier le taux d'actualisation utilisé dans le calcul des VAN pour en vérifier l'impact. Un taux d'actualisation plus élevé a pour conséquence d'accorder un poids plus important aux coûts économiques qui sont rapprochés dans le temps au détriment de ceux plus éloignés. Dans le cadre de cette étude, la variation du taux d'actualisation a un impact significatif sur les deux VAN des coûts économiques. Par ailleurs, une augmentation de celui-ci défavorise le projet de réfection. En considérant le taux d'actualisation suggéré par Jenkins, c'est-à-dire 10%, on obtient un écart égale à 1 200 millions de dollars en faveur du projet. Ceci représente une diminution de l'écart par rapport au taux de 7% considéré par Hydro-Québec. Toutefois, l'option du projet de réfection de Gentilly-2 demeure toujours socialement moins coûteux

même avec un taux d'actualisation très élevé. L'effet de la variation du taux d'actualisation est présenté au tableau suivant :

Tableau 6
Valeurs actuelles nettes en fonction du taux d'actualisation

TAUX D'ACTUALISATION	VAN (AVEC PROJET) (EN MILLIONS DE \$)	VAN (SANS PROJET) (EN MILLIONS DE \$)
6,0%	2 692	4 121
7,0%	2 449	3 825
10,0%	1 938	3 139
12,0%	1 709	2 802
15,0%	1 461	2 413

Source : Calcul provenant d'un programme Excel pour la détermination de la VAN

CONCLUSION

D'après l'outil d'analyse utilisé, c'est-à-dire l'analyse par la minimisation de coûts économiques (analyse «cost-effectiveness»), le projet de réfection de la centrale nucléaire Gentilly-2 est la meilleure alternative de production de la quantité d'électricité en question du point de vue de la collectivité québécoise. On peut tirer cette conclusion même après une étude de sensibilité sur le taux d'actualisation.

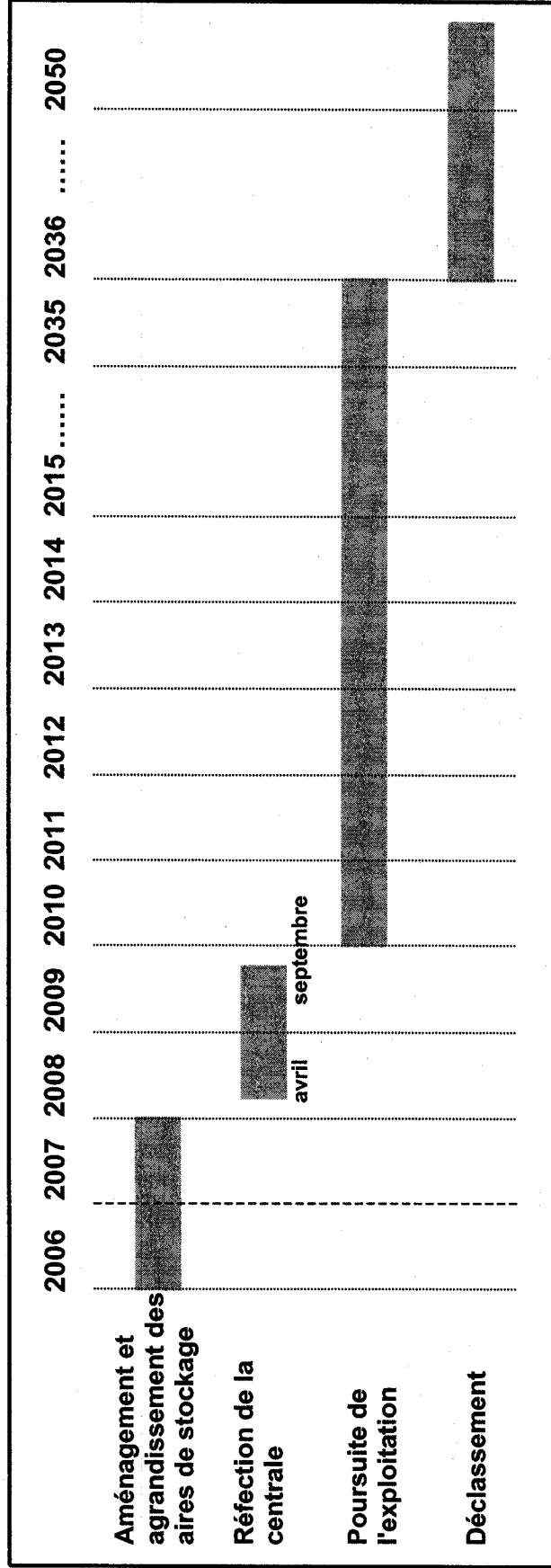
Par contre, à la lumière de nouvelles données qui pourraient affectées notre évaluation, la prise de décision pourrait être différente. Il est question ici d'études techniques en cours de réalisation tel qu'une évaluation précise des coûts d'investissement. De plus, si d'éventuelles études permettent d'établir de façon claire des dommages à l'environnement ou encore à la santé humaine, il faudra monétiser ces éléments et les prendre en compte dans l'analyse économique.

De plus, un bémol important doit être mis sur le choix d'un projet alternatif à Gentilly-2. En effet, le projet considéré peut avoir un impact important sur les conclusions de l'analyse. Les possibilités d'investissement au moment de la prise de décision devront donc être étudiées soigneusement.

Pour l'instant, il est donc adéquat de conserver l'option du projet de réfection de la centrale nucléaire de Gentilly-2 étant donné qu'elle est la moins coûteuse de point de vue économique sous la réserve de la qualité des études utilisées et des opinions des experts consultés.

ANNEXE A

Calendrier option 1 : Réfection de la centrale



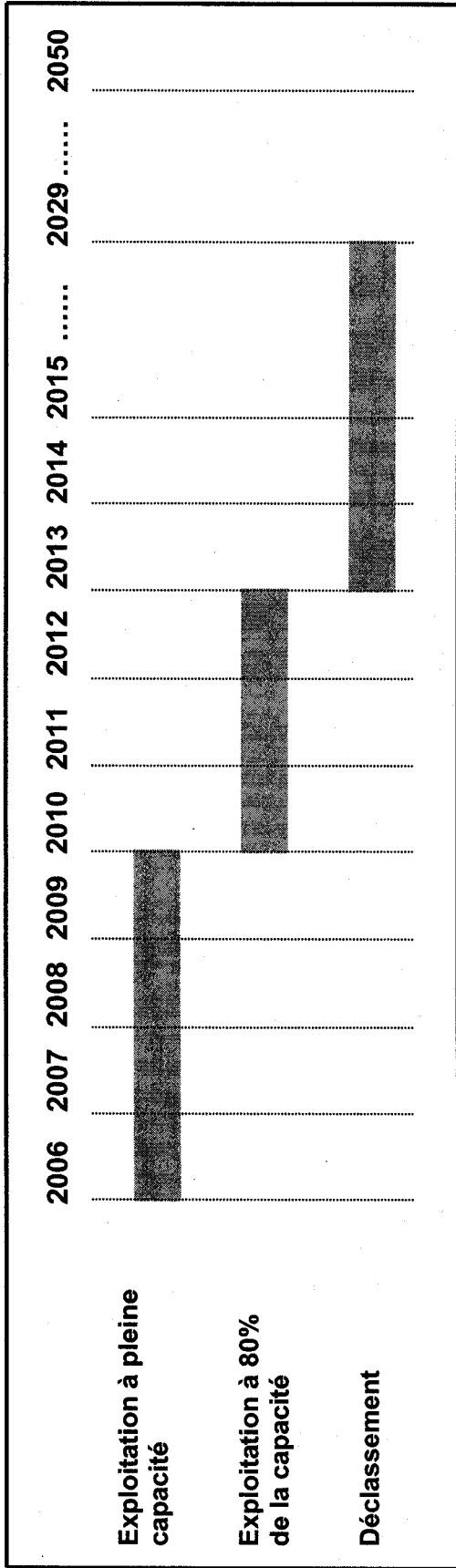
Source : «Modification des installations de stockage des déchets radioactifs et réfection de la centrale nucléaire de Gentilly-2», Description du projet, Hydro-Québec, 2003.

NOTES :

- L'exploitation de la centrale se poursuit pendant l'aménagement et l'agrandissement des aires de stockage (2006 et 2007)
- L'exploitation de la centrale est en arrêt complet pendant la période de réfection (avril 2008 à septembre 2009)
- L'exploitation reprend en début de l'année 2010 jusqu'à la fin de l'année 2035
- Les travaux de déclassement de la centrale commencent au début de 2036 et se poursuivent jusqu'à la fin de 2050

ANNEXE A (SUITE)

Calendrier option 2 : Arrêt de l'exploitation en 2013



Source : «Modification des installations de stockage des déchets radioactifs et réfection de la centrale nucléaire de Gentilly-2», Description du projet, Hydro-Québec, 2003.

ANNEXE B

Calcul du gain social dû à la préservation de la main-d'œuvre (GSMO)

Dans le calcul du gain social dû à la préservation de la main-d'œuvre, on utilise le modèle de Jenkins et Kuo (1978) dans des conditions d'équilibre partiel. On établit le coût social du travail à partir de la formule suivante :

$$CST = P \times W_t + (52 - P) \times L$$

où

$$L = \frac{W_1(1-t) - B[fU(1-t) + gA(1-t)]}{B}$$

À la section «Gain social dû à la préservation des emplois (GSMO_t)» du présent travail, les paramètres ont été déterminés comme suit :

P :	27,5 semaines	g :	10%
W :	1 100\$	U :	413\$
W ₁ :	1 199\$	A :	234\$
W _t :	1 254\$	B :	4/3
t :	27,6%	f :	70%

ANNEXE B (SUITE)

En substituant dans la formule, on obtient :

$$L = \frac{1199(1-0,276) - 4/3[0,7 \times 413(1-0,276) + 0,1 \times 234(1-0,276)]}{4/3}$$

$$= 424,81$$

et

$$\begin{aligned} CST &= 27,5 \times 1254 + (52 - 27,5) \times 424,81 \\ &= 40657,77 \end{aligned}$$

On a également déterminé le salaire nominal annuel des employés concernés à 57 200\$. Puisque le gain social provient de la différence entre le salaire nominal et le coût social de la main-d'œuvre, on obtient une diminution de coûts économiques de 16 542,23\$ (57 200\$ - 40 657,77\$ = 16 542,23\$) par employé.

Puisqu'on a déterminé qu'il y a 268 employés concernés, le gain annuel dû à la préservation de ces emplois est de 268 X 16 542,23 = 4 433 317,64\$.

ANNEXE C

COÛTS ÉCONOMIQUES (AVEC PROJET DE RÉFECTION)

Taux d'actualisation (i) : 7,0%

Périodes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Années	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
+ Coûts d'investissement (It)	147,88	147,88	295,77	295,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ Coûts d'opérations économiques (Ct)	130,90	130,90	32,73	32,73	130,90	130,90	130,90	130,90	130,90	130,90
- Gain social de la main-d'œuvre (GSMOt)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89	0,89	0,89	4,43	4,43	4,43
+ Coûts de substitution d'électricité (CSt)	0,00	0,00	98,17	98,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ Coûts de démantèlement (RV)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ Frais de gestion des déchets radioactifs (FGD)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Totaux	278,78	278,78	426,66	426,66	130,01	130,01	130,01	126,47	126,47	126,47
Actualisés	260,55	243,50	348,28	325,49	92,70	86,63	80,97	73,60	68,79	64,29

VAN en 2006 2449,36

Source : Ce tableau provient d'un programme spécialement conçu à partir du logiciel Excel pour la réalisation de cette étude et utilise les données non actualisées en dollars constants de 2002 présentées dans l'étude

ANNEXE C (SUITE)

COÛTS ÉCONOMIQUES (AVEC PROJET DE RÉFECTION)

Taux d'actualisation (i) : 7,0%

Périodes	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Années	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
+ Coûts d'investissement (It)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ Coûts d'opérations économiques (Ct)	130,90	130,90	130,90	130,90	130,90	130,90	130,90	130,90	130,90	130,90
- Gain social de la main-d'œuvre (GSMOt)	4,43	4,43	4,43	4,43	4,43	4,43	4,43	4,43	4,43	4,43
+ Coûts de substitution d'électricité (CSt)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ Coûts de démantèlement (RV)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ Frais de gestion des déchets radioactifs (FGD)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Totaux	126,47	126,47	126,47	126,47	126,47	126,47	126,47	126,47	126,47	126,47
Actualisés	60,08	56,15	52,48	49,05	45,84	42,84	40,04	37,42	34,97	32,68

VAN en 2006 2449,36

Source : Ce tableau provient d'un programme spécialement conçu à partir du logiciel Excel pour la réalisation de cette étude et utilise les données non actualisées en dollars constants de 2002 présentées dans l'étude

ANNEXE C (SUITE)

COÛTS ÉCONOMIQUES (AVEC PROJET DE RÉFECTION)

Taux d'actualisation (i) : 7,0%

Périodes	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Années	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
+ Coûts d'investissement (It)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ Coûts d'opérations économiques (Ct)	130,90	130,90	130,90	130,90	130,90	130,90	130,90	130,90	130,90	130,90
- Gain social de la main-d'œuvre (GSMOt)	4,43	4,43	4,43	4,43	4,43	4,43	4,43	4,43	4,43	4,43
+ Coûts de substitution d'électricité (CSt)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ Coûts de démantèlement (RV)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	273,24
+ Frais de gestion des déchets radioactifs (FGD)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	666,70
Totaux	126,47	126,47	126,47	126,47	126,47	126,47	126,47	126,47	126,47	1066,40
Actualisés	30,54	28,55	26,68	24,93	23,30	21,78	20,35	19,02	17,78	140,09

VAN en 2006 2449,36

Source : Ce tableau provient d'un programme spécialement conçu à partir du logiciel Excel pour la réalisation de cette étude et utilise les données non actualisées en dollars constants de 2002 présentées dans l'étude

ANNEXE D

COÛTS ÉCONOMIQUES (SANS PROJET DE RÉFLECTION)

Taux d'actualisation (i) : 7,0%

Périodes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Années	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
+ Coûts d'opérations économiques (Ct)	130,90	130,90	130,90	130,90	104,72	104,72	104,72	0,00	0,00	0,00
+ Coûts de démantèlement (RV)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	273,24	0,00	0,00
+ Frais de gestion des déchets radioactifs (FGD)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	333,35	0,00	0,00
+ Coûts de substitution d'électricité (CSt)	0,00	0,00	0,00	0,00	26,18	26,18	26,18	0,00	0,00	0,00
+ Investissement alternatif (IAt)	342,86	342,86	342,86	342,86	342,86	342,86	342,86	0,00	0,00	0,00
+ Coûts de production projet alternatif (CPAt)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	130,89	130,89	130,89
Totaux	473,76	473,76	473,76	473,76	473,75	473,75	473,75	737,47	130,89	130,89
Actualisés	442,76	413,80	386,73	361,43	337,78	315,68	295,03	429,22	71,19	66,54

VAN en 2006 3825,04

Source : Ce tableau provient d'un programme spécialement conçu à partir du logiciel Excel pour la réalisation de cette étude et utilise les données non actualisées en dollars constants de 2002 présentées dans l'étude

ANNEXE D (SUITE)

COÛTS ÉCONOMIQUES (SANS PROJET DE RÉFECTION)

Taux d'actualisation (i) : 7,0%

Périodes	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Années	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
+ Coûts d'opérations économiques (Ct)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ Coûts de démantèlement (RV)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ Frais de gestion des déchets radioactifs (FGD)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ Coûts de substitution d'électricité (CSt)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ Investissement alternatif (IAI)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ Coûts de production projet alternatif (CPAt)	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89
Totaux	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89
Actualisés	62,18	58,12	54,31	50,76	47,44	44,34	41,44	38,72	36,19	33,82

VAN en 2006

3825,04

Source : Ce tableau provient d'un programme spécialement conçu à partir du logiciel Excel pour la réalisation de cette étude et utilise les données non actualisées en dollars constants de 2002 présentées dans l'étude

ANNEXE D (SUITE)

COÛTS ÉCONOMIQUES (SANS PROJET DE RÉFECTION)

Taux d'actualisation (i) : 7,0%

Périodes	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Années	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
+ Coûts d'opérations économiques (Ct)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ Coûts de démantèlement (RV)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ Frais de gestion des déchets radioactifs (FGD)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ Coûts de substitution d'électricité (CSt)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ Investissement alternatif (IAt)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ Coûts de production projet alternatif (CPAt)	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89
Totaux	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89	130,89
Actualisés	31,61	29,54	27,61	25,80	24,12	22,54	21,06	19,69	18,40	17,19

VAN en 2006 3825,04

Source : Ce tableau provient d'un programme spécialement conçu à partir du logiciel Excel pour la réalisation de cette étude et utilise les données non actualisées en dollars constants de 2002 présentées dans l'étude

BIBLIOGRAPHIE

BREALEY, Richard, MYERS, Stewart, *Principes de gestion financières*, sixième édition, 1998.

CETECH, *Les ingénieurs du Québec : évolution du marché du travail*, 2002.

CETECH, *Revue du nouveau marché du travail*, 2002.

EMPLOI-QUÉBEC, *L'emploi en Mauricie : Bilan 2002*.

EMPLOI-QUÉBEC, *Le marché du travail dans la région de la Mauricie, Perspectives professionnelles 2001-2005*, Information sur le marché du travail IMT.

EMPLOI-QUÉBEC MAURICIE, *Bulletin régional sur le marché de l'emploi*, premier trimestre 2003, volume 6, numéro 1.

HYDRO-QUÉBEC, *Profil financier 2002-2003*.

HYDRO-QUÉBEC, *Rapport des activités à la centrale nucléaire de Gentilly-2 en 2002*.

HYDRO-QUÉBEC, *Rapport annuel 2002*.

HYDRO-QUÉBEC PRODUCTION, *Modifications des installations de stockage des déchets radioactifs et réfection de la centrale Gentilly-2*, Description du projet, Mars 2003.

JENKINS, G.P. et KUO, C., *On measuring the social opportunity cost of permanent ant temporary employment*, 1978.

MARTIN, Fernand, *Évaluation des projets publics*, Guide pour la lecture des ouvrages principaux, Cours ECN 6873, Département de sciences économiques, Université de Montréal, 2002-2003.

MARTIN, Fernand, *Notes de cours ECN 6883*, Atelier en évaluation de projets, Département de sciences économiques, Université de Montréal, 2002-2003.

ROYER, Pierre et DREW, James, *Impôts et planification*, 2002.

Ressources Internet

Centre d'étude sur l'emploi et la technologie (CETECH)
<http://www.cetech.gouv.qc.ca/site/francais/accueil.asp>

Commission canadienne en sûreté nucléaire (CCSN)
<http://www.nuclearsafety.gc.ca/>

Conseil national du bien-être social
<http://www.ncwcnbes.net/>

Emploi-Québec
<http://emploi.quebec.net/>

Énergie NB (NB power)
<http://www.nbpower.com/>

Énergie atomique du Canada limitée (EACL)
<http://www.aecl.ca/>

Mouvement action-chômage
<http://sites.rapidus.net/actionchomage/>
Société du parc industriel et portuaire de Bécancour (SPIPB)
<http://www.spipb.com/accueil.php>