

Évaluation des risques écotoxicologiques et toxicologiques associés à l'exploitation des centrales de Gentilly-2 et de Bécancour



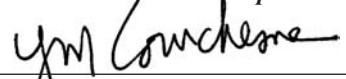
En collaboration avec :



Évaluation des risques écotoxicologiques et toxicologiques associés à l'exploitation des centrales de Gentilly-2 et de Bécancour



Évaluation des risques



Yvon Courchesne, directeur de projet, B. Sc.
QSAR Service d'analyse de risque



Sylvain Loranger, toxicologue, Ph. D.
QSAR Service d'analyse de risque

Estimation des rejets radioactifs



François Lemay, ingénieur, Ph. D.
ISR International Safety Research

Analyse des rejets des substances chimiques



Claude Barbeau, chimiste, Ph. D.



En collaboration avec :



Juin 2002

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Dans le cadre de la révision du programme de surveillance environnementale de la centrale nucléaire de Gentilly-2 et en conformité avec les nouvelles exigences de la Commission canadienne de sûreté nucléaire, une évaluation des risques écotoxicologiques (pour le biote) et toxicologiques (pour l'humain) associés à une exposition aux radionucléides et aux substances chimiques émis et rejetés par les installations du site de Gentilly a été réalisée.

La démarche utilisée dans le cadre de cette étude comporte cinq étapes, soit : l'identification du danger ou la description de la problématique ; l'estimation de l'exposition des récepteurs d'intérêt ; l'évaluation des données écotoxicologiques et toxicologiques ; et finalement la caractérisation et la gestion des risques. Il s'agit dans l'ensemble d'une analyse préliminaire, de 1^{er} niveau, basée sur des hypothèses et scénarios d'exposition conservateurs. Soulignons toutefois que pour certains aspects de l'étude, des données spécifiques au site ont été utilisées.

La première étape de l'évaluation a consisté à dresser la liste des principales sources d'émissions et de rejets de la centrale nucléaire de Gentilly-2 (ex. : cheminée, canal de rejet et aires de stockage des déchets radioactifs) et de la centrale de Bécancour (ex. : cheminée) et de décrire les différentes composantes valorisées de l'écosystème (CVÉ) spécifiques au site de Gentilly et de ses environs. L'identification de ces CVÉ a entre autres permis de sélectionner les récepteurs écologiques et humains d'intérêt et de les intégrer aux modèles conceptuels élaborés dans le cadre de la présente évaluation. En utilisant une estimation conservatrice des taux d'émissions et de rejets de radionucléides et de substances chimiques associés aux installations du site de Gentilly, une modélisation du devenir environnemental et de l'exposition des récepteurs d'intérêt a été réalisée à l'aide du logiciel IMPACT.

D'une manière générale, les résultats indiquent que les récepteurs écologiques terrestres et les groupes cibles humains d'intérêt ne présenteraient aucun potentiel de risque en regard des émissions ou des rejets de radionucléides et de substances chimiques provenant du site de Gentilly. En revanche, certains organismes aquatiques, notamment les invertébrés benthiques, montreraient un potentiel de risque relié à une exposition aux radionucléides, plus particulièrement aux émetteurs bêta, rejetés au fleuve par le biais du canal de rejet.

Précisons que le conservatisme des hypothèses retenues dans le cadre d'une analyse de 1^{er} niveau ne permet pas de confirmer de façon absolue un potentiel de risque significatif pour ces organismes mais indique les éléments à considérer pour augmenter la précision des estimations et s'assurer du niveau d'exposition réel et du risque qui en découle. Dans cette optique, différentes mesures de surveillance ont été proposées afin de raffiner les estimations de l'exposition des récepteurs aquatiques. Il s'agit notamment de mesures complémentaires pour certains radionucléides (le tritium et le carbone-14) au niveau des invertébrés benthiques et des poissons, ainsi que dans le milieu abiotique environnant, soit l'eau et les sédiments.

Quant aux rejets thermiques de la centrale nucléaire de Gentilly-2, le panache généré lors des opérations modifie le gradient thermique du secteur sur une distance atteignant environ 600 m en aval. Toutefois, ce facteur n'affecterait pas de façon significative la structure et le fonctionnement de la communauté ichthyenne locale.

En ce qui a trait au programme de surveillance environnemental, des mesures complémentaires devraient être réalisées dans certains médias environnementaux (eau et sédiments du canal de rejet et du fleuve Saint-Laurent) et composantes biotiques associées à la production primaire (phytoplancton et macrophytes) et secondaire (invertébrés benthiques) qui constituent des médias d'exposition pour les espèces appartenant au maillon supérieur de la chaîne alimentaire (carpe et grand brochet). De plus, il est recommandé de réaliser une surveillance des différents paramètres physico-chimiques à la source afin de pouvoir démontrer que les pratiques d'exploitation des installations du complexe nucléaire de Gentilly respectent les normes en vigueur et protègent la qualité de l'environnement. Toutes ces données pourront être éventuellement utilisées pour une évaluation complémentaire de risques.

TABLE DES MATIÈRES

	PAGE
SOMMAIRE EXÉCUTIF	i
TABLE DES MATIÈRES.....	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES FIGURES.....	xii
LISTE DES SIGLES, ABRÉVIATIONS ET UNITÉS	xiii
GLOSSAIRE	xviii
1 INTRODUCTION.....	1-1
2 DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE	2-1
2.1 Approche générale	2-1
2.2 Principales étapes de l'analyse de risques	2-1
3 DESCRIPTION DES INSTALLATIONS.....	3-1
3.1 Centrale de Gentilly-2	3-1
3.2 Aire de stockage des déchets radioactifs.....	3-2
3.3 Aire de stockage à sec du combustible irradié	3-2
3.4 Centrale de Bécancour	3-3
4 DESCRIPTION DES COMPOSANTES DE L'ÉCOSYSTÈME	4-1
4.1 Zones d'étude	4-1
4.2 Description des composantes de l'écosystème	4-2
4.2.1 Milieu hydrique.....	4-2
4.2.1.1 Hydrographie	4-2
4.2.1.2 Hydrologie générale	4-3
4.2.1.3 Qualité des eaux de surface de la zone d'étude élargie	4-3

4.2.1.4	Qualité des eaux de surface de la zone d'étude rapprochée ..	4-4
4.2.1.5	Qualité des eaux souterraines	4-4
4.2.1.6	Caractérisation des sédiments	4-5
4.2.2	Milieu terrestre	4-5
4.2.2.1	Topographie, géologie générale et dépôts meubles	4-5
4.2.2.2	Stratigraphie des sols	4-6
4.2.3	Milieu atmosphérique	4-6
4.2.3.1	Températures, précipitations, direction et vitesse des vents ..	4-6
4.2.3.2	Qualité de l'air	4-7
4.2.4	Milieu biologique	4-7
4.2.4.1	Flore aquatique	4-7
4.2.4.2	Faune aquatique	4-8
4.2.4.3	Flore terrestre	4-12
4.2.4.4	Faune terrestre	4-13
4.2.5	Milieu humain	4-15
4.2.5.1	Population environnante	4-15
4.2.5.2	Occupation du territoire	4-16
4.3	Identification des composantes valorisées de l'écosystème	4-17
5	IDENTIFICATION DES SUBSTANCES D'INTÉRÊT ET SÉLECTION DES RÉCEPTEURS CIBLES	5-1
5.1	Description des modèles conceptuels	5-1
5.2	Sources de contamination et médias environnementaux affectés	5-1
5.3	Sélection des substances d'intérêt	5-2
5.3.1	Radionucléides d'intérêt	5-3
5.3.2	Substances chimiques d'intérêt	5-4

5.4	Sélection des récepteurs écologiques et humains cibles	5-5
5.4.1	Récepteurs cibles	5-6
5.4.1.1	Milieu naturel	5-6
5.4.1.2	Milieu humain	5-8
5.5	Identification des paramètres d'évaluation	5-8
6	ESTIMATION DE L'EXPOSITION	6-1
6.1	Généralités	6-1
6.2	Description générale du modèle de devenir environnemental et d'exposition IMPACT	6-2
6.3	Choix des scénarios d'exposition	6-2
6.4	Paramétrage du logiciel IMPACT	6-3
6.4.1	Caractéristiques physico-chimiques et radiologiques des substances d'intérêt sélectionnées	6-3
6.4.2	Caractéristiques des sources d'émissions et de rejets	6-3
6.4.3	Caractéristiques des médias environnementaux et d'exposition	6-4
6.4.3.1	Paramètres généraux	6-4
6.4.3.2	Facteurs de transfert	6-5
6.4.3.3	Coefficient de partage sol-eau	6-5
6.4.3.4	Coefficients de transfert sol-plante et air-plante	6-5
6.4.3.5	Facteurs de bioconcentration	6-5
6.4.3.6	Facteurs de conversion de dose	6-6
6.4.3.7	Facteurs spécifiques relatifs à la présence de tritium	6-6
6.5	Méthode de calcul de la dose	6-6
6.5.1	Calcul de la dose associée aux rayonnements ionisants	6-6
6.5.2	Calcul de la dose d'exposition aux substances chimiques	6-8

6.6	Résultats	6-8
6.6.1	Radionucléides	6-8
6.6.2	Substances chimiques.....	6-9
7	ÉVALUATION DES EFFETS SUR LES RÉCEPTEURS ÉCOLOGIQUES ET HUMAINS.....	7-1
7.1	Radionucléides	7-1
7.1.1	Récepteurs écologiques.....	7-1
7.1.1.1	Plantes aquatiques et terrestres	7-1
7.1.1.2	Invertébrés aquatiques et terrestres	7-2
7.1.1.3	Poissons	7-2
7.1.1.4	Amphibiens et reptiles	7-2
7.1.1.5	Oiseaux.....	7-3
7.1.1.6	Mammifères.....	7-3
7.1.1.7	Valeurs de référence écotoxicologiques.....	7-4
7.1.2	Récepteurs humains.....	7-4
7.2	Substances chimiques.....	7-4
7.2.1	Récepteurs écologiques.....	7-5
7.2.1.1	Invertébrés aquatiques.....	7-5
7.2.1.2	Invertébrés terrestres	7-5
7.2.1.3	Plantes aquatiques.....	7-6
7.2.1.4	Plantes terrestres	7-6
7.2.1.5	Amphibiens et reptiles	7-6
7.2.1.6	Poissons	7-6
7.2.1.7	Oiseaux.....	7-7
7.2.1.8	Mammifères.....	7-7
7.2.1.9	Valeurs de référence écotoxicologiques.....	7-8

7.2.2	Récepteurs humains.....	7-8
7.2.2.1	Effets chroniques non cancérigènes.....	7-8
7.2.2.2	Effets cancérigènes.....	7-9
8	CARACTÉRISATION DU RISQUE.....	8-1
8.1	Estimation du risque écotoxicologique.....	8-1
8.1.1	Radionucléides.....	8-1
8.1.2	Substances chimiques.....	8-1
8.1.3	Données écotoxicologiques complémentaires.....	8-2
8.2	Estimation du risque toxicologique.....	8-2
8.2.1	Radionucléides.....	8-2
8.2.2	Substances chimiques.....	8-2
8.3	Évaluation des éléments d'incertitude.....	8-3
8.3.1	Incertitude attribuable aux sources d'émissions et de rejets.....	8-3
8.3.2	Incertitude attribuable aux paramètres d'entrée du logiciel.....	8-4
8.3.2.1	Tritium.....	8-5
8.3.2.2	Carbone-14.....	8-5
8.3.2.3	Autres radionucléides.....	8-7
8.3.3	Incertitude au niveau du risque pour la santé humaine.....	8-7
8.3.4	Incertitude attribuable au logiciel IMPACT.....	8-7
8.3.4.1	Module : dispersion atmosphérique.....	8-7
8.3.4.2	Module : dispersion et transport dans l'eau.....	8-8
8.3.4.3	Caractéristiques et comportement des substances d'intérêt ..	8-8
8.3.4.4	Module : transport et devenir dans le sol.....	8-9
8.3.4.5	Module : transport et devenir dans les plantes.....	8-9
8.3.4.6	Module : transport et devenir dans les animaux.....	8-10
8.3.5	Incertitude attribuable aux valeurs de référence.....	8-10

8.4	Évaluation globale selon le poids des évidences.....	8-11
9	SYNTHÈSE DE L'ÉVALUATION DES RISQUES.....	9-1
9.1	Bilan de l'évaluation des risques écotoxicologiques et toxicologiques.....	9-1
9.2	Impacts du rejet thermique.....	9-1
9.3	Surveillance environnementale.....	9-2
9.3.1	Programme de surveillance de l'environnement d'Hydro-Québec.....	9-2
9.3.2	Évolution de la gestion environnementale.....	9-2
9.3.3	Améliorations proposées.....	9-3
9.3.3.1	Substances chimiques.....	9-3
9.3.3.2	Radionucléides.....	9-4
	RÉFÉRENCES.....	1

LISTE DES ANNEXES

Annexe A :	Charges en métaux des tributaires du fleuve Saint-Laurent présents dans la zone élargie
Annexe B :	Synthèse des résultats des suivis de la qualité de l'air à Bécancour
Annexe C :	Inventaire du milieu biologique
Annexe D :	Liste des organismes consultés dans le cadre de la validation des composantes valorisées de l'écosystème
Annexe E :	Approche générale utilisée pour identifier les radionucléides produits au site de Gentilly
Annexe F :	Approche générale utilisée pour identifier les substances chimiques utilisées ou produites au site de Gentilly
Annexe G :	Exemples de calcul des doses d'exposition pour les récepteurs écologiques
Annexe H :	Évaluation des effets des radionucléides sur les plantes et les animaux et valeurs estimées sans effet observé (VESEO)
Annexe I :	Concentrations de radionucléides modélisées avec le logiciel IMPACT et mesurées ou possibles dans les médias environnementaux ou d'exposition et les récepteurs écologiques

- Annexe J : Calcul de la dose radiologique totale du grand brochet à partir de concentrations mesurées dans l'organisme ou modélisées par le logiciel IMPACT
- Annexe K : Limitations générales du logiciel IMPACT
- Annexe L : Impacts potentiels du rejet thermique sur les poissons
- Volume 2 : Paramètres d'entrée du logiciel IMPACT

Dossier cartographique :

- Carte 1 : Milieux humain et naturel (en pochette)
- Carte 2 : Localisation des composantes valorisées de l'écosystème (en pochette)
- Carte 3 : Localisation des stations de mesure du suivi environnemental - Zone d'étude élargie (en pochette)
- Carte 4 : Localisation des stations de mesure du suivi environnemental - Zone d'étude rapprochée (en pochette)

LISTE DES TABLEAUX

	PAGE
Tableau 4-1 : Répartition de la population de la zone d'étude élargie par groupes d'âge	4-20
Tableau 4-2 : Répartition de la population de la zone d'étude selon l'orientation géographique et la distance par rapport à la centrale de Gentilly-2...4-21	4-21
Tableau 4-3 : Identification des composantes valorisées de l'écosystème au site de Gentilly – zone rapprochée.....	4-22
Tableau 4-4 : Identification des composantes valorisées de l'écosystème au site de Gentilly – zone élargie	4-24
Tableau 5-1 : Isotopes ou familles d'isotopes d'intérêt retenus pour la détermination des taux d'émission	5-10
Tableau 5-2 : Substances chimiques d'intérêt identifiées pour l'évaluation des risques écotoxicologiques et toxicologiques	5-11
Tableau 5-3 : Relation entre les récepteurs écologiques et humains définis à partir des composantes valorisées de l'écosystème et les paramètres d'évaluation	5-12
Tableau 6-1 : Choix des voies et médias d'exposition pour les récepteurs écologiques retenus dans le cadre de la modélisation avec le logiciel IMPACT	6-10
Tableau 6-2 : Choix des voies et médias d'exposition pour les récepteurs humains retenus dans le cadre de la modélisation avec le logiciel IMPACT	6-12
Tableau 6-3 : Taux d'émission mesurés ou estimés pour chacun des radionucléides rejetés ou susceptibles d'être rejetés dans l'environnement au site de Gentilly	6-13
Tableau 6-4 : Taux d'émission mesurés ou estimés pour chacune des substances chimiques rejetées dans l'environnement au site de Gentilly	6-15
Tableau 6-5 : Paramètres d'exposition pour les récepteurs écologiques retenus dans le cadre de la modélisation avec le logiciel IMPACT	6-16
Tableau 6-6 : Paramètres d'exposition pour les récepteurs humains retenus dans le cadre de la modélisation avec le logiciel IMPACT	6-17

Tableau 6-7 :	Doses de radionucléides efficaces estimées pour les récepteurs écologiques et humains d'intérêt.....	6-18
Tableau 6-8 :	Doses d'exposition des récepteurs écologiques et humains d'intérêt au benzo(a)pyrène	6-19
Tableau 7-1 :	Évaluation des effets des radionucléides sur les plantes et les animaux et valeurs estimées sans effet observé	7-10
Tableau 7-2 :	Valeurs de référence intérimaires associées au benzo(a)pyrène pour les récepteurs écologiques d'intérêt	7-11
Tableau 8-1	Indices de risque calculés pour les récepteurs écologiques d'intérêt exposés aux radionucléides	8-13
Tableau 8-2 :	Indices de risque calculés pour les récepteurs écologiques d'intérêt exposés au benzo(a)pyrène	8-14
Tableau 8-3 :	Résultats des tests de toxicité (bioessais) effectués sur les effluents liquides récoltés à la centrale de Gentilly-2 le 20 juillet 1994.....	8-15
Tableau 8-4 :	Indices de risque calculés pour les groupes cibles considérés exposés aux radionucléides	8-16
Tableau 8-5 :	Indices de risque calculés pour les groupes cibles considérés exposés au benzo(a)pyrène (effets cancérigènes).....	8-17
Tableau 8-6 :	Comparaison des indices de risque calculés à partir des concentrations de radionucléides modélisées et mesurées dans le grand brochet.....	8-18
Tableau 8-7 :	Comparaison des indices de risque calculés à partir des concentrations de radionucléides modélisées dans les invertébrés benthiques	8-19
Tableau 9-1 :	Bilan de l'évaluation des risques écotoxicologiques et toxicologiques au site de Gentilly	9-5
Tableau 9-2 :	Sélection des radionucléides pour le programme de surveillance environnementale	9-6

LISTE DES FIGURES

	PAGE
Figure 2-1 : Démarche générale d'analyse des risques écotoxicologiques et toxicologiques	2-4
Figure 3-1 : Schéma simplifié des principales sources de rejets	3-4
Figure 4-1 : Processus d'analyse des composantes de l'écosystème et de sélection des composantes valorisées de l'écosystème	4-28
Figure 4-2 : Localisation des zones d'étude	4-29
Figure 5-1 : Modèle conceptuel – Évaluation des risques écotoxicologiques	5-13
Figure 5-2 : Modèle conceptuel - Évaluation des risques toxicologiques	5-14
Figure 5-3 : Logigramme de la sélection des radionucléides d'intérêt	5-15
Figure 5-4 : Logigramme de la sélection des substances chimiques d'intérêt	5-16
Figure 6-1 : Localisation des polygones utilisés pour la modélisation avec le logiciel IMPACT	6-20

LISTE DES SIGLES, ABRÉVIATIONS ET UNITÉS

AASDR	Agrandissement éventuel de l'aire de stockage des déchets radioactifs
ACEE	Agence canadienne d'évaluation environnementale
ACFPC	Association canadienne des fabricants de produits chimiques
ACNOR	Association canadienne de normalisation
ADN	Acide désoxyribonucléique
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique (IAEA)
ALARA	As Low as Reasonably Achievable (principe d'optimisation en radioprotection)
AQGO	Association québécoise des groupes d'ornithologues
ASDR	Aire de stockage des déchets radioactifs
ASSCI	Aire de stockage à sec du combustible irradié
ASTM	American Society for Testing and Materials
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
AUT	Autres substances chimiques (solvants réactifs particuliers)
B _v	Valeur empirique du ratio de la concentration plante-sol utilisé dans l'équation servant à calculer l'assimilation de contaminants présents dans le sol par les racines et qui a été établi à partir d'observations réalisées dans diverses conditions de sol
B(a)P	Benzo(a)pyrène
BQMA	Banque de données sur la qualité du milieu aquatique
BPC	Biphényles polychlorés
Bq	Becquerel
Cal EPA	California Environmental Protection Agency
CAS	Chemical Abstracts Service
CANDU-PHW	Canada Deuterium Uranium – Pressurized Heavy Water

CANSTOR	CANDU storage, module de stockage à sec du combustible irradié
CCEA	Commission de contrôle de l'énergie atomique
CCME	Conseil canadien des Ministres de l'Environnement
CCSN	Commission canadienne de sûreté nucléaire
CDPNQ	Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec
CEAEQ	Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec
CIPR	Commission internationale de protection radiologique
CL ₅₀	Concentration létale médiane
CNR	Conseil national de recherche
CNS	Canadian Nuclear Society
CO	Monoxyde de carbone
COM	Substances combustibles (carburants, huiles, graisses)
COMB	Produits de combustion de carburants fossiles (gaz et aérosols)
COR	Substances corrosives (acides et bases)
COSEPAC	Comité sur la situation des espèces en péril au Canada
COSYMA	Logiciel dérivé du projet de recherche "COde SYstem from MAria" de la communauté européenne
CPTAQ	Commission de protection du territoire agricole du Québec
CSA	Canadian Standards Association
CSEO	Concentration sans effet observé
CT	Coefficient de transfert
CVÉ	Composante valorisée de l'écosystème
DA	Dose absorbée
DBE	Dose biologique effective (RBE)
DE	Dose efficace
DEJ	Dose d'exposition journalière

DL ₅₀	Dose létale médiane
DMA	Dose maximale admissible
DMENO (LOAEL)	Dose minimale avec effet néfaste observé
DMSEO (NOAEL)	Dose maximale sans effet observé
DRL	Derived Release Limit
EACL	Énergie atomique du Canada limitée
EPOQ	Étude des populations d'oiseaux du Québec
FAPAQ	Société de la Faune et des Parcs du Québec
FBC	Facteur de bioconcentration
FC	Facteur de concentration
FCD	Facteur de conversion de dose
FE	Facteur d'exposition
FT	Facteur de transfert
FV	Facteur de volatilisation
Gy	Gray
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
HSDB	Hazardous Substances Data Bank
HTO	Eau tritiée (oxyde de tritium)
ICRP	International Commission on Radiological Protection (voir CIPR)
IMPACT	Integrated Model for the Probabilistic Assessment of Contaminant Transport
INRP	Inventaire national des rejets de polluants
IR	Indice de risque
IRIS	Integrated Risk Information System
ISO	International Organization for Standardization
K _{ap}	Coefficient de transfert air - plante

K _D	Coefficient de partage ou de distribution
K _{sp}	Coefficient de transfert sol - plante
LCPE	Loi canadienne sur la protection de l'environnement
LMQ	Laboratoire de matériaux de Québec (1987) inc.
LOD	Limite opérationnelle dérivée
LRQ	Lois et règlements du Québec
LSIP	Liste des substances d'intérêt prioritaire
LSIP2	Liste des substances d'intérêt prioritaire n° 2
MEF	Ministère de l'Environnement et de la Faune (voir, MENV)
MEG	Moniteur d'effluents gazeux
MEL	Moniteur d'effluents liquides
MENV	Ministère de l'Environnement du Québec
MER	Ministère de l'Énergie et des Ressources
MET	Métaux à l'état élémentaire ou sous forme d'oxydes
MRC	Municipalité régionale de comté
MRN	Ministère des Ressources naturelles
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux
MW	Mégawatt
NAQUADAT	National Water Quality Data Base
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurements
NOEL	Non Observed Effect Level
OBT	Organically Bound Tritium (voir TLO)
OFM	Oxydase à fonction mixte (système enzymatique)
OME	Ontario Ministry of the Environment
OMS	Organisation mondiale de la santé (voir WHO)
OPG	Ontario Power Generation Inc.

PCCN	Plan conjoint sur le canard noir
PC	Poids corporel
PCDD/F	Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans (dioxines et furannes)
PNAGS	Plan nord-américain de gestion de la sauvagine
PPA	Phenylpropanolamine
QR	Quotient de risque
RTECS	Registry of Toxic Effects of Chemical Substances
SEM	Seuil d'effets mineurs
SGE	Système de gestion environnementale
SHNVSL	Société d'histoire naturelle de la vallée du Saint-Laurent
SI	Système international
Sv	Sievert
TLO	Tritium lié organiquement (voir OBT)
UNSCEAR	Comité scientifique des Nations-Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants
US DOE	United States Department of Energy
US EPA	Agence américaine de protection de l'environnement
VCT	Valeur critique de la toxicité
VESEO	Valeur estimée sans effet observé
WHO	World Health Organisation (voir OMS)

GLOSSAIRE

Acide désoxyribonucléique (ADN)	Matériel génétique qui est présent dans toutes les cellules vivantes et qui contient les instructions codées régissant tous les processus vitaux.
Adénome	Tumeur qui se développe aux dépens d'une glande.
Algorithme	Ensemble des règles opératoires qui permettent la résolution d'un problème par l'application d'un nombre fini d'opérations de calcul à exécuter en séquence.
Anophtalmie	Absence congénitale d'un ou des deux globes oculaires.
ASDR	Tranchées de béton armé contenant des déchets solides de faible et moyenne activité produits par l'exploitation de la centrale nucléaire de Gentilly-2 (ex. : filtres, résines et autres)
Battement de la nappe phréatique	Ensemble des mouvements alternants de baisse et de montée du niveau d'eau au cours d'une période définie pouvant se diviser en différents cycles de fluctuation.
Becquerel	Le becquerel (<i>Bq</i>) est l'unité du système international (SI) pour mesurer l'activité ou la désintégration radioactive, d'un radionucléide. Un becquerel est défini comme étant une désintégration atomique par seconde. Cette unité a remplacé le curie.
Benthos	Synonyme d'invertébré benthique.
Bioconcentration	Processus par lequel certaines substances endogènes ou exogènes présentes en faible quantité voient leur concentration augmenter dans un organe, un organisme vivant, une chaîne alimentaire ou un écosystème.
Biote	Ensemble des organismes vivants d'une région donnée (faune et flore).
Caloporteur	Fluide (eau lourde) circulant dans un réacteur nucléaire afin d'en évacuer la chaleur.
Canal d'amenée	Canal servant à assurer un apport d'eau du fleuve au système de refroidissement du réacteur.
Canal de rejet	Canal servant à acheminer le rejet d'eau chaude provenant du système de refroidissement vers le fleuve.

Cancérogène	Agents chimiques, physiques ou biologiques qui peuvent provoquer un cancer chez une personne ou des animaux de laboratoire (effet stochastique)
Cancérogénicité	Phénomène par lequel une substance peut causer une tumeur maligne.
CANDU	Acronyme désignant la technologie canadienne de réacteurs nucléaires (CANada Deutérium Uranium) utilisant l'uranium naturel comme combustible et l'eau lourde comme modérateur et caloporteur.
Carbone-14 (¹⁴ C)	Élément radioactif artificiel, de période 5 720 ans, émettant des rayons bêta.
Carcinome	Tumeur cancéreuse épithéliale ou glandulaire.
Cellule souche	Cellule non individualisée morphologiquement, à la base d'une lignée ou d'un tissu.
Coefficient de cancérogénicité	Dans le cas de substances à effets cancérogènes, il s'agit d'une valeur basée sur la pente de la relation dose-réponse mesurée généralement chez les animaux de laboratoire et extrapolée à l'humain.
Coefficient de partage (K _d)	Une mesure de la tendance d'un radionucléide particulier à s'associer à la phase solide ; défini comme le rapport de la concentration du radionucléide dans la fraction particulaire à la concentration dans l'eau (l • kg ⁻¹ sédiment sec).
Coefficient de transfert (CT)	Un taux qui combine le concept du taux de la concentration (sans unité) et le taux d'ingestion de l'organisme (kg • j ⁻¹) afin de prévoir la fraction de radionucléide dans la diète qui s'accumule quotidiennement (j • kg ⁻¹) dans le corps.
Combustible	Uranium naturel sous forme de bioxyde d'uranium utilisé dans les centrales nucléaires de type CANDU.
Composante valorisée de l'écosystème (CVÉ)	Toute partie de l'environnement jugée importante par le promoteur, le public, les scientifiques et les gouvernements participant au processus d'évaluation. Tant les valeurs culturelles que les préoccupations scientifiques peuvent servir à déterminer cette importance.
Congénère	Différentes molécules appartenant à un même groupe chimique.

Conservateur	Qui surestime la dose d'exposition pour les récepteurs écologiques et humains.
Demi-vie	Temps moyen nécessaire à la désintégration de la moitié des atomes d'une quantité donnée d'un radionucléide. Synonyme : période radioactive.
Dermatite	Inflammation du derme (couche profonde de la peau).
Dose efficace engagée	La dose de radiation, corrigée pour le type de radiation et le type de tissu ou d'organe exposé, qui sera reçue sur une certaine période de temps à la suite de l'incorporation d'une substance radioactive dans le corps. Les périodes standards d'intégration sont 50 ans pour les adultes et 70 ans pour les enfants.
Dose journalière estimée	Somme de toutes les expositions d'une substance à partir de toutes les voies d'exposition, généralement exprimée en milligrammes de contaminants par kilogramme de poids corporel par jour (mg/kg/jour).
Dose journalière tolérable	Quantité d'un produit chimique que les êtres humains peuvent consommer chaque jour pendant toute leur vie, tout en étant raisonnablement assurés que leur santé ne sera pas menacée. Cette dose est généralement exprimée en milligrammes de produits chimiques par kilogramme de poids corporel par jour (mg/kg/jour).
Dose radiologique	Terme utilisé en radioprotection pour évaluer les conséquences biologiques possibles de l'exposition d'une personne à des rayonnements ionisants.
Dulcicole	Se dit des espèces animales et végétales qui vivent exclusivement ou principalement en eau douce.
Effets délétères	Effets nuisibles pour la santé.
Exposition	Processus par lequel un produit chimique est acheminé jusqu'à un organisme auquel il est administré sous forme de dose (quantité d'un produit chimique, soit dans l'organisme entier, soit dans un tissu cible). L'exposition est un résultat de la concentration et de la forme d'un produit chimique dans l'environnement, couplée avec la présence de l'organisme.
Facteur d'application	Valeur par laquelle la valeur critique de la toxicité est divisée afin d'obtenir une valeur estimée sans effet observé.

Facteur d'exposition	Le facteur d'exposition tient compte de la fréquence à laquelle une personne est exposée à un contaminant, fréquence qui est établie en moyenne sur une vie entière. On calcule ce facteur en multipliant la fréquence d'exposition (événements/an) par la durée de l'exposition (ans/existence).
Facteur d'incertitude	Différents facteurs appliqués à un DMSEO ou à un DMENO pour définir, à partir de données expérimentales, une dose de référence.
Facteur de bioconcentration	Ratio entre la concentration de nucléides dans les tissus animaux et leur concentration dans l'eau.
Gastrula	Un des stades du développement de l'ovule fécondé.
Génotoxique	Toxique vis-à-vis des gènes car entraînant des dommages à l'ADN.
Gonade	Glande génitale produisant les gamètes (ovaires, testicules).
Gray (Gy)	L'unité SI de la dose de rayonnement ionisant égale à 1 joule d'énergie de rayonnement par kilogramme de matière donnée. Cette unité a remplacé le rad.
Groupe cible	Individus d'un même groupe d'âge dont les caractéristiques comportementales sont comparables et relativement homogènes.
Groupe critique	Ensemble d'individus de même catégorie d'âge, ayant des habitudes de vie similaires et susceptibles d'être exposés aux plus fortes doses de radioactivité par rapport à la population générale.
Hématologique	Qui a rapport à la branche de la médecine consacrée à l'étude et au traitement des maladies du sang et des organes formateurs de sang.
Hématopoïèse	Ensemble des processus par lesquels les cellules souches totipotentes de la moelle osseuse se multiplient, se différencient et aboutissent à des cellules sanguines matures.
Hématopoïétique	Se dit d'une substance biologique ou d'un processus qui est relatif à l'hématopoïèse.
Hépatotoxicité	Qui a des effets toxiques sur le foie.

Histopathologie	Étude à l'échelle microscopique des tissus malades.
Hyperkératose	Hyperplasie de la couche cornée.
Hyperplasie	Développement exagéré d'un tissu ou d'un organe.
Immunoglobuline	Terme générique désignant l'ensemble des globulines sériques constituant les anticorps.
Immunoréaction	Réaction du système immunitaire.
Immunosuppression	Atténuation ou suppression des réactions immunitaires de l'organisme.
Intratrachéal	Situé à l'intérieur de la trachée (portion du conduit aérifère comprise entre l'extrémité inférieure du larynx et l'origine des bronches).
Intrapéritonéal	À l'intérieur du péritoine (membrane séreuse qui tapisse les parois intérieures de la cavité abdominale et pelvienne et qui recouvre les organes contenus dans ces cavités, à l'exception des ovaires).
Invertébré benthique	Invertébré aquatique qui vit sur ou dans les sédiments.
Irradiation	L'exposition au rayonnement ionisant ou fait de se propager par rayonnement dans toutes les directions depuis un centre d'émission.
Isotope	Atome d'un élément dont le noyau comporte le même nombre de protons, mais un nombre différent de neutrons. Certains isotopes sont radioactifs ; ils sont appelés « radio-isotopes ».
Létal	Qui entraîne la mort.
Loam	Classe texturale dont le matériau du sol contient de 7 à 27 % d'argile, de 28 à 50 % de limon et moins de 52 % de sable (synonyme : limon).
Macrophyte	Grande plante aquatique.
Micronuclée	Cellule avec présence du plus petit des noyaux reproducteurs.
Modèle conceptuel	Synthèse schématique des liens possibles entre les sources de contamination et les récepteurs écologiques et humains d'intérêt (source → devenir → cible → effet).

Modérateur	Fluide présent dans le cœur du réacteur et dont la fonction est de ralentir les neutrons de façon à favoriser la réaction en chaîne. Le modérateur utilisé dans les réacteurs CANDU est l'eau lourde.
Module CANSTOR	Module de stockage à sec du combustible irradié.
Nécrose	Mort cellulaire massive entraînant une inflammation.
Néoplasique	Relié à la formation d'une masse tissulaire distincte. Ce terme est souvent associé à la présence d'une tumeur.
Néphropathie	Nom générique de toutes les affections des reins dont la plupart peuvent être classées selon le segment du néphron ou des autres éléments du rein qui sont lésés.
Neutron	Particule élémentaire du noyau atomique sans charge électrique.
Niveau de risque acceptable	Lorsqu'il n'est pas possible d'éliminer complètement l'exposition de l'homme à un produit chimique ou un agent dangereux, il faut décider quel degré de risque peut être accepté en vue de permettre l'utilisation de ce produit ou de cet agent. Selon les circonstances, les niveaux acceptables de risque peuvent varier entre un décès supplémentaire par an par 10 000 (1×10^{-4}) personnes exposées au contaminant et un décès supplémentaire par cancer par an par million (1×10^{-6}) de personnes exposées.
Non cancérigène	Ne provoquant pas le développement d'un cancer ou d'une lésion pouvant être le point de départ d'un cancer (effet déterministe).
Ovocyte (ou oocyte)	Cellule sexuelle femelle en période d'accroissement, située dans le parenchyme ovarien.
Paramètres d'évaluation	Expressions qualitatives ou quantitatives décrivant une composante environnementale potentiellement à risque dans le contexte d'une évaluation des risques écotoxicologiques.
Paramètres de mesures	Résultats de tests écotoxicologiques, d'études de suivi environnemental ou d'autres activités visant à estimer les effets d'un contaminant sur un individu ou un organisme.
Pélagique	Tout organisme vivant dans les zones marines de pleine eau, c'est-à-dire libre de tout contact avec le fond.

Périphyton	Ensemble des organismes aquatiques qui vivent fixés à la surface des objets ou des plantes immergés dans les cours d'eau ou dans les lacs.
Photon	Quantité mesurable d'énergie électromagnétique.
Piscine de stockage	Piscine qui reçoit les grappes de combustible irradié à leur sortie du réacteur.
Polygone	Portion de la surface terrestre à deux dimensions, avec des caractéristiques uniformes. Les deux principaux types de polygones sont le milieu terrestre et le milieu aquatique. Chaque polygone a deux attributs qui définissent son étendue spatiale à l'intérieur de la zone modélisée : un centroïde (coordonnées X et Y) et une surface.
Quotient de risque	Une mesure de la toxicité potentielle calculée en divisant la valeur de l'exposition estimée (par ex. : dose totale de radiation) par la valeur estimée sans effet observé (VESEO).
Radioactivité	Processus par lequel certains radio-isotopes subissent une désintégration spontanée au cours de laquelle se dégage de l'énergie, aboutissant généralement à la formation de nouveaux isotopes. Ce processus s'accompagne de l'émission d'un ou de plusieurs types de rayonnements, tels que les rayons alpha, bêta et gamma.
Radionucléide	Un radionucléide (nucléide radioactif) est caractérisé par sa demi-vie radioactive et par les rayonnements qu'il émet.
Radioprotection	Discipline scientifique qui étudie les dangers des rayonnements ionisants et les moyens de les atténuer. Par extension, ensemble des mesures visant à étudier l'effet des rayonnements ionisants sur les êtres vivants ainsi qu'à assurer la protection du personnel et de la population par le respect des normes prescrites en la matière.
Rayonnement	Énergie propagée sous forme d'ondes ou de particules.
Rayonnement alpha	Noyaux d'hélium à haute énergie émis par certains radionucléides. Les rayons alpha ont un faible pouvoir de pénétration ; ils ne parcourent que quelques centimètres dans l'air et peuvent être arrêtés par une feuille de papier.
Rayonnement bêta	Électrons de haute énergie émis par certains radionucléides. Ils ne parcourent que quelques centimètres dans l'air et peuvent être arrêtés par un carton épais, une feuille de contreplaqué ou une plaque d'aluminium.

Rayonnement gamma	Photons de même nature que les rayons X, mais d'énergie supérieure, émis par les radionucléides. Dotés d'un fort pouvoir de pénétration, les rayons gamma peuvent être arrêtés par un écran d'une épaisseur suffisante de béton, de plomb ou d'un autre matériau dense.
Récepteurs d'intérêt	Éléments environnementaux caractéristiques des CVÉ, indicateurs de la sensibilité des CVÉ aux contaminants potentiellement émis par les installations du site de Gentilly.
Relation dose-réponse	Relation entre la dose et l'intensité ou l'incidence de l'effet néfaste produit par la substance.
Risque	Probabilité de survenance d'un effet néfaste dans des circonstances spécifiques. En termes quantitatifs, le risque est exprimé par des valeurs s'échelonnant entre zéro (représentant la certitude que le préjudice n'aura pas lieu) et un (représentant la possibilité que le préjudice ait lieu).
Risque écotoxicologique	Risque associé à l'environnement.
Risque toxicologique	Risque associé à la santé humaine.
Sarcome	Tumeur maligne, développée aux dépens du tissu conjonctif ou d'un tissu qui en dérive, à cellules en général mal différenciées.
Sérique	Relatif au sérum (partie liquide du sang constituée par le plasma débarrassé de fibrine).
Sievert	Unité de mesure du système international (symbole : Sv) servant à mesurer la dose reçue par l'organisme et à évaluer les effets biologiques ; cette unité a remplacé le rem.
Spermatogenèse	Ensemble des processus qui aboutissent, dans l'épithélium des tubes séminifères, à la formation des gamètes masculins ou spermatozoïdes.
Stochastique	Qui inclut une variable qui peut prendre différentes valeurs avec des probabilités données (ex. : jet d'un dé).
Stockage à sec	Entreposage du combustible irradié hors de l'eau.
Subléthal	Susceptible d'entraîner la mort dans la plupart des cas.

Substance cancérigène	Toute substance capable de produire un accroissement du nombre de tumeurs malignes chez au moins une espèce animale ou chez l'être humain.
Système de confinement	Système destiné à empêcher toute radioactivité de s'échapper à l'extérieur d'une structure étanche.
Tératogène	Substance ou agent qui peut provoquer des malformations congénitales d'ordre structurel ou fonctionnel chez la progéniture des adultes exposés.
Test de toxicité aiguë	Test de toxicité de courte durée en rapport avec la durée de vie de l'organisme testé (habituellement 4 jours pour les poissons).
Test de toxicité chronique	Test de toxicité qui s'étend sur une partie importante de la durée de vie d'un organisme testé (ex. : 10 % ou plus) et qui sert à examiner les effets sur les paramètres tels le métabolisme, la croissance, la reproduction et la survie.
Toxicocinétique	La toxicocinétique est l'étude, en fonction du temps, des différents aspects (absorption, distribution et élimination) du devenir des substances toxiques dans l'organisme.
Trajet d'exposition	Le trajet qu'un contaminant peut prendre pour atteindre les êtres humains ou autres organismes vivants. Les trajets d'exposition comprennent tous les éléments qui relient la source d'un contaminant à la voie d'exposition (ingestion, inhalation, contact par la peau) par le biais de laquelle le contaminant pénètre dans le corps.
Tritium	Isotope radioactif de l'hydrogène qui se forme, entre autres, dans l'eau lourde pendant le fonctionnement d'un réacteur CANDU.
Valeur critique de la toxicité (VCT)	L'expression quantitative (ex. : CE ₁₀) d'un léger effet toxique sur la variable d'effet mesurée. Les VCT sont utilisées dans la caractérisation des risques pour le calcul d'une valeur estimée sans effet observé.
Valeur de référence	Dose à laquelle un individu peut être exposé quotidiennement, toute sa vie, sans risque de subir des effets néfastes pour la santé.

Voie d'exposition	Une voie d'exposition est la façon dont un contaminant pénètre dans le corps humain. Il y a trois voies principales par lesquelles les êtres humains peuvent laisser entrer les contaminants dans leurs corps. Ces voies comprennent le fait de manger et de boire (ingestion), l'inhalation et l'absorption par la peau.
Zone d'étude élargie	Territoire couvert par le programme de surveillance et susceptible d'être touché par les rejets et les émissions du site ($\approx 920 \text{ km}^2$).
Zone d'étude rapprochée	Correspond approximativement aux limites de la propriété d'Hydro-Québec ($\approx 3,75 \text{ km}^2$).
Zone d'exclusion	Espace d'environ 1 km de rayon autour d'un réacteur nucléaire et à l'intérieur duquel aucune construction étrangère à l'installation nucléaire ne peut être érigée sans autorisation de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN).
Zone protégée	Zone clôturée située dans la zone d'exclusion et dont l'accès est strictement contrôlé par le groupe sécurité d'Hydro-Québec. Des systèmes électroniques, des inspections visuelles et un contrôle individuel permettent de s'assurer d'une façon permanente de l'intégrité du périmètre.

1 INTRODUCTION

Dans le cadre de l'exploitation de la centrale nucléaire de Gentilly-2, de la gestion des installations de l'aire de stockage des déchets radioactifs (ASDR) et de l'aire de stockage à sec du combustible irradié (ASSCI), Hydro-Québec applique depuis plusieurs années un programme de surveillance radiologique de l'environnement (Hydro-Québec, 1999 et 2002). Ce programme vise essentiellement à effectuer des mesures radiologiques dans le milieu, à évaluer l'exposition de la population environnante aux émissions de la centrale, de l'ASDR et de l'ASSCI ; et à comparer les résultats obtenus aux différentes normes ou valeurs de référence reconnues.

À la suite des travaux menant à la création de la deuxième liste de substances d'intérêt prioritaire (LSIP2) (Environment Canada and Health Canada, 2001), en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement 1999* (LCPE, 1999), il est apparu nécessaire d'évaluer plus spécifiquement les risques associés aux rejets de radionucléides par les installations nucléaires sur les organismes autres que l'être humain. C'est ainsi que, depuis l'entrée en vigueur de la nouvelle *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires*, la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) veille à ce que les risques pour les organismes non humains (biote), dans le cadre des activités réglementées, soient considérés au même titre que les risques pour la santé humaine. De plus, la CCSN désire intégrer à l'évaluation des risques pour la santé humaine et pour le biote toutes les sources ou substances chimiques d'intérêt émises par les opérations de la centrale de Gentilly-2 et de la centrale thermique de Bécancour située sur le site du complexe nucléaire.

La méthodologie d'évaluation utilisée est basée sur la démarche générale définie à l'origine pour les risques toxicologiques par le Conseil national de recherche (National Research Council, 1983) et, un peu plus tard, pour les risques écotoxicologiques, par l'Agence américaine de protection de l'environnement (U.S. EPA, 1992, 1998) et d'autres organismes gouvernementaux (CCME, 1996 ; Environnement Canada, 1997 ; CEAQ, 1998).

Le futur programme de surveillance environnementale de la centrale de Gentilly-2 devra ainsi tenir compte de toutes les sources d'émissions ou de rejets de radionucléides et de substances chimiques dans l'environnement résultant des opérations au site de Gentilly. Ainsi, la réévaluation du programme de surveillance considérera les opérations actuelles de la centrale de Gentilly-2 et celles de la centrale thermique de Bécancour.

Par ailleurs, Hydro-Québec envisage de procéder à la réfection de la centrale nucléaire de Gentilly-2 afin de prolonger son exploitation jusqu'à l'horizon 2035. La réfection impliquera, entre autres, l'agrandissement de l'ASDR et l'augmentation de la capacité d'entreposage de l'ASSCI. Les impacts du projet de réfection de la centrale seront donc également considérés dans le cadre de la réévaluation du programme de surveillance.

Dans ce contexte, Hydro-Québec a réalisé une évaluation des risques écotoxicologiques (pour le biote) et toxicologiques (pour la santé humaine) associés à l'exploitation des centrales de Gentilly-2 et de Bécancour, en conformité avec les guides et pratiques

reconnus par la CCSN. Les résultats de cet exercice devraient conduire à l'élaboration de recommandations concernant la pertinence ou non d'ajouter, au programme de surveillance actuel, la réalisation de mesures à la source ou dans l'environnement de certains isotopes radioactifs ou de certaines substances chimiques d'intérêt qui ne sont pas considérés présentement.

De façon plus spécifique, les objectifs de la présente étude sont :

- d'identifier les composantes valorisées de l'écosystème, de façon à préciser les récepteurs écologiques et humains qui seront retenus dans le cadre de l'analyse des risques écotoxicologiques et toxicologiques ;
- d'examiner toutes les sources possibles d'émissions et de rejets afin d'estimer les quantités de radionucléides et de substances chimiques émises dans l'environnement ;
- d'évaluer les risques écotoxicologiques et toxicologiques à partir de scénarios d'exposition de récepteurs écologiques et humains propres au site de Gentilly ;
- d'évaluer les impacts du projet de réfection envisagé au site de Gentilly sur le risque écotoxicologique et toxicologique, particulièrement en ce qui a trait aux émissions ou aux rejets découlant de l'agrandissement de l'ASDR ;
- de proposer, le cas échéant, des mesures de surveillance complémentaires des différents isotopes ou substances chimiques d'intérêt afin d'optimiser le programme de surveillance actuel.

Le présent rapport comporte neuf chapitres. Après la présente introduction qui fait l'objet du chapitre 1, le chapitre 2 explique l'approche méthodologique adoptée pour réaliser l'étude. Le chapitre 3 décrit les installations du site de Gentilly qui constituent des sources potentielles de contamination de l'écosystème. Le chapitre 4 dresse le portrait de l'environnement dans lequel s'inscrit le site de Gentilly et identifie les composantes valorisées de l'écosystème ; certaines d'entre elles qui sont susceptibles d'être touchées par l'exploitation des centrales de Bécancour et de Gentilly-2 de même que par les installations projetées dans le cadre du projet de réfection de la centrale de Gentilly-2 seront retenues aux fins de l'analyse des risques écotoxicologiques et toxicologiques. Le chapitre 5 présente les modèles conceptuels élaborés pour réaliser l'analyse des risques de même que la démarche de sélection des substances d'intérêt et des récepteurs cibles. Le sixième chapitre traite de l'estimation de l'exposition pour le biote et l'humain en considérant différents scénarios et paramètres de calcul. Le chapitre 7 présente l'évaluation des effets des radionucléides et des substances chimiques d'intérêt sur les végétaux, les animaux et l'humain. Le huitième chapitre vise à caractériser le risque sur la base des doses d'exposition estimées et des valeurs de référence écotoxicologiques et toxicologiques disponibles. Enfin, le neuvième chapitre présente le bilan des évaluations de risques ainsi que certaines recommandations quant à la révision du programme de surveillance de l'environnement.

2 DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE

2.1 Approche générale

La plupart des concepts associés à l'analyse des risques pour la santé humaine (toxicologiques) ont été développés durant les années 1970. Ce n'est qu'au début des années 1980 qu'a été proposée une démarche formelle visant à évaluer qualitativement et quantitativement l'exposition humaine à des contaminants, leurs effets sur la santé et les risques qui en découlent pour la population en général (National Research Council, 1983). Quelques années plus tard, l'Agence américaine de protection de l'environnement (U.S. EPA, 1992) développait une démarche d'analyse de risques pour l'environnement (écotoxicologiques) s'inspirant du paradigme développé pour la santé humaine.

Ainsi, depuis l'énoncé du paradigme en 1983 par le National Research Council, l'analyse de risque est devenue un outil d'aide à la décision de plus en plus utilisé en gestion environnementale. De nombreux organismes gouvernementaux ont adapté cette démarche en fonction de leurs particularités juridiques et administratives (U.S. EPA, 1989 ; U.S. EPA, 1991a, b ; Environnement Canada, 1994, 1997 ; CCME, 1996, 1997, 2000 ; ASTM, 1998 ; CEAEQ, 1998 ; U.S. EPA, 1998 ; MSSS, 1999a, b ; WHO, 1999). Depuis plusieurs années, nombre d'organismes gouvernementaux ont établi différentes catégories ou niveaux (« Tier ») d'analyse de risques toxicologiques ou écotoxicologiques selon une échelle de complexité croissante (ASTM, 1998 ; Environnement Canada, 1997 ; CCME, 1996, 2000). Trois niveaux d'analyse de risque peuvent être réalisés :

- niveau 1 : analyse préliminaire conservatrice ;
- niveau 2 : analyse préliminaire réaliste ;
- niveau 3 : analyse détaillée.

Afin d'augmenter la précision de l'évaluation, chaque niveau nécessite une qualité et une quantité d'informations toujours plus importante, tant en ce qui a trait à l'estimation de l'exposition qu'au choix des valeurs de référence écotoxicologiques ou toxicologiques.

Dans le cadre de la présente étude, l'évaluation des risques écotoxicologiques et toxicologiques est une analyse de niveau 1. Par conséquent, les scénarios et hypothèses considérés sont basés sur l'approche du pire cas vraisemblable (conservateur), notamment en ce qui a trait aux quantités de contaminants rejetés dans l'environnement ou aux valeurs de références toxicologiques utilisées.

2.2 Principales étapes de l'analyse de risques

D'une manière générale, l'analyse des **risques toxicologiques** comprend cinq étapes principales : l'identification du danger, l'estimation de l'exposition, l'évaluation toxicologique, la caractérisation du risque et la gestion du risque. De façon analogue, la démarche d'évaluation des **risques écotoxicologiques** comporte également cinq étapes

principales, à savoir : l'évaluation du problème, l'estimation de l'exposition, l'estimation de la toxicité, la caractérisation du risque et la gestion du risque.

Malgré les similitudes entre les deux approches, plusieurs points les distinguent, notamment en ce qui concerne la définition de la problématique, le choix des récepteurs cibles, les types d'effets observés chez ces récepteurs ou les aspects reliés à la gestion du risque. La démarche générale utilisée dans le cadre de la présente étude est illustrée à la figure 2-1. Cette démarche intègre à la fois les volets naturel (biote) et humain. Elle s'appuie essentiellement sur les approches proposées par l'U.S. EPA (1998), le CCME (1996) et Environnement Canada (1997). Les cinq grandes étapes de la démarche sont décrites ci-après.

Première étape : Identification du danger ou évaluation du problème

La première étape de l'analyse de risques consiste essentiellement à identifier les principaux aspects environnementaux (biotiques et abiotiques), humains ou toxicologiques qui déterminent si, du point de vue environnemental ou de la santé humaine, une situation donnée est problématique ou non. À cette étape, les caractéristiques des installations présentes sur le site (localisation et historique), du milieu naturel environnant (hydrogéologie et hydrologie générale, faune et flore) et du milieu humain (ou milieu social) sont décrites. Les principales composantes valorisées de l'écosystème (CVÉ) sont ensuite identifiées. À cette étape, on détermine les principaux récepteurs écologiques ou humains, représentatifs des composantes valorisées de l'écosystème, qui peuvent être potentiellement touchés par les émissions ou les rejets des différents radionucléides et substances chimiques d'intérêt du site de Gentilly.

Cette première étape permet aussi de créer le modèle conceptuel utilisé dans le cadre de l'analyse de risques. Ce modèle représente schématiquement le continuum spatio-temporel ou le cheminement dans l'environnement d'une substance d'intérêt entre la source et le récepteur écologique ou humain. La source de contamination, les différents radionucléides ou substances chimiques émis dans l'environnement, les voies de transfert ou de transport des contaminants, les différents médias environnementaux (ex. : air, sol et eau) et d'exposition (ex. : aliments et plantes) affectés, de même que les voies d'exposition (ex. : inhalation, ingestion et contact) pour les différents récepteurs écologiques ou humains considérés sont décrits.

Deuxième étape : Estimation de l'exposition

L'exposition est le contact entre un organisme vivant et un contaminant. La concentration du contaminant, la durée et la fréquence de contact sont autant de paramètres à considérer pour évaluer le niveau d'exposition. La présence d'un contaminant dans l'environnement ne représente pas à elle seule un facteur de risque. C'est la biodisponibilité du contaminant et, par conséquent, son contact avec l'organisme, qui est la base même du risque.

Les voies de transfert ou de transport des contaminants, les différents médias environnementaux et d'exposition affectés, de même que les voies d'exposition pour les différents récepteurs écologiques ou humains considérés sont choisis à cette étape.

Cette étape comporte une évaluation quantitative de l'exposition radiologique et chimique des récepteurs écologiques et des groupes cibles (récepteurs humains) retenus en fonction des scénarios prédéfinis. Les doses d'exposition attribuables aux rejets sont calculées pour les différentes voies d'exposition considérées (ex. : irradiation externe ou contact direct, inhalation, ingestion, etc.), et ce, pour chacun des scénarios d'exposition déterminés et chacun des contaminants d'intérêt considérés. Ces calculs sont faits à partir de modèles mathématiques ou d'équations qui considèrent plusieurs paramètres associés notamment aux processus de transport et de transfert entre les médias environnementaux (ex. : coefficients de partage eau/sol et sol/plante), aux concentrations des différents contaminants d'intérêt dans chaque média d'exposition (ex. : viandes, plantes, poissons), au taux de contact avec l'organisme cible (ex. : taux d'ingestion d'aliments, poids corporel) et aux facteurs d'ajustement ou de conversion de dose.

Troisième étape : Évaluation toxicologique

L'évaluation toxicologique vise la détermination et la validation des estimateurs de risque (ex. : valeurs d'exposition sans effet observé (VESEO), doses de référence, coefficients de cancérogénicité) pour les contaminants d'intérêt choisis. Le choix de ces estimateurs est réalisé à partir d'une revue exhaustive des données écotoxicologiques et toxicologiques provenant de banques de données ou de documents gouvernementaux et de la littérature scientifique.

Ces estimateurs permettent ainsi de quantifier la relation entre la dose absorbée ou biologiquement effective d'un contaminant et la réponse toxique chez un récepteur donné en terme de sévérité et/ou d'incidence des effets. Cette relation est généralement estimée empiriquement à partir de modèles statistiques (ex. : modèle multistage linéaire), notamment pour l'extrapolation à faibles doses.

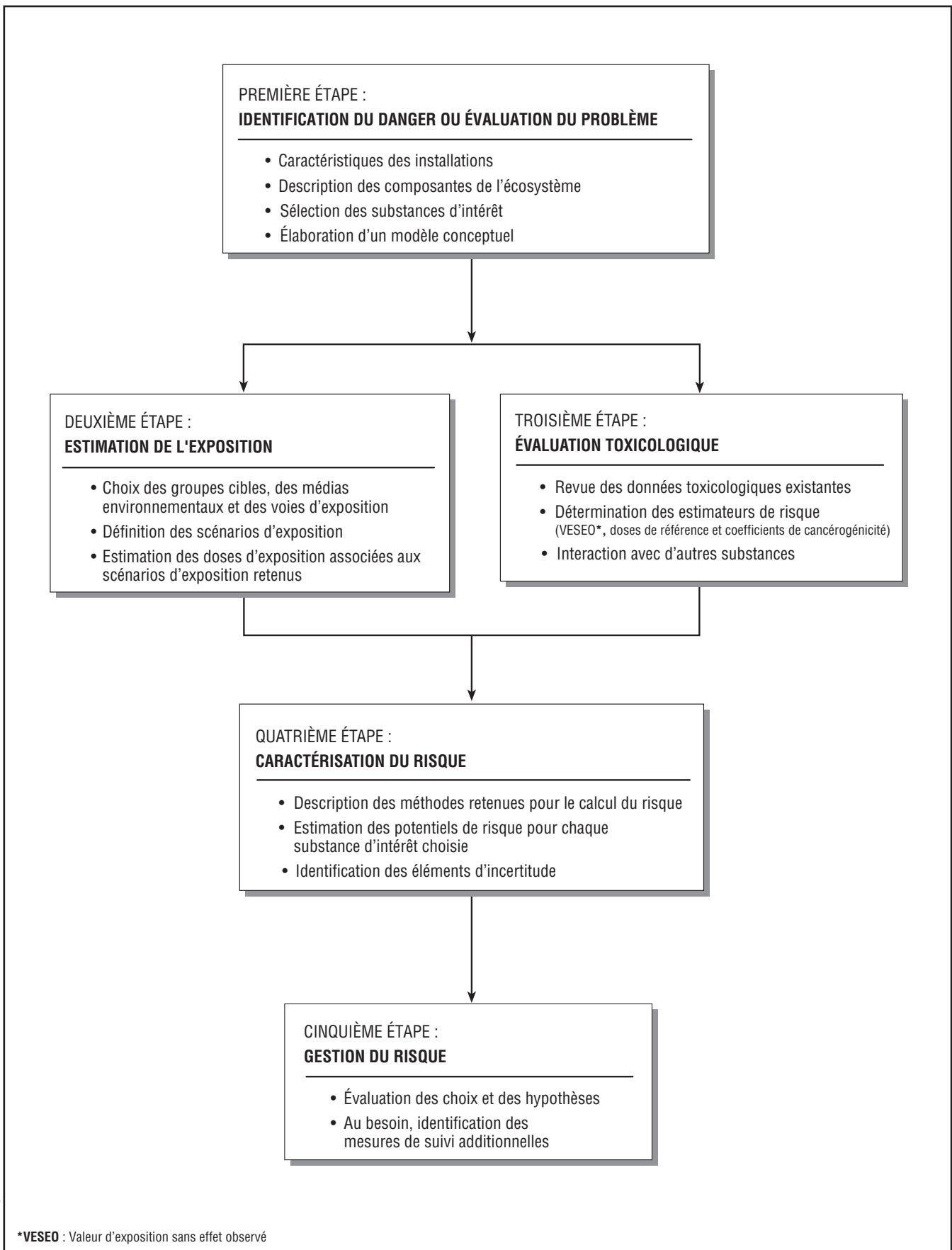
Quatrième étape : Caractérisation du risque

La caractérisation du risque consiste à mettre en relation les doses d'exposition individuelles estimées pour chacun des récepteurs cibles retenus et les valeurs ou doses limites reconnues pour chacune des voies d'exposition considérées. Ce calcul prend généralement la forme d'un ratio (substances à effets non cancérigènes) ou d'un produit (substances à effets cancérigènes) à partir duquel il est possible d'évaluer le potentiel de risque associé à un ou plusieurs contaminants d'intérêt. Cette étape inclut également une analyse complète des sources d'incertitude et des hypothèses associées à l'estimation du risque, particulièrement en ce qui a trait aux calculs de la dose d'exposition multimédia et multivoie et aux estimateurs de risque retenus.

Cinquième étape : Gestion du risque

La cinquième étape consiste à mettre en perspective les résultats de la caractérisation du risque (quatrième étape) dans un contexte de gestion environnementale. De façon plus spécifique, l'estimation du risque permettra de contribuer à l'effort de révision du programme de surveillance radiologique de l'environnement au site de Gentilly en ajoutant, au besoin, un suivi sur certaines composantes de l'écosystème en relation avec des radionucléides ou des substances chimiques identifiés dans le cadre de la présente analyse de risques.

Figure 2-1 : Démarche générale d'analyse des risques écotoxicologiques et toxicologiques



3 DESCRIPTION DES INSTALLATIONS

Le chapitre 3 fait un court historique des installations du site de Gentilly qui constituent des sources potentielles de contamination en raison des rejets et des émissions de radionucléides et de substances chimiques qu'elles produisent ou utilisent. Il s'agit de la centrale nucléaire de Gentilly-2 et de ses infrastructures connexes, soit l'aire de stockage des déchets radioactifs (ASDR) et l'aire de stockage à sec du combustible irradié. S'ajoute à cette liste, la centrale de Bécancour, une centrale thermique implantée sur le site du complexe nucléaire de Gentilly. Ces installations sont schématisées à la figure 3-1. Les différents types de rejets selon les sources identifiées, soit les émissions dans l'air et dans l'eau, les rayonnements ionisants dans l'air et les déchets solides sont également illustrés sur cette même figure pour chacune des sources.

Les substances rejetées et les modes d'émission dans l'environnement sont analysés en détail au chapitre 5.

3.1 Centrale de Gentilly-2

La centrale de Gentilly-2 est la propriété d'Hydro-Québec. C'est la seule centrale nucléaire en exploitation au Québec. Sa construction a débuté en 1973, dans la foulée d'une demande énergétique en pleine croissance et d'une prévision accrue de production d'énergie d'origine nucléaire. La centrale a été mise en service en octobre 1983. D'une puissance de 675 mégawatts, sa production, intégrée à l'ensemble du parc d'équipements d'Hydro-Québec, y joue un rôle de base. Elle représente en effet à elle seule 3% de la puissance installée du réseau et pourrait ainsi subvenir aux besoins en électricité de 74 000 résidences unifamiliales.

Au milieu des années 1980, en raison de la récession économique et des efforts déployés pour limiter le surplus d'électricité sur le réseau, la centrale n'a été exploitée qu'à 50 % de sa capacité. La centrale de Gentilly-2 a retrouvé depuis 1987 une puissance nette de 635 mégawatts, soit la performance annuelle régulière de la centrale.

La centrale de Gentilly-2 est de type CANDU-PHW, c'est-à-dire que le réacteur utilise l'uranium naturel comme combustible et l'eau lourde comme modérateur. L'uranium est concentré, purifié et transformé en pastilles d'oxyde d'uranium destinées à la formation des grappes de combustible utilisables dans le réacteur.

Les quelque 4 560 grappes de combustible que contient le réacteur y séjournent en moyenne un an. À pleine puissance, le réacteur génère environ 15 grappes de combustible irradié par jour. Les déchets de la production d'électricité par un réacteur nucléaire sont gérés selon leur catégorie (combustible irradié, tissus, filtres, pièces d'équipement) et selon la radioactivité qu'ils contiennent.

Le refroidissement du réacteur et des systèmes connexes de la centrale de Gentilly-2 est assuré par un apport d'eau du fleuve (canal d'amenée), à raison d'un débit d'environ 30 m³/s à la température ambiante du milieu. Le rejet est acheminé dans un canal ouvert (canal de rejet) qui se déverse dans le fleuve, juste en amont de la rivière Gentilly

(Aménatech inc., 1993). Les canaux d'amenée et de rejet de la centrale de Gentilly-2 ont été aménagés lors de la construction de la centrale.

Les principales sources d'émissions et de rejets liées à l'exploitation de la centrale de Gentilly-2 sont la cheminée du bâtiment de service, le canal de rejet, le système de traitement des eaux sanitaires, la station de pompage, les laboratoires et le centre de récupération des matières dangereuses.

3.2 Aire de stockage des déchets radioactifs

Construite dans les années 1970, l'aire de stockage des déchets radioactifs (ASDR) est située à environ 500 m au sud-ouest de la centrale de Gentilly-2, à l'intérieur d'une aire surélevée d'environ 4 m par rapport au terrain environnant. Cette aire est clôturée. L'ASDR a déjà contenu des déchets provenant de l'exploitation de la centrale de Gentilly-1, désaffectée vers la fin des années 1970. Ces déchets, générés par la centrale de Gentilly-1, appartenaient à Énergie atomique du Canada Limitée (EACL). Ils ont été depuis lors transportés à Chalk River.

En prévision de la mise en service de Gentilly-2, l'ASDR a été agrandie au début des années 1980 avec l'addition d'une rangée de fosses au sud de celles construites par EACL. Aujourd'hui, l'ASDR ne contient que des déchets radioactifs solides provenant de l'exploitation de la centrale de Gentilly-2. L'ASDR recueille essentiellement des déchets dont la radioactivité varie de faible à moyenne.

Les déchets radioactifs sont stockés dans les cellules de béton étanches. Les déchets de tissus de faible radioactivité (chiffons, gants, vêtements protecteurs, pellicule de vinyle, toiles) sont compactés dans des ballots de carton vinylisé, eux-mêmes recouverts d'une pellicule de vinyle. Les filtres des systèmes de purification et certaines pièces d'équipement dont la radioactivité est moyenne sont également entreposés dans les fosses de béton de l'ASDR spécialement aménagées à cette fin.

Plusieurs dispositifs de surveillance des installations et de mesures de sûreté sont mis en place afin de s'assurer que les déchets ne représentent aucun danger inacceptable pour l'environnement, la population avoisinante et les travailleurs. De plus, des inspections régulières sont menées par des représentants de la centrale de même que par des agences externes (Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) et ministères de l'Environnement du Québec et du Canada).

L'ASDR constitue une source d'émissions fugitives dans l'air. Elle est également une source potentielle de contamination du fleuve Saint-Laurent et de l'eau souterraine.

3.3 Aire de stockage à sec du combustible irradié

L'aire de stockage à sec du combustible irradié (ASSCI) est située dans la zone protégée (clôturée et à accès contrôlé) des installations du complexe nucléaire de Gentilly. Elle recueille les grappes de combustible qui ont complété un séjour d'au moins sept ans dans la piscine de stockage, adjacente au bâtiment du réacteur. L'eau déminéralisée de la piscine sert d'écran protecteur contre les rayonnements ionisants et dissipe la chaleur émise par les grappes de combustible. Un système de refroidissement permet de

maintenir la température de l'eau à 26°C. La capacité de stockage de la piscine est d'environ 45 000 grappes.

L'ASSCI comporte actuellement cinq modules de type CANSTOR, une technologie mise au point par l'EACL et constituant une variante améliorée de la technique de stockage en silos. Ces modules ont été construits entre 1995 et 1999. Chacun d'eux est composé de 20 cylindres métalliques étanches. Ces derniers sont installés dans une structure de béton, servant de blindage radiologique, à l'intérieur desquels se trouvent 10 paniers en acier inoxydable superposés et scellés, d'une contenance de 60 grappes chacun. La capacité de stockage d'un module atteint ainsi 12 000 grappes de combustible irradié. EACL estime la vie utile d'un module à au moins 50 ans. À la fin de l'année 2001, 48 000 grappes de combustible avaient été entreposées dans quatre des cinq modules en place.

Les installations font l'objet de surveillance et de vérifications régulières de leur étanchéité.

3.4 Centrale de Bécancour

La centrale de Bécancour, appartenant à Hydro-Québec, a été construite entre 1991 et 1993. Elle est située au sud-est de la centrale de Gentilly-2. Il s'agit d'une centrale thermique à turbines à gaz utilisant comme combustible le mazout n° 2 à faible teneur en soufre. La centrale est composée de quatre groupes turbo-alternateurs d'une puissance d'environ 100 MWe chacun. Elle utilise de plus de l'eau déminéralisée pour accroître la puissance des turbines et pour réduire le taux d'émission d'oxyde d'azote dans les gaz d'échappement.

La centrale de Bécancour est une centrale de pointe ; elle est utilisée en cas de panne ou de demande de consommation en électricité accrue en période de grands froids. Elle peut aussi réalimenter les services auxiliaires de la centrale de Gentilly-2 en cas de panne. En mode d'urgence, la centrale thermique peut démarrer rapidement.

La centrale de Bécancour comprend un bâtiment de production qui abrite les quatre groupes turbo-alternateurs, un bâtiment de commande, un bâtiment de protection contre les incendies, un parc de stockage de mazout comptant deux réservoirs de 3,2 millions de litres chacun et un réservoir d'eau déminéralisée. L'électricité produite par la centrale est acheminée vers le poste de départ de la centrale de Gentilly-2 après que sa tension ait été élevée à l'aide de quatre transformateurs.

La centrale de Bécancour entraîne des émissions atmosphériques à partir de la cheminée des turbines à gaz.

Des rejets dans l'eau du fleuve sont issus du système de collecte des eaux pluviales. Des contaminants peuvent aussi provenir du quai de dépotage et des réservoirs de mazout. Ces derniers peuvent aussi constituer des sources d'émissions atmosphériques.