

Le complexe nucléaire de Gentilly, au coeur de son environnement

*Évaluation des risques
écotoxicologiques et
toxicologiques*



Table des matières

Mise en contexte et objectifs de l'étude	1
Les installations du complexe nucléaire de Gentilly	2
Démarche de l'évaluation des risques écotoxicologiques et toxicologiques	4
Première étape : évaluation de la problématique	6
Sujets visés par l'évaluation des risques écotoxicologiques et toxicologiques	6
Les composantes valorisées de l'écosystème (CVÉ)	6
Les récepteurs	8
Les principaux rejets dans l'environnement	10
Sources de rejets	10
Radionucléides et substances chimiques considérés pour l'évaluation	11
Répartition des radionucléides et substances chimiques en fonction des sources d'émissions et de rejets	11
Deuxième étape : estimation de l'exposition	12
Les scénarios d'exposition des récepteurs écologiques et humains	13
Calcul des doses d'exposition	14
Calcul de la dose d'exposition aux radionucléides	14
Calcul de la dose d'exposition aux substances chimiques	14
Le modèle « Environmental IMPACT™ »	14
Troisième étape : évaluation des effets et limites recommandées	15
Radionucléides	15
Plantes et animaux	15
Humains	15
Substances chimiques : HAP	15
Plantes et animaux	15
Humains	15
Quatrième étape : caractérisation du risque	16
Comment évalue-t-on les risques?	16
L'exploitation du complexe nucléaire de Gentilly en situation normale comporte-t-elle un risque pour les plantes, les animaux et les humains?	16
Cinquième étape : gestion du risque	18
Est-il pertinent d'ajouter au programme de surveillance actuel des mesures de radionucléides ou de substances chimiques qui ne sont pas considérés présentement?	18
Les substances chimiques	18
Les radionucléides	18
Bilan de l'ÉRÉT	20

Mise en contexte et objectifs de l'étude

Mise en contexte

Hydro-Québec applique depuis plusieurs années un programme de surveillance radiologique de l'environnement lié à l'exploitation de la centrale nucléaire de Gentilly-2. Le prélèvement d'échantillons et la prise de mesures radiologiques dans l'environnement autour de la centrale servent à documenter le niveau de radioactivité ambiant, à confirmer le respect des normes, et à évaluer l'exposition de la population environnante aux rayonnements ionisants.

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN), qui régleme les utilisations de l'énergie nucléaire, demande qu'Hydro-Québec évalue les risques associés à l'exploitation de la centrale nucléaire de Gentilly-2 et de la centrale thermique de Bécancour, et ce, tant pour les plantes, les animaux que les humains. C'est dans ce contexte qu'Hydro-Québec a réalisé une évaluation des risques écotoxicologiques (pour les plantes et les animaux) et toxicologiques (pour la santé humaine) associés à l'exploitation de ces deux centrales de même qu'aux installations actuelles et projetées de stockage des déchets solides radioactifs et du combustible irradié. La présente publication constitue la synthèse de cette étude.

Risque :

La notion de risque dans la présente étude réfère à la probabilité qu'une exposition prolongée à un ou des radionucléides, ou à des substances chimiques, produise des effets biologiques néfastes sur les plantes, les animaux et les humains.

Objectifs de l'évaluation des risques écotoxicologiques et toxicologiques (ÉRET)

L'évaluation des risques écotoxicologiques et toxicologiques (ÉRET) associés à l'exploitation des centrales de Gentilly-2 et de Bécancour devait permettre de répondre aux questions suivantes :

- L'exploitation du complexe nucléaire de Gentilly en situation normale comporte-t-elle un risque pour les plantes, les animaux et les humains?
- Est-il pertinent d'ajouter au programme de surveillance actuel des mesures environnementales de radionucléides ou de substances chimiques qui ne sont pas considérés présentement?

L'évaluation des risques par niveaux

Depuis quelques années, plusieurs organismes gouvernementaux ont établi différents niveaux d'évaluation des risques écotoxicologiques ou toxicologiques selon une échelle de complexité croissante. Trois niveaux d'évaluation des risques peuvent être réalisés :

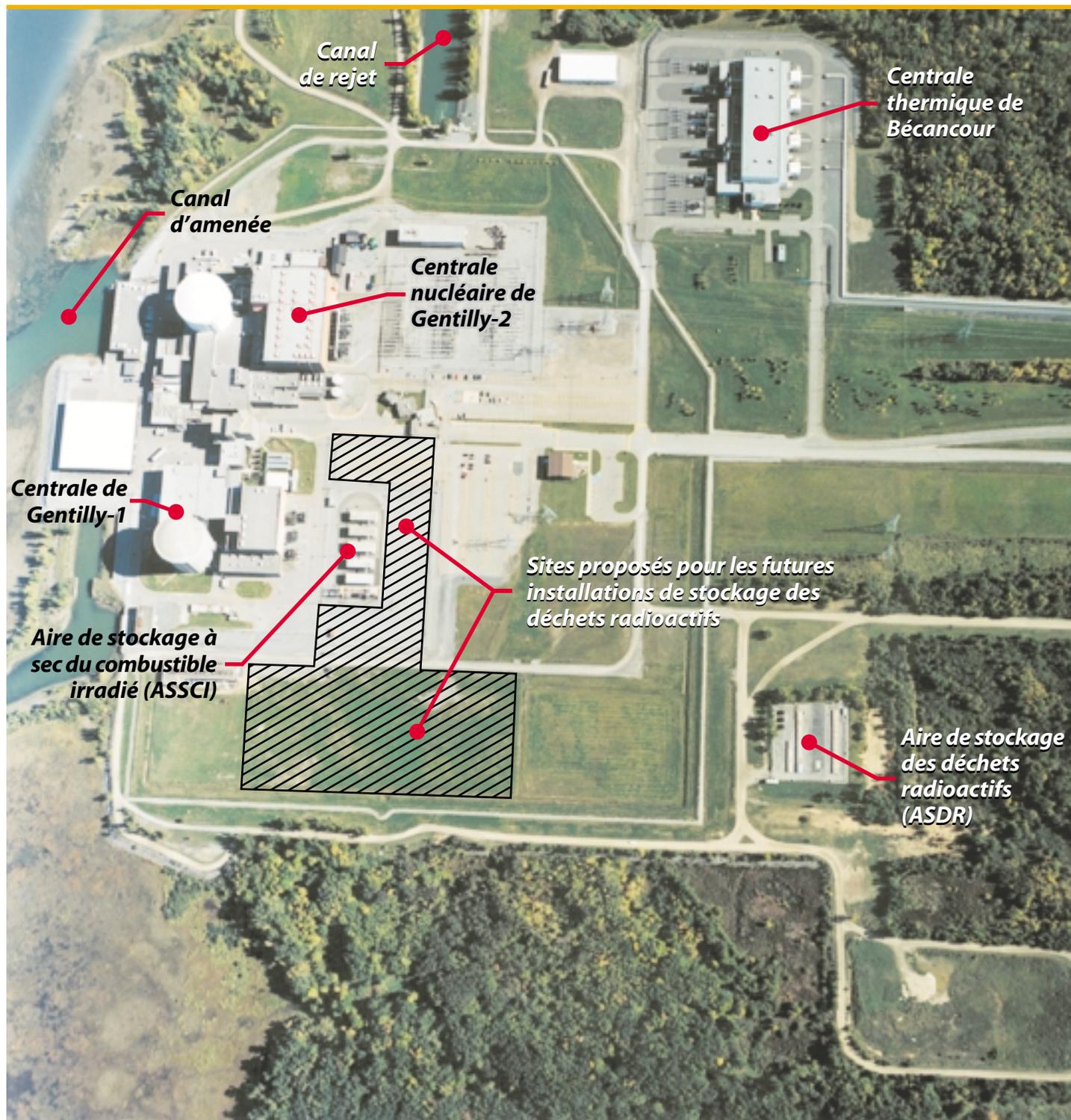
- Niveau 1 : analyse préliminaire conservatrice
- Niveau 2 : analyse préliminaire réaliste
- Niveau 3 : analyse détaillée

Afin d'augmenter la précision de l'évaluation, chaque niveau nécessite une qualité et une quantité d'informations toujours plus importantes, tant en ce qui a trait au calcul des doses d'exposition et au choix des valeurs de référence qu'aux mesures environnementales spécifiques au site et nécessaires à l'évaluation des risques.

L'ÉRET réalisée pour les centrales de Gentilly-2 et de Bécancour est une analyse de niveau 1. Par conséquent, les scénarios et hypothèses qui ont été considérés sont basés sur une approche conservatrice (pire cas vraisemblable), notamment en ce qui a trait aux quantités de substances rejetées dans l'environnement (valeurs maximales) et aux valeurs de référence utilisées. Toutefois, pour certains aspects, des données spécifiques au site ont été utilisées.

Les installations du complexe nucléaire de Gentilly

Le complexe nucléaire de Gentilly est situé sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent à environ 15 km à l'est de Trois-Rivières, entre Québec et Montréal. On y trouve la seule centrale nucléaire en exploitation au Québec, soit la centrale de Gentilly-2. La centrale de Gentilly-1, propriété d'Énergie atomique du Canada limitée (ÉACL), a pour sa part été mise hors service dans les années 1980.



Centrale nucléaire de Gentilly-2

La centrale nucléaire de Gentilly-2 a été mise en service en 1983. D'une puissance de 675 mégawatts (MW), elle fournit au réseau près de 5 térawattheures (TWh) par année, ce qui représente environ 3 % de la production d'Hydro-Québec. Cette centrale joue un rôle important dans le parc de production de l'entreprise, en raison notamment de son excellente performance, de sa rentabilité et de son apport au réseau qui contribue à la stabilité de ce dernier. De plus, elle est un moteur important de l'économie régionale et permet le maintien de l'expertise acquise dans le domaine nucléaire au Québec.

Centrale thermique de Bécancour

La centrale de Bécancour est une centrale thermique à turbines à gaz utilisant comme combustible le mazout n° 2 à faible teneur en soufre. D'une puissance de 400 MW, elle est en service depuis 1993. Elle peut être utilisée lorsque la demande de consommation s'accroît, en période de grands froids par exemple. Elle a également pour fonction la réalimentation des services auxiliaires de la centrale de Gentilly-2. Typiquement, elle fonctionne moins de 200 h par année.

Aire de stockage des déchets radioactifs (ASDR)

L'ASDR est aménagée à environ 500 m au sud-ouest de la centrale nucléaire de Gentilly-2. Elle reçoit les déchets radioactifs solides découlant de l'exploitation de la centrale. Ces déchets sont stockés dans des fosses et des quadricellules en béton.

Aire de stockage à sec du combustible irradié (ASSCI)

L'ASSCI se situe à environ 100 m au sud de la centrale de Gentilly-1 aujourd'hui désaffectée. Depuis 1995, on y entrepose les grappes de combustible irradié qui ont séjourné dans la piscine de stockage pendant au moins sept ans. L'ASSCI compte actuellement cinq modules de type CANSTOR et il est prévu d'en construire d'autres au fur et à mesure des besoins, dont deux en 2004 et jusqu'à un total de 20 si le projet de réfection de la centrale se réalise. Chaque module se compose de 20 cylindres métalliques étanches installés dans une structure de béton.

Futures installations de stockage des déchets radioactifs

Advenant la réalisation du projet de réfection de la centrale de Gentilly-2, des unités de stockage conçues pour recevoir les déchets découlant de la réfection de même que les déchets produits par la poursuite de l'exploitation de la centrale seront nécessaires. Les nouvelles installations seraient construites sur le site du complexe nucléaire de Gentilly, à proximité des installations de stockage existantes, et contiendraient, en plus des déchets de réfection, des déchets similaires à ceux actuellement entreposés sur le site.

Démarche de l'évaluation des risques écotoxicologiques et toxicologiques

De façon générale, l'évaluation des risques vise à estimer quantitativement le niveau de risque, pour l'environnement et la santé humaine, associé à une exposition aux radionucléides ou substances chimiques. Cette démarche est basée sur la connaissance des émissions et rejets dans l'environnement et sur les composantes des milieux naturel et humain susceptibles d'être affectées par une exposition à ces substances. La démarche d'évaluation des risques comporte cinq étapes.

1 Première étape : Identification du danger ou évaluation du problème

La première étape consiste à identifier les sources d'émissions et de rejets de différents radionucléides et substances chimiques d'intérêt provenant des installations du complexe nucléaire de Gentilly. Elle vise, d'autre part, à identifier les principales composantes du milieu (récepteurs écologiques et humains) qui peuvent être potentiellement touchées par ces émissions ou ces rejets, notamment les composantes valorisées de l'écosystème (CVÉ). Les récepteurs écologiques (ex. : raton laveur, carpe) et les récepteurs humains (ex. : travailleurs du parc industriel), représentatifs des CVÉ et susceptibles d'être exposés aux rejets du complexe nucléaire, sont identifiés. Sur la base des informations recueillies, un modèle conceptuel est élaboré afin de décrire le cheminement des radionucléides et des substances chimiques dans l'environnement depuis la source jusqu'aux organismes vivants (cibles).

2 Deuxième étape : Estimation de l'exposition

La deuxième étape vise à évaluer quantitativement le contact entre une substance chimique ou un radionucléide présent dans l'environnement et un organisme vivant. Pour chacun des récepteurs écologiques et humains ciblés, des doses d'exposition sont calculées pour les radionucléides ou pour chacune des substances chimiques d'intérêt en tenant compte de leur présence dans les divers médias environnementaux (air, sol, eau, aliments) et des différentes voies d'entrée dans l'organisme (ex. : inhalation, contact avec la peau, ingestion). Les calculs sont faits à partir de données mesurées directement dans le milieu et à l'aide des résultats de modèles mathématiques qui tiennent compte du devenir des substances dans l'air, l'eau et le sol.

3 Troisième étape : Évaluation toxicologique

La troisième étape consiste à décrire, à partir d'une revue exhaustive de la littérature, les principaux effets observés chez les plantes, les animaux et l'humain relatifs à une exposition à des radionucléides ou à des substances chimiques. Cette étape permet de sélectionner des valeurs de référence (doses ou concentrations limites) qui sont reconnues pour n'avoir aucun effet significatif sur les plantes, les animaux ou les humains.

4 Quatrième étape : Caractérisation du risque

La quatrième étape consiste à évaluer le potentiel de risque associé à un radionucléide ou une substance chimique d'intérêt en comparant les doses d'exposition estimées pour chacun des récepteurs écologiques ou humains avec les valeurs de référence ou les doses limites reconnues. Les hypothèses et scénarios associés aux calculs des doses d'exposition et aux valeurs de référence sont aussi évalués.

5 Cinquième étape : Gestion du risque

La cinquième étape met en perspective les résultats de la caractérisation du risque dans un contexte de gestion environnementale. L'évaluation du risque pourra contribuer à l'effort de révision du programme de surveillance de l'environnement du complexe nucléaire de Gentilly en y ajoutant, au besoin, le suivi de certaines composantes de l'écosystème en relation avec les substances chimiques ou les radionucléides présents dans l'environnement.

Radionucléide :

Un radionucléide (atome radioactif) est caractérisé par sa demi-vie radioactive et par les rayonnements qu'il émet.

Effet biologique néfaste :

Perturbation des cellules de l'organisme vivant à la suite d'une exposition plus ou moins prolongée aux rayonnements ionisants ou à des substances chimiques.

1

**PREMIÈRE ÉTAPE :
IDENTIFICATION DU DANGER OU ÉVALUATION DU PROBLÈME**

- Caractéristiques des installations
- Description des composantes de l'écosystème
- Sélection des substances d'intérêt
- Élaboration d'un modèle conceptuel

2

**DEUXIÈME ÉTAPE :
ESTIMATION DE L'EXPOSITION**

- Choix des groupes cibles, des médias environnementaux et des voies d'exposition
- Définition des scénarios d'exposition
- Estimation des doses d'exposition associées aux scénarios d'exposition retenus

3

**TROISIÈME ÉTAPE :
ÉVALUATION TOXICOLOGIQUE**

- Revue des données toxicologiques existantes
- Détermination des estimateurs de risque (VESEO*, doses de référence et coefficients de cancérogénicité)
- Interaction avec d'autres substances

4

**QUATRIÈME ÉTAPE :
CARACTÉRISATION DU RISQUE**

- Description des méthodes retenues pour le calcul du risque
- Estimation des potentiels de risque pour chaque substance d'intérêt choisie
- Identification des éléments d'incertitude

5

**CINQUIÈME ÉTAPE :
GESTION DU RISQUE**

- Évaluation des choix et des hypothèses
- Au besoin, identification des mesures de suivi additionnelles

*VESEO : Valeur d'exposition sans effet observé

Première étape : évaluation de la problématique

Sujets visés par l'évaluation des risques écotoxicologiques et toxicologiques

Les composantes valorisées de l'écosystème (CVÉ)

L'identification des CVÉ vise essentiellement à cibler les récepteurs écologiques et humains qui doivent être pris en considération dans l'évaluation des risques écotoxicologiques et toxicologiques.

Parmi les composantes environnementales présentes dans les zones d'étude délimitées pour l'ÉRÉT, certaines ont été qualifiées de CVÉ à partir des critères de sélection suivants :

- la protection légale ;
- l'importance écologique ;

- la sensibilité d'un habitat ;
- l'importance socio-économique ;
- les considérations d'ordre esthétique.

Un total de 38 CVÉ ont été identifiées dans les zones d'étude. La liste de ces CVÉ ainsi que la justification ayant présidé à leur choix apparaissent au tableau 1.

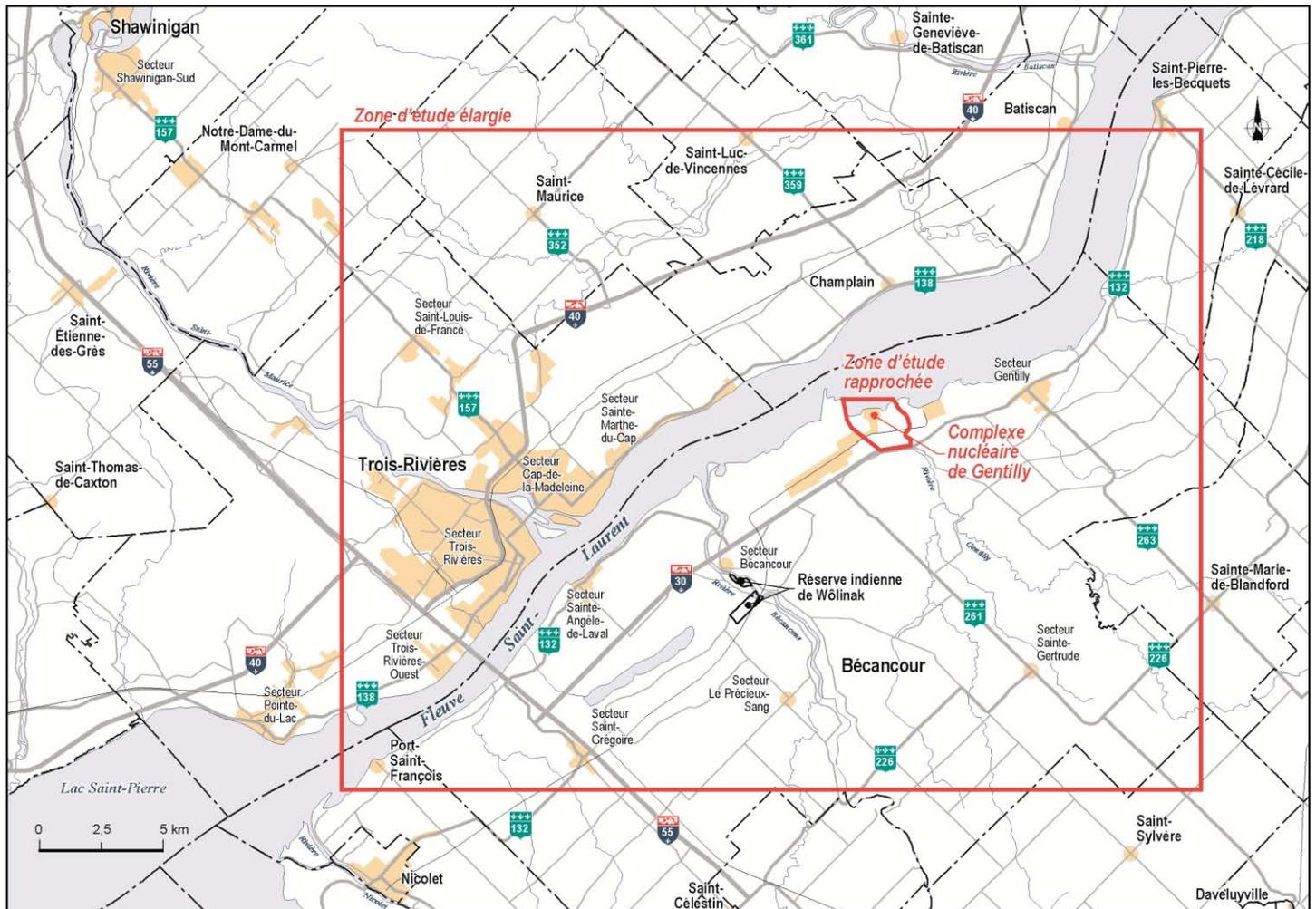
Validation des CVÉ

La validation des CVÉ des zones d'étude a été réalisée dans le cadre d'ateliers de travail réunissant des représentants de ministères provinciaux et fédéraux, de MRC et de municipalités, et de certains autres organismes.

Composantes valorisées de l'écosystème :

Les CVÉ sont : « 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 » (Réf. : Agence canadienne d'évaluation environnementale).

Localisation des zones d'étude de l'ÉRÉT



Première étape : évaluation de la problématique (suite)

Tableau 1 : Identification et justification des composantes valorisées de l'écosystème (CVÉ)

Composante valorisée de l'écosystème	Justification				
	Protection légale	Importance écologique	Sensibilité de l'habitat	Importance socio-économique	Esthétisme
Précipitations		✓			
Aquifère	✓	✓	✓		
Sédiments		✓			
Air ambiant		✓			
Sol		✓			
Fleuve Saint-Laurent		✓	✓	✓	✓
Rivières Bécancour, Godefroy, Saint-Maurice et Champlain		✓	✓		
Rivière Gentilly, décharges du Portage et Lavigne		✓	✓		
Canal de rejet		✓			
Battures de Gentilly		✓	✓		
Herbier aquatique		✓	✓		
Frayères connue et potentielle		✓	✓		
Aire de concentration d'oiseaux aquatiques	✓	✓			
Aménagement faunique - Canards Illimités	✓	✓			
Habitat du rat musqué	✓	✓			
Milieu humide		✓	✓		
Érablière argentée		✓			
Milieu forestier		✓			
Zone de friche herbacée et arbustive		✓			
Aire de confinement du cerf de Virginie	✓	✓		✓	
Espèces menacées, vulnérables ou en péril	✓	✓	✓		
Réserve écologique Léon-Provancher / lac Saint-Paul	✓	✓	✓		
Réserve écologique de l'Île-aux-Sternes	✓	✓	✓		
Parc écologique de la rivière Godefroy		✓	✓	✓	✓
Parc régional de la rivière Gentilly		✓		✓	✓
Centre de la biodiversité du Québec		✓		✓	✓
Parc de l'Île Saint-Quentin		✓		✓	✓
Pêcheurs et chasseurs sportifs				✓	
Agriculture	✓			✓	
Pêche commerciale				✓	
Nautisme				✓	
Sites récréotouristique, historique et culturel reconnus	✓			✓	✓
Infrastructures et services de l'agglomération de Trois-Rivières				✓	
Parc industriel et portuaire de Bécancour				✓	
Travailleurs du parc industriel et portuaire de Bécancour	✓			✓	
Travailleurs des centrales de Gentilly-2 et de Bécancour	✓			✓	
Communauté autochtone de Wôlinak	✓			✓	
Population régionale	✓			✓	

Les récepteurs

Comme il est impossible d'étudier les effets des différents radionucléides ou substances chimiques d'intérêt sur chaque organisme vivant identifié dans les zones d'étude de l'ÉRÉT, une sélection s'est imposée.

Ainsi, pour chacune des CVÉ, des récepteurs écologiques et humains d'intérêt ont été identifiés pour représenter les divers groupes d'organismes vivants.

Les récepteurs écologiques d'intérêt ont été sélectionnés à partir de certains critères, soit parce qu'ils sont :

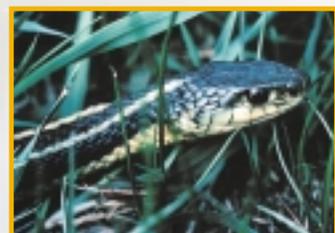
- rares, vulnérables ou en péril ;
- dominants ou abondants ;
- valorisés ;
- présents à proximité du site ou sur le site.

Les récepteurs humains ont pour leur part été choisis essentiellement en fonction du dernier critère.

Parmi les récepteurs écologiques d'intérêt, ceux qu'il convenait de retenir pour réaliser l'évaluation des risques devaient présenter trois caractéristiques :

- être susceptibles d'être exposés aux rejets des installations du complexe nucléaire de Gentilly ;
- avoir fait l'objet de suffisamment de documentation des points de vue toxicologique, écotoxicologique ou
- être représentatifs des espèces ou des groupes d'être vivants retenus.

Un total de treize récepteurs écologiques et de trois récepteurs humains ont été identifiés pour réaliser l'évaluation des risques. Ils sont présentés au tableau 2.



Première étape : évaluation de la problématique (suite)

Tableau 2 : Les récepteurs écologiques et humains retenus

Milieu	Groupes d'êtres vivants	Récepteurs retenus
Aquatique	Plantes aquatiques	Macrophytes
	Invertébrés aquatiques	Invertébrés benthiques
	Poissons	Carpe Grand brochet
Terrestre	Plantes terrestres	Érable argenté
	Invertébrés terrestres	Ver de terre
	Amphibiens	Grenouille léopard
	Reptiles	Couleuvre rayée
	Oiseaux	Canard noir
		Goéland à bec cerclé
	Mammifères	Campagnol
		Raton laveur
Cerf de Virginie		
Humains	Adulte, enfant	
	Travailleur	



Les principaux rejets dans l'environnement

Sources de rejets

Les sources de rejets de radionucléides et de substances chimiques dans l'environnement sont directement associées à l'exploitation de la centrale nucléaire de Gentilly-2 et de ses installations de stockage de même qu'à l'exploitation de la centrale de Bécancour.

Les principales sources d'émissions et de rejets identifiées sont les suivantes :

■ Centrale nucléaire de Gentilly-2 :

- la cheminée du bâtiment de service ;
- le canal de rejet ;
- le système de traitement des eaux sanitaires ;
- les infrastructures de traitement de l'eau du canal d'aménée ;
- les laboratoires et le centre de récupération des matières dangereuses.

■ Aire de stockage des déchets radioactifs (ASDR)

■ Centrale de Bécancour :

- les turbines à gaz ;
- les réservoirs de carburant diesel ;
- le quai de dépotage ;
- les puisards d'eau pluviale.

Les substances chimiques et les radionucléides associés à ces sources sont rejetés dans l'air et dans le fleuve Saint-Laurent par le biais de trois voies principales : la cheminée, les turbines à gaz et le canal de rejet. L'ASDR constitue quant à elle une source d'émissions fugitives de radionucléides dans l'air ambiant.

À l'ASSCI, la conception étanche des installations et les nombreuses mesures de contrôle et de surveillance qui y sont effectuées font en sorte que ses émissions et rejets sont infimes.

Une fois dans l'air et dans l'eau, les radionucléides et les substances chimiques peuvent être transportés à de grandes distances ou se déposer plus ou moins rapidement au niveau du sol ou des sédiments. Ils peuvent par la suite être absorbés par la faune et la flore, s'éliminer graduellement de l'écosystème ou s'accumuler dans les organismes vivants.

Radionucléides et substances chimiques considérés pour l'évaluation

L'évaluation des risques considère les radionucléides et les substances chimiques libérés dans l'environnement qui peuvent présenter un risque pour les organismes vivants. La sélection des radionucléides et substances chimiques d'intérêt susceptibles d'être rejetés dans l'environnement par le biais des sources de rejets et d'émissions du complexe nucléaire de Gentilly a été réalisée en fonction de plusieurs critères spécifiques.

Le processus de sélection a conduit à une liste finale comprenant 71 radionucléides et 29 substances chimiques qui ont été considérés pour l'évaluation des risques. Parmi les 71 radionucléides d'intérêt rejetés par le complexe nucléaire de Gentilly, le tritium (³H) représente le plus important. En raison des rejets dans l'environnement très faibles et des informations toxicologiques et écotoxicologiques inexistantes pour certains composés, parmi les substances chimiques, seul le benzo(a)pyrène du groupe des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) a fait l'objet d'une évaluation.

Répartition des radionucléides et substances chimiques en fonction des sources d'émissions et de rejets

Centrale nucléaire de Gentilly-2 (émissions dans l'air)

- **49 radionucléides :** ³H, ¹⁴C, ⁶⁰Co, ⁸⁵Kr (m), ⁸⁵Kr, ⁸⁷Kr, ⁸⁸Kr, ⁸⁸Rb, ⁸⁹Rb, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ⁹¹Sr, ⁹²Sr, ⁹⁵Zr, ⁹⁷Zr, ⁹⁵Nb, ⁹⁷Nb, ¹⁰³Ru, ¹⁰⁶Ru, ¹¹⁰Ag, ¹¹¹Ag, ¹²⁴Sb, ¹²⁵Sb, ¹³⁰I, ¹³¹I, ¹³²I, ¹³³I, ¹³⁴I, ¹³⁵I, ¹³¹Xe, ¹³³Xe, ¹³³Xe (m), ¹³⁵Xe, ¹³⁵Xe (m), ¹³⁸Xe, ¹³⁴Cs, ¹³⁶Cs, ¹³⁸Cs, ¹⁴⁰Ba, ¹⁴⁰La, ¹⁴¹La, ¹⁴²La, ¹⁴¹Ce, ¹⁴³Ce, ¹⁴⁴Ce, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Pu, ²⁴¹Am
- **1 HAP :** benzo(a)pyrène

Centrale nucléaire de Gentilly-2 (rejets dans l'eau)

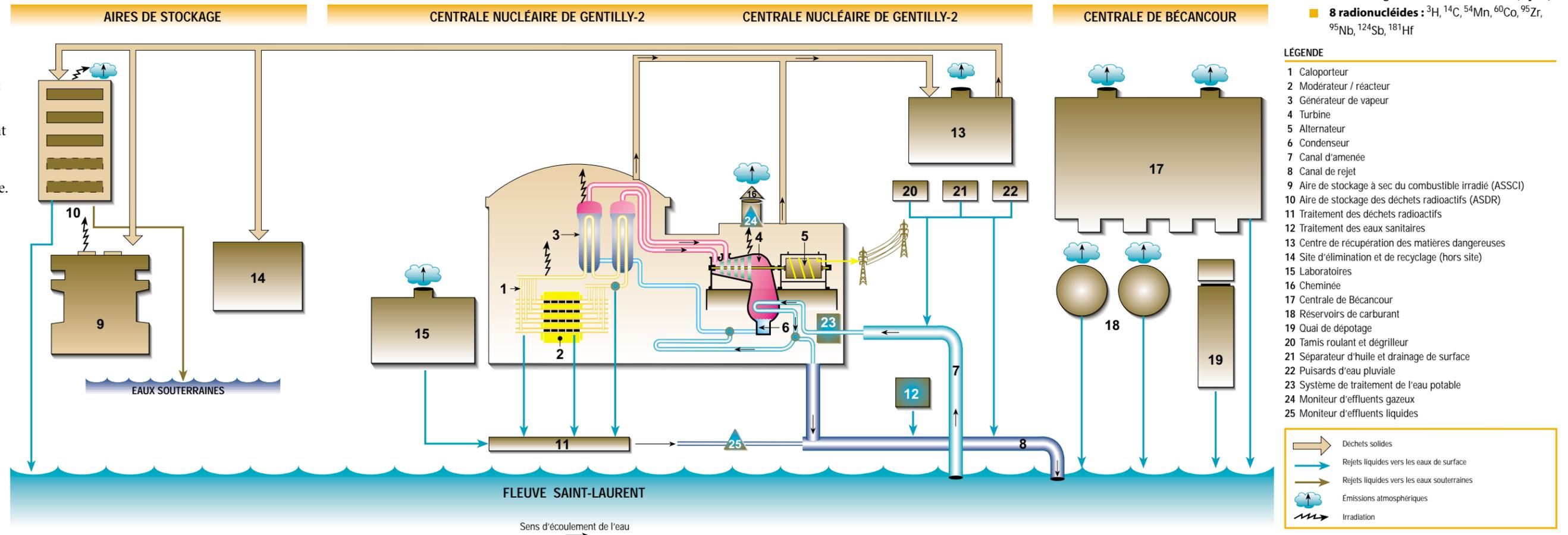
- **42 radionucléides :** ³H, ¹⁴C, ⁵¹Cr, ⁵⁴Mn, ⁵⁹Fe, ⁶⁰Co, ⁶⁵Zn, ⁸⁶Rb, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb, ⁹⁹Mo, ¹⁰³Ru, ¹⁰⁶Ru, ¹¹⁰Ag, ¹¹¹Ag, ¹²⁴Sb, ¹²⁵Sb, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁶Cs, ¹³⁷Cs, ¹⁴⁰Ba, ¹⁴⁰La, ¹⁴¹Ce, ¹⁴³Ce, ¹⁴⁴Ce, ¹⁵⁴Eu, ¹⁵⁵Eu, ¹⁵⁶Eu, ²³⁴U, ²³⁵U, ²³⁸U, ²³⁸Pu, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Pu, ²⁴¹Am, ²⁴³Am, ²⁴²Cm, ²⁴⁴Cm

Centrale de Bécancour (émissions dans l'air)

- **5 radionucléides :** ¹⁴C, ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³⁸U, ²³²Th
- **14 HAP :** acénaphène, acénaphylène, anthracène, benzo(a)anthracène, benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, chrysène, dibenzo(a,h)anthracène, fluoranthène, fluorène, indéno(1,2,3-c,d)pyrène, phénanthrène, pyrène

Aire de stockage de déchets radioactifs (rejets)

- **8 radionucléides :** ³H, ¹⁴C, ⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb, ¹²⁴Sb, ¹⁸¹Hf



Deuxième étape : estimation de l'exposition

Les scénarios d'exposition des récepteurs écologiques et humains

L'estimation de l'exposition vise à calculer la quantité de radionucléides ou de substances chimiques auxquels les récepteurs écologiques et humains sont exposés par le biais des différentes voies d'exposition (inhalation, ingestion, contact, irradiation externe) et scénarios prédéfinis.

Dans le cadre de l'évaluation des risques, différents scénarios d'exposition décrivant les liens possibles entre les sources d'émissions, les médias environnementaux, les points d'exposition où se produisent le contact avec les substances rejetées, les récepteurs potentiels et les voies d'entrée dans l'organisme ont été déterminés. Les radionucléides ou substances chimiques peuvent se retrouver dans l'air, l'eau, le sol et les

sédiments, et se déplacer à travers l'écosystème jusqu'aux points où une exposition aura lieu. Les organismes vivants pourront alors être exposés aux émissions ou rejets présents dans l'air qu'ils respirent, dans la nourriture qu'ils consomment et dans l'eau qu'ils boivent. Dans le cas des radionucléides, l'exposition peut aussi se produire à l'extérieur de l'organisme, par irradiation externe directe.

À titre d'exemple, les invertébrés benthiques sont en contact direct avec les sédiments tandis que l'érable argenté tire lui-même ses ressources du sol. Pour d'autres organismes, l'exposition se fait principalement par le biais de la chaîne alimentaire. Par exemple, le goéland à bec cerclé consomme des poissons, qui ont mangé des invertébrés benthiques, qui sont eux-mêmes en contact avec les sédiments. L'enfant boit du lait de la vache qui a consommé des plantes fourragères qui sont en contact avec le sol.



Deuxième étape : estimation de l'exposition (suite)

Calcul des doses d'exposition

Dans le cadre de l'évaluation des risques, les doses d'exposition ont été calculées à partir d'équations mathématiques en considérant une ou plusieurs voies d'entrée des radionucléides ou substances chimiques dans l'organisme, de façon à refléter les scénarios d'exposition définis spécifiquement pour le complexe nucléaire de Gentilly. À titre d'exemple, pour l'humain, l'ingestion d'eau n'a pas été considérée dans le calcul de l'exposition puisque la population locale est alimentée par l'aqueduc municipal.

Calcul de la dose d'exposition aux radionucléides

Chez l'humain, la dose efficace (DE) associée à l'exposition aux rayonnements ionisants se calcule en additionnant toutes les expositions reçues au cours d'une année provenant des différentes voies d'entrée dans l'organisme. Cette dose s'exprime en sievert par an (Sv/a). Pour les plantes et les animaux, on parle plutôt de dose absorbée (DA), exprimée en gray par an (Gy/a).

Calcul de la dose d'exposition aux substances chimiques

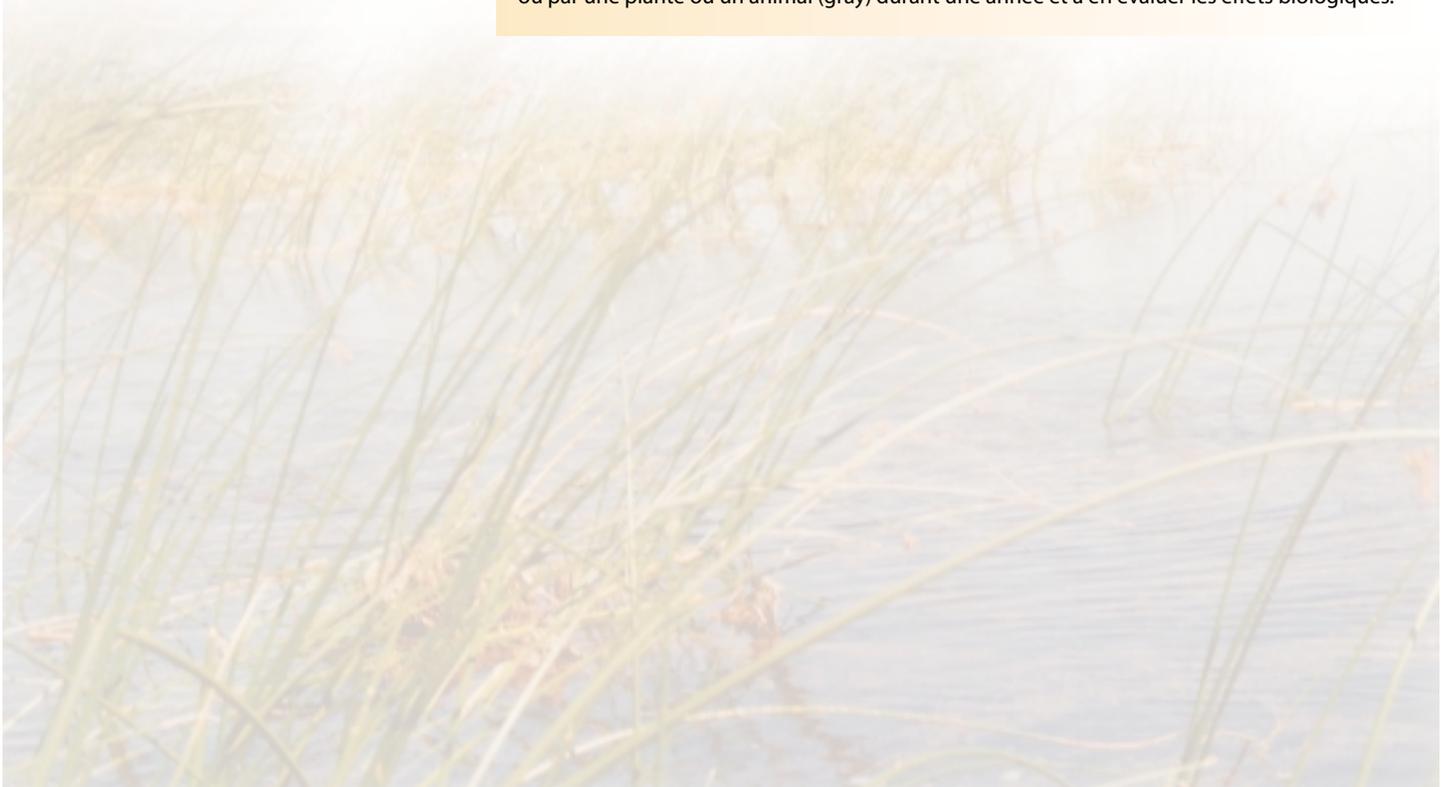
La dose d'exposition journalière estimée (DEJ) d'une substance chimique correspond au produit de la concentration d'une substance dans un média (ex. : aliments) par le taux de contact (ex. : taux d'ingestion de fruits) divisé par le poids corporel de l'organisme. Une dose est calculée pour chaque substance individuelle et par voie d'exposition. Elle est exprimée en milligramme de substance absorbée par kilogramme de poids corporel par jour (mg/kg/jour). Au complexe nucléaire de Gentilly, les doses estimées de rayonnements ionisants liés aux rejets sont inférieures à 0,02 mSv par an. Par comparaison, la dose reçue à partir d'un rayonnement d'origine naturelle est d'environ 2 mSv par an.

Le modèle Environmental IMPACT™

Le logiciel *Environmental Integrated Model for the Probabilistic Assessment of Contaminant Transport* (Environmental IMPACT™) permet d'estimer les doses d'exposition aux radionucléides et aux substances chimiques. Le logiciel fonctionne sur la base de scénarios d'exposition bâtis autour de l'identification de la source de rejets, des caractéristiques des milieux terrestre et aquatique environnants, du cheminement des substances d'intérêt dans ces milieux et des caractéristiques des récepteurs écologiques ou humains cibles. Le logiciel contient donc toutes les équations et les outils mathématiques nécessaires aux calculs de l'exposition. De plus, son utilisation est en voie d'être acceptée par la CCSN.

Sievert et gray :

Unités de mesure du système international servant à mesurer la dose reçue par l'humain (sievert) ou par une plante ou un animal (gray) durant une année et à en évaluer les effets biologiques.



Troisième étape : évaluation des effets et limites recommandées

Radionucléides

Plantes et animaux

De manière générale, une exposition plus ou moins longue aux rayonnements ionisants peut entraîner des effets biologiques sur les organismes vivants. Les conséquences sur l'organisme vont dépendre du type de rayonnement, de la dose absorbée et de la durée de l'exposition. Les effets sont multiples et peuvent affecter les divers niveaux d'organisation du vivant (lésions aux cellules et aux tissus) qui auront des conséquences plus ou moins importantes sur la santé générale de l'organisme.

Selon les recherches menées par plusieurs organisations internationales, la dose d'exposition limite à ne pas dépasser afin de prévenir l'apparition d'effets biologiques nuisibles pour les plantes et les animaux terrestres et aquatiques associés à une exposition prolongée aux rayonnements ionisants est de 3,65 grays par année (Gy/a).

Humains

Pour les humains, une exposition plus ou moins longue aux rayonnements ionisants peut causer des dommages au matériel génétique (ex. : ADN) et induire différents types de cancer.

Dans le contexte de l'exploitation des centrales nucléaires, les limites d'exposition de routine pour les travailleurs et le public sont fixées par la CCSN. La limite de dose à laquelle un travailleur du secteur nucléaire peut être exposé varie entre 50 et 100 millisieverts (mSv) pour des périodes allant de 1 à 5 ans. Cette limite est de 1 mSv par an pour une personne de la population en général soumise à une exposition provenant de sources artificielles.

Substances chimiques : HAP

Plantes et animaux

Plusieurs études ont démontré qu'une exposition à plus ou moins long terme aux HAP peut engendrer des effets non cancérigènes sur la croissance, la survie ou la reproduction des plantes et des animaux. Les données concernant les effets cancérigènes sont plus limitées et moins concluantes.

Les valeurs limites reconnues à ne pas dépasser pour s'assurer de l'absence de risque associé à une exposition aux HAP sont disponibles pour les mammifères uniquement. Elles sont basées sur les doses maximales sans effet observé définies chez la souris et ajustées pour les différentes espèces de mammifères considérées. Ces doses varient de 0,15 à 0,95 milligramme de substances par kilogramme de poids par jour (mg/kg/jour).

Humains

À l'instar des plantes et des animaux, l'exposition plus ou moins prolongée aux HAP entraîne chez l'humain différents effets, tels une diminution de la capacité respiratoire et des irritations aux yeux. Bien que des études ne permettent pas d'établir une relation causale entre le cancer et l'exposition aux HAP, plusieurs organisations nationales de la santé reconnaissent qu'il existe une augmentation de l'incidence de cancers, principalement du poumon et de la peau, chez les travailleurs exposés à des mélanges contenant des HAP, et sur leur rôle probable dans l'induction de ces cancers.

Les valeurs limites utilisées pour s'assurer que l'exposition des humains aux HAP ne pose aucun risque pour la santé s'établissent à 3,9 mg/kg/jour⁻¹ pour la voie *inhalation d'air* et à 7,3 mg/kg/jour⁻¹ pour la voie *ingestion d'aliments ou d'eau*.

Comment sont calculées les valeurs de référence ou limites dites acceptables?

Le rapport qui existe entre la quantité d'une substance administrée à un organisme vivant (la dose) et l'effet sur la santé (la réponse) est appelé la relation dose-réponse. Cette relation est généralement déterminée au cours d'expériences en laboratoire utilisant des animaux. C'est à partir de la relation dose-réponse que les valeurs de référence ou limites dites acceptables sont déduites.



Quatrième étape : caractérisation du risque

Comment évalue-t-on les risques?

La caractérisation du risque consiste à comparer les doses d'exposition estimées pour chacun des récepteurs écologiques et humains aux valeurs de référence ou limites acceptables établies par les gouvernements. En général, une dose d'exposition estimée se situant en dessous des valeurs de référence indique que l'exposition aux radionucléides ou aux substances chimiques ne pose vraisemblablement pas de risque important.

À l'inverse, une dose d'exposition estimée se situant au-dessus des valeurs de référence indique un potentiel de risque découlant de l'exposition aux radionucléides ou aux substances chimiques.

L'exploitation du complexe nucléaire de Gentilly en situation normale comporte-t-elle un risque pour les plantes, les animaux et les humains?

L'ÉRÉT a permis de vérifier si les installations du complexe nucléaire de Gentilly comportent un risque potentiel pour les plantes, les animaux et les humains.

Dans l'ensemble, aucun potentiel de risque n'a été identifié pour les récepteurs écologiques terrestres, les enfants, les adultes et les travailleurs du complexe nucléaire, et ce, tant en ce qui a trait aux substances chimiques qu'aux radionucléides.

Toutefois, un potentiel de risque, quoique négligeable, a été identifié pour certains récepteurs écologiques aquatiques (plantes, invertébrés aquatiques et poissons) exposés aux radionucléides. Comme les hypothèses de départ sont conservatrices, ces résultats ne permettent pas de confirmer de façon absolue un potentiel de risque significatif pour ces organismes.

Le tableau 3 dresse un bilan des résultats obtenus dans le cadre de l'ÉRÉT.



Tableau 3 : Bilan de l'évaluation des risques écotoxicologiques et toxicologiques au site de Gentilly

Milieu	Média / Groupe taxonomique / Groupe cible	Média environnemental ou récepteurs écologiques et humains d'intérêt	Radio- nucléides	Substances chimiques d'intérêt			
				HAP	Huiles usées	Métaux	Autres substances*
Composante abiotique							
Atmosphérique	Air	Air (extérieur)					
		Déposition sèche et humide					
Aquatique	Sédiments	Canal de rejet					
		Fleuve Saint-Laurent					
	Eau	Canal de rejet					
		Fleuve Saint-Laurent					
Terrestre	Sol	Rhizosphère					
	Eau	Eaux de surface et d'infiltration					
		Nappe phréatique					
Composante biotique							
Aquatique	Plantes aquatiques	Phytoplanton					
		Macrophytes					
	Invertébrés aquatiques	Invertébrés benthiques					
	Poissons	Carpe					
Grand brochet							
Terrestre	Plantes terrestres	Érable argenté					
		Légume à feuilles					
		Légume à racines					
		Fourrage					
	Invertébrés terrestres	Ver de terre					
	Amphibiens et reptiles	Grenouille léopard					
		Couleuvre rayée					
	Oiseaux	Canard noir					
		Goéland à bec cerclé					
		Poule (oeuf)					
		Poule (viande)					
	Mammifères	Campagnol					
		Raton laveur					
Cerf de Virginie							
Boeuf (viande)							
		Vache (lait)					
Composante humaine							
Terrestre	Humains	Enfant					
		Adulte					
		Travailleur					

* Note : autres substances (chlore, hydrazine, morpholine).

- Mesures environnementales ou valeurs estimées adéquates
- Données manquantes ou incomplètes
- Quantité rejetée ou émise dans l'environnement négligeable ou non significative
- Potentiel de risque (IR≥1)
- Potentiel de risque négligeable ou non significatif en raison du conservatisme des hypothèses associées à une analyse de 1^{er} niveau
- Aucun potentiel de risque (IR<1)
- Risque non calculé en raison des valeurs de référence toxicologiques non disponibles
- Risque non calculé : récepteur utilisé seulement pour le calcul de la dose pour l'humain
- Risque non calculé et probablement négligeable en raison des faibles quantités émises ou susceptibles d'être émises dans l'environnement

Cinquième étape : gestion du risque

Est-il pertinent d'ajouter au programme de surveillance actuel des mesures de radionucléides ou de substances chimiques qui ne sont pas considérés présentement?

Les résultats de l'ÉRET ont permis d'élaborer certaines recommandations relatives au programme de surveillance environnementale actuellement appliqué au complexe nucléaire de Gentilly.

Les substances chimiques

En ce qui concerne les substances chimiques, bien qu'aucun risque significatif n'ait été identifié pour les récepteurs écologiques et humains en raison des faibles quantités émises et du respect des normes ou critères en vigueur, il est tout de même recommandé que le programme de surveillance :

- considère le suivi des différentes substances chimiques à la source et ;
- s'assure que les pratiques d'exploitation des installations :
 - respectent les normes et critères en vigueur ;
 - protègent la qualité de l'environnement.

Les radionucléides

Dans le cas des radionucléides, considérant qu'il y aurait un risque potentiel pour certains organismes aquatiques :

- il est recommandé de procéder à des mesures environnementales complémentaires sur certains d'entre eux, notamment les plantes aquatiques et les invertébrés aquatiques et les poissons ;
- il est suggéré d'effectuer des mesures environnementales supplémentaires dans l'eau et les sédiments du canal de rejet ainsi que du fleuve.

Le tableau 4 présente la sélection des radionucléides pour le programme de surveillance environnementale du complexe nucléaire de Gentilly.



Tableau 4 : Sélection des radionucléides pour le programme de surveillance environnementale

Milieu	Média / Groupe taxonomique / Groupe cible	Média environnemental ou récepteurs écologiques et humains d'intérêt	Radionucléides					
			Programme actuel			Mesures additionnelles proposées		
			Tritium	Carbone-14	Autres	Tritium	Carbone-14	Autres
Composante abiotique								
Atmosphérique	Air	Air (extérieur)	■	■	■	■	■	■
		Déposition sèche et humide	■	■	■	■	■	■
Aquatique	Sédiments	Canal de rejet	■	■	■	■	■	■
		Fleuve Saint-Laurent	■	■	■	■	■	■
	Eau	Canal de rejet	■	■	■	■	■	■
		Fleuve Saint-Laurent	■	■	■	■	■	■
Terrestre	Sol	Rhizosphère	■	■	■	■	■	■
	Eau	Eaux de surface et d'infiltration	■	■	■	■	■	■
		Nappe phréatique	■	■	■	■	■	■
Composante biotique								
Aquatique	Plantes aquatiques	Phytoplanton	■	■	■	■	■	■
		Macrophytes	■	■	■	■	■	■
	Invertébrés aquatiques	Invertébrés benthiques	■	■	■	■	■	■
		Poissons	Carpe	■	■	■	■	■
		Grand brochet	■	■	■	■	■	
Terrestre	Plantes terrestres	Érable argenté	■	■	■	■	■	■
		Légume à feuilles	■	■	■	■	■	■
		Légume à racines	■	■	■	■	■	■
		Fourrage	■	■	■	■	■	■
	Invertébrés terrestres	Ver de terre	■	■	■	■	■	■
	Amphibiens et reptiles	Grenouille léopard	■	■	■	■	■	■
		Couleuvre rayée	■	■	■	■	■	■
	Oiseaux	Canard noir	■	■	■	■	■	■
		Goéland à bec cerclé	■	■	■	■	■	■
		Poule (oeuf)	■	■	■	■	■	■
		Poule (viande)	■	■	■	■	■	■
	Mammifères	Campagnol	■	■	■	■	■	■
		Raton laveur	■	■	■	■	■	■
Cerf de Virginie		■	■	■	■	■	■	
Boeuf (viande)		■	■	■	■	■	■	
Vache (lait)		■	■	■	■	■	■	
Composante humaine								
Terrestre	Humains	Enfant	■	■	■	■	■	■
		Adulte	■	■	■	■	■	■
		Travailleur	■	■	■	■	■	■

- Radionucléide mesuré
- Radionucléide mesuré ponctuellement
- Aucune mesure pour certains radionucléides d'intérêt
- Radionucléides à mesurer
- Aucune mesure additionnelle recommandée
- Aucune mesure

Bilan de l'ÉRÉT

Les résultats de l'ÉRÉT indiquent que les émissions et les rejets de substances chimiques et de radionucléides provenant du site de Gentilly ne présenteraient aucun potentiel de risque pour la plupart des animaux, des plantes et des humains.

Cependant, certains organismes aquatiques (invertébrés) montreraient

un potentiel de risque relié à une exposition aux radionucléides rejetés au fleuve par le biais du canal de rejet.

Considérant qu'il s'agit d'une ÉRET de premier niveau (conservatrice), une approche de deuxième niveau, plus réaliste, pourrait mettre en évidence l'absence de risque.

Dans ce contexte, certains organismes aquatiques ne faisant pas partie du programme de surveillance de l'environnement d'Hydro-Québec pourraient y être intégrés afin de raffiner les estimations de l'exposition de ces récepteurs. ■



La synthèse de l'Évaluation des risques écotoxicologiques et toxicologiques (ÉRÉT) associée à l'exploitation des centrales de Gentilly-2 et de Bécancour a été préparée sous la responsabilité de :

- Hydro-Québec Production thermique et nucléaire

Conception et édition :



Infographie : Francine Paquet, graphiste



