

Résultats de la surveillance de l'environnement des installations de Gentilly-2

Rapport annuel 2019

Rapport technique G2-RT-2020-00518-001

Version finale

Avril 2020

Résultats de la surveillance de l'environnement des installations de Gentilly-2

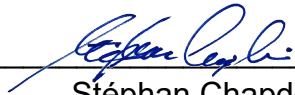
Document ☒ Public
☐ Non public
☐ Confidentiel

Rapport annuel 2019

Rapport technique G2-RT-2020-00518-001

Version finale

Avec la participation de WSP

Par : 
Stéphan Chapdelaine

Chargé d'équipe – Environnement – Hydro-Québec


Mélanie Garceau

Environnement – Hydro-Québec

Approuvé par : 
Louis-Philippe Houle

Chef Expertise Environnement naturel et humain – Hydro-Québec


CN2262
2020.04.28
11:17:06 -04'00'

Donald Olivier, ing.
Directeur Installations de Gentilly-2 – Hydro-Québec

Hydro-Québec
Avril 2020

Sommaire

En vertu de la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires*, l'ensemble des volets qu'impliquent l'opération de systèmes et le déclassement d'une installation nucléaire est réglementé par la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN). Pour les installations de Gentilly-2, les exigences légales à l'égard de ces activités sont toutes assumées par Hydro-Québec, dont celles de la surveillance de l'environnement et des rejets radiologiques. À ce propos, la CCSN délivrait à Hydro-Québec, en juin 2016, un *Permis de déclassement d'un réacteur de puissance* (PDRP 10.00/2026). Ce permis, valide jusqu'en juin 2026, encadre les opérations qui subsistent toujours aux installations de Gentilly-2. Ce permis est également assorti de conditions, regroupées en une quinzaine de domaines de sûreté et de réglementation et toutes colligées au *Manuel des conditions de permis* (MCP-Gentilly-2-R001). La plus récente et actuelle version de ce document fut émise par la CCSN le 25 février 2019.

Deux différents plans de surveillance de l'environnement sont toujours appliqués aux installations de Gentilly-2. Ils couvrent distinctement les volets physicochimique et radiologique. Avant même leur déploiement, ils ont été approuvés respectivement par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) et par la CCSN. Bien que l'installation nucléaire de Gentilly-2 ait définitivement cessé de produire de l'électricité le 28 décembre 2012, ces deux plans de surveillance demeurent en vigueur pour la période où l'installation est en état de stockage sûr. Ils statuent entre autres sur les modalités d'échantillonnage et d'analyse de plusieurs matrices environnementales, toutes susceptibles d'être impactées par la dispersion des effluents liquides ou gazeux. Selon les paramètres, ces analyses environnementales sont réalisées aux laboratoires d'Hydro-Québec ou par des laboratoires externes accrédités. Les différentes rubriques des plans de surveillance sont basées sur des aspects réglementés, des constats issus d'études environnementales antérieures ou sur certaines situations spécifiques qui doivent faire l'objet d'une attention particulière. Au gré de l'avancement de la préparation à la phase de stockage sous surveillance, leur adaptation permet notamment d'y intégrer certains éléments découlant de nouvelles exigences réglementaires, ou d'autres jugés pertinents par Hydro-Québec.

L'année 2019 fut marquée de multiples réalisations et travaux importants qui, à terme, mèneront à l'amorce de la période dite de stockage sous surveillance des installations de Gentilly-2. Nombre de ces activités prévues au déclassement en cours ont impliqué des variations aux taux de rejet des effluents radioactifs liquides et gazeux, de même qu'à celui de la production de déchets radioactifs solides. En 2019, alors que les valeurs de sommation annuelle de tous les radionucléides présents aux effluents gazeux furent en baisse marquée, en comparaison de l'année précédente, la radioactivité mesurée aux effluents liquides fut quant à elle à la hausse.

Par ailleurs, toutes les quantifications de rejets de l'année 2019 sont demeurées en deçà d'une valeur équivalente à un dixième de pour cent des limites opérationnelles dérivées (LOD) annuelles spécifiques à Gentilly-2, respectant du même coup l'objectif interne d'exploitation fixé à 1 % LOD. Pour les rejets gazeux, l'activité radiologique maximale recensée fut équivalente à 0,07 % LOD (tritium), sur une base hebdomadaire, alors que pour les rejets liquides, l'activité radiologique maximale fut plutôt équivalente à 0,02 % LOD (tritium), mais cette fois sur une base mensuelle.

À un rythme relativement soutenu entre les mois de février et décembre 2019, Hydro-Québec a également poursuivi ses travaux de traitement des inventaires de chiffons contaminés, par trempage et désorption. La gestion de ce type de déchets radioactifs de faible activité a occasionné des hausses sporadiques des concentrations de tritium aux effluents liquides et gazeux de l'installation nucléaire. Il en fut de même pour d'autres variations de tritium aux effluents gazeux, qui elles peuvent être liées aux activités de mise en barils de l'eau lourde de grade modérateur. Cette étape est d'ailleurs préalable à son transfert à destination du site d'un autre détenteur de *Permis de substances nucléaires et d'appareils à rayonnement*. Ces variations étaient anticipées, comme elles sont inhérentes aux processus menés à la préparation de la phase de stockage sous surveillance de Gentilly-2. Le chantier de décontamination des chiffons ainsi que celui de la mise en barils d'eau lourde de grade modérateur devraient tous deux être achevés au cours de l'année 2020.

Aussi, en 2019, Hydro-Québec a continué le transfert de combustible nucléaire irradié aux enceintes de stockage à sec, sises à l'intérieur du périmètre de la zone contrôlée. Ce sont ainsi 4 800 grappes de combustible nucléaire irradié qui ont été transférées de la piscine principale vers un module CANSTOR. Là également, l'année 2020 marquera l'achèvement d'une étape cruciale à la phase de stockage sous surveillance puisque les dernières grappes toujours immergées en piscines, au nombre de 5 725, seront transférées en enceinte de stockage à sec. Ce nombre inclut quelques dizaines de grappes pour lesquelles une barrière de sûreté sera recrée par encapsulation.

La consommation d'eau au site des installations de Gentilly-2 fut en baisse au cours de l'année 2019 par rapport à l'année précédente. Cette diminution touche à la fois la consommation d'eau de procédé et celle d'eau potable. Aussi en diminution, la dose annuelle de rayonnements induite aux membres représentatifs de la population la plus exposée, à proximité des installations de Gentilly-2, qui fut quantifiée à 3 µSv. Cette estimation correspond à moins d'un pour cent de la limite fixée par la CCSN pour une dose efficace légale délivrée à la population, qui se chiffre à 1 mSv (1 000 µSv).

À la lueur des encadrements réglementaires cités au *Permis de déclassement d'un réacteur de puissance* et au *Manuel des conditions de permis*, les résultats et constats issus de la surveillance environnementale démontrent que les impacts découlant des activités d'opération de systèmes et de déclassement des installations de Gentilly-2 sont faibles et, pour la majorité, imperceptibles au-delà de la zone d'exclusion du site.

Liste de distribution

Copies électroniques :

Hydro-Québec Direction Installations de Gentilly-2 :

Donald Olivier, ing.	Directeur Installations de Gentilly-2
Steve Plante, ing.	Chef Soutien technique
Alain Gosselin	Chef Maintenance

Hydro-Québec Direction principale Santé, sécurité et environnement :

Lucie Dandois	Directrice principale Santé, sécurité et environnement
Marie-Julie Archambault	Directrice Environnement
Louis-Philippe Houle	Chef Expertise Environnement naturel et humain

Hydro-Québec Communications, affaires gouvernementales et autochtones :

Véronique Trépanier	Conseillère Relations avec le milieu
Mathieu Boucher	Chef Relations avec les autochtones
Francis Labbé	Conseiller stratégique – Communication d'entreprise

Hydro-Québec Bureau du Contrôleur Hydro-Québec Production :

Karine Trottier	Chef Planification financière et partenariat d'affaire
-----------------	--

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) :

Pierre Thibeault	Directeur du conseil scientifique
Josée Belley	Conseillère sécurité civile

Copies officielles (format papier) :

Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) :

280, rue Slater, CP 1046, succursale B, Ottawa (Ontario), K1P 5S9

Philip Webster (2)	Directeur, Div. du programme de la réglementation
Karine Glenn	Directrice, Div. des déchets et du déclassé
Bruno Romanelli	Agent principal du programme de réglementation
Josée Giguère	Agente du programme de réglementation
Josué Wamegni	Spécialiste de programmes environnementaux

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) :

Sylvain Roy	1579, boul. Louis-Frédette, Nicolet, J3T 2A5
-------------	--

Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) :

Catalin Obreja	4905, Dufferin Street, Toronto (Ontario), M3H 5T4
----------------	---

Société du parc industriel et portuaire de Bécancour (SPIPB) :

Karine Richard 1000, boulevard Arthur-Sicard, Bécancour, G9H 2Z8

CIUSSS/Mauricie et Centre-du-Québec :

Carol Fillion 858, Terrasse Turcotte, Trois-Rivières, G9A 5C5

Marco Desjardins 550, rue Bonaventure, Trois-Rivières, G9A 2B5

Santé Canada :

Jean-François Mercier 775, Brookfield, AL 6302D1, Ottawa (Ontario), K1A 0K9

Grand conseil de la nation Waban-Aki :

Denys Bernard, dir. général 10175, rue Kolipaio, Wôlinak, G0X 1B0

Conseil des Abénakis d'Odanak :

Richard O'Bomsawin, chef 104, rue Sibosis, Odanak, J0G 1H0

Conseil des Abénakis de Wôlinak :

Michel R. Bernard, chef 10120, rue Kolipaio, Wôlinak, G0X 1B0

Ville de Trois-Rivières/Conseil régional de l'environnement Mauricie :

Serge Bournival, V3R 4655, rue Saint-Joseph, C. P. 368, Trois-Rivières, G9A 5H3

Lauréanne Daneau, CREM 580, rue Barkoff, Trois-Rivières, G8T 9T7

Ville de Bécancour :

Jean-Guy Dubois, maire 1295, av. Nicolas-Perrot, Bécancour, G9H 1A1

Municipalité de Champlain :

Guy Simon, maire 819, rue Notre-Dame, Champlain, G0X 1C0

Municipalité de Saint-Pierre-les-Becquets :

Éric Dupont, maire 110, rue des Loisirs, Saint-Pierre-les-Becquets, G0X 2Z0

Bruce Power :

Cheryl Smith C.P. 1540, 177 Tie Rd, Tiverton (Ontario), N0G 2T0

Ontario Power Generation :

Raphael McCalla 889, Brock Road, Pickering (Ontario), L1W 3J2

Canadian Nuclear Laboratories :

Christine Gallagher 286, Plant Road, Chalk River (Ontario), K0J 1J0

New Brunswick Electric Power Commission :

Joe McCulley 515, rue King, C. P. 2000, succursale A, Fredericton
(Nouveau-Brunswick), E3B 4X1

Table des matières

1	Introduction.....	1-1
2	Résultats du suivi des effluents – volet radiologique.....	2-1
2.1	Effluents gazeux	2-1
2.2	Effluents liquides	2-8
2.2.1	Réservoirs de récupération des eaux radioactives	2-13
2.2.2	Drainage pluvial	2-14
2.2.3	Eaux usées sanitaires	2-15
3	Résultats du suivi des effluents – volet physicochimique	3-1
3.1	Émissions atmosphériques.....	3-1
3.1.1	Consommation de produits pétroliers.....	3-1
3.1.2	Gaz réfrigérants	3-2
3.2	Effluents liquides	3-2
3.2.1	Réservoirs de récupération des eaux radioactives	3-3
3.2.2	Eaux usées sanitaires	3-3
3.2.3	Eaux de surface – drainage pluvial.....	3-4
4	Autres engagements de suivi	4-1
4.1	Séparateur eau-huile	4-1
4.2	Suivi des eaux souterraines au pourtour des installations de stockage de déchets radioactifs.....	4-1
4.3	Matières dangereuses utilisées au travail	4-3
5	Consommation d'eau	5-1
6	Matières dangereuses et autres matières résiduelles.....	6-1
6.1	Matières dangereuses résiduelles	6-1
6.2	Biomasse et autres matières résiduelles	6-2
7	Déversements accidentels de contaminants dans l'environnement	7-1
8	Surveillance radiologique du milieu environnant.....	8-1
8.1	Radionucléides retrouvés dans l'environnement	8-1
8.2	Surveillance atmosphérique.....	8-2
8.2.1	Ambiance gamma.....	8-2
8.2.2	Tritium.....	8-12
8.2.3	Carbone-14	8-21
8.2.4	Aérosols.....	8-26
8.3	Surveillance de l'eau.....	8-29
8.3.1	Précipitations	8-29

8.3.2	Eaux d'infiltration.....	8-37
8.3.3	Eaux souterraines.....	8-40
8.3.4	Eau potable	8-43
8.4	Surveillance des sols et des sédiments	8-44
8.4.1	Sols arables	8-44
8.4.2	Sédiments dynamiques	8-44
8.5	Surveillance de la faune et de la flore	8-46
8.5.1	Plantes fourragères.....	8-46
8.5.2	Plantes aquatiques.....	8-46
8.5.3	Mollusques.....	8-47
8.5.4	Poissons	8-48
8.6	Surveillance des produits comestibles.....	8-53
8.7	Données météorologiques	8-54
8.8	Facteurs de dispersion atmosphérique.....	8-57
9	Estimation de la dose de rayonnements aux membres représentatifs de la population.....	9-1
9.1	Groupes récepteurs	9-1
9.2	Doses par voies d'exposition.....	9-2
9.3	Historique de dose	9-4
10	Programme d'intercomparaison du laboratoire et omissions aux plans	10-1
10.1	Intercomparaison du laboratoire.....	10-1
10.2	Omissions aux plans de surveillance environnementale	10-1
11	Conclusion.....	11-1
12	Références	12-1

Annexes

A	Cartes et schéma
B	PSE, PSRE et modalités d'échantillonnage et d'analyses
C	Aspect statistique des résultats
D	Programme d'intercomparaison

Tableaux

Tableau 2-1 :	Principales limites de rejets radioactifs gazeux à l'installation nucléaire de Gentilly-2 en 2019.....	2-2
Tableau 2-2 :	Activité des principaux radionucléides ou indice de radioactivité issus des rejets gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2 pour le premier semestre de l'année 2019.....	2-5
Tableau 2-3 :	Activité des principaux radionucléides ou indice de radioactivité issus des rejets gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2 pour le second semestre de l'année 2019.....	2-6
Tableau 2-4 :	Principales limites de rejets radioactifs liquides à l'installation nucléaire de Gentilly-2 en 2019.....	2-9
Tableau 2-5 :	Activité des principaux radionucléides ou indice de radioactivité issus des effluents liquides à l'installation nucléaire de Gentilly-2 pour l'année 2019	2-12
Tableau 2-6 :	Activité des principaux radionucléides dans les systèmes de drainage pluvial des installations de Gentilly-2 pour l'année 2019.....	2-14
Tableau 3-1 :	Quantité de produits pétroliers consommés aux installations de Gentilly-2 pour la période 2016-2019	3-1
Tableau 3-2 :	Résultats d'analyses physicochimiques des réservoirs de récupération des eaux radioactives de l'installation nucléaire de Gentilly-2 pour l'année 2019	3-3
Tableau 3-3 :	Résultats d'analyses physicochimiques de l'effluent du système de traitement des eaux usées sanitaires des installations de Gentilly-2 pour l'année 2019	3-4
Tableau 3-4 :	Résultats d'analyses physicochimiques de l'effluent des systèmes de drainage pluvial des installations de Gentilly-2 pour l'année 2019	3-4
Tableau 4-1 :	Résultats d'analyses physicochimiques des eaux souterraines prélevées au pourtour des installations de déchets radioactifs de Gentilly-2 pour l'année 2019	4-2
Tableau 4-2 :	Mesures des niveaux piézométriques aux installations de Gentilly-2 pour l'année 2019	4-2
Tableau 4-3 :	Consommation de produits chimiques aux installations de Gentilly-2 pour l'année 2019.....	4-3
Tableau 6-1 :	Quantité de matières dangereuses résiduelles générées aux installations de Gentilly-2 pour l'année 2019.....	6-1

Tableau 6-2 :	Quantité de matières résiduelles recyclées ou éliminées aux installations de Gentilly-2 pour l'année 2019	6-2
Tableau 7-1 :	Quantité de produit liquide déversé accidentellement dans l'environnement aux installations de Gentilly-2 pour l'année 2019	7-1
Tableau 8-1 :	Radioactivité maximale mesurée dans les échantillons de sols arables prélevés aux trois fermes collaborant au PSRE pour l'année 2019	8-44
Tableau 8-2 :	Radioactivité maximale mesurée dans les échantillons de sédiments dynamiques du fleuve Saint-Laurent près de l'installation nucléaire de Gentilly-2 pour l'année 2019.....	8-45
Tableau 8-3 :	Radioactivité mesurée dans les plantes aquatiques récoltées dans le fleuve Saint-Laurent à la station PA2 en 2019.....	8-47
Tableau 8-4 :	Radioactivité mesurée dans la coquille et la chair de mollusques récoltés dans le fleuve Saint-Laurent près de l'installation nucléaire de Gentilly-2 pour l'année 2019.....	8-48
Tableau 8-5 :	Espèces de poissons pêchés à l'anse à Lemarier et concentrations des radionucléides mesurées en 2019.....	8-49
Tableau 9-1 :	Dose annuelle de rayonnements aux membres du groupe le plus représentatif de la population en 2019 (modèle IMPACT 5.5.2)	9-3

Figures

Figure 2-1 :	Présence de tritium aux rejets gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2, exprimée en % LOD et en activité sur une base hebdomadaire pour l'année 2019	2-2
Figure 2-2 :	Présence de carbone-14 aux rejets gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2, exprimée en % LOD et en activité sur une base hebdomadaire pour l'année 2019	2-3
Figure 2-3 :	Présence d'aérosols radioactifs aux rejets gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2, exprimée en % LOD et en activité sur une base hebdomadaire pour l'année 2019	2-4
Figure 2-4 :	Rejets radioactifs gazeux annuels de l'installation nucléaire de Gentilly-2 exprimés en % LOD pour la période 2000-2019	2-7
Figure 2-5 :	Présence de tritium aux effluents liquides de l'installation nucléaire de Gentilly-2, exprimée en % LOD et en activité sur une base mensuelle pour l'année 2019.....	2-9
Figure 2-6 :	Présence de carbone-14 aux effluents liquides de l'installation nucléaire de Gentilly-2, exprimée en % LOD et en activité sur une base mensuelle pour l'année 2019	2-10
Figure 2-7 :	Présence d'activité bêta totale aux effluents liquides de l'installation nucléaire de Gentilly-2, exprimée en % LOD et en activité sur une base mensuelle pour l'année 2019	2-11
Figure 2-8 :	Rejets radioactifs liquides annuels de l'installation nucléaire de Gentilly-2 exprimés en % LOD pour la période 2000-2019	2-13

Figure 5-1 :	Consommation d'eau de procédé aux installations de Gentilly-2 pour la période 2013-2019	5-1
Figure 5-2 :	Consommation d'eau potable aux installations de Gentilly-2 pour la période 2013-2019	5-2
Figure 6-1 :	Biomasse captée à la station de pompage des installations de Gentilly-2 pour la période 2013-2019	6-3
Figure 8-1 :	Ambiance gamma trimestrielle aux stations de contrôle SCR-3, 6, 7, 8, 10, 11 et 12 (zone rapprochée) et à la station de référence pour l'année 2019.....	8-3
Figure 8-2 :	Dose annuelle gamma aux stations de contrôle SCR-1, 3, 6, 7, 8, 10, 11 et 12 (zone rapprochée) et à la station de référence pour la période 2015-2019	8-3
Figure 8-3 :	Ambiance gamma trimestrielle au périmètre sécurisé de l'installation pour l'année 2019	8-5
Figure 8-4 :	Dose annuelle gamma au périmètre sécurisé de l'installation pour la période 2016-2019	8-5
Figure 8-5 :	Ambiance gamma trimestrielle à la clôture de l'ASDR pour l'année 2019	8-6
Figure 8-6 :	Dose annuelle gamma à la clôture de l'ASDR pour la période 2015-2019	8-7
Figure 8-7 :	Ambiance gamma trimestrielle à la clôture de l'IGDRS pour l'année 2019.....	8-8
Figure 8-8 :	Dose annuelle gamma à la clôture de l'IGDRS pour la période 2015-2019	8-9
Figure 8-9 :	Ambiance gamma trimestrielle à la clôture de l'ASSCI pour l'année 2019	8-10
Figure 8-10 :	Dose annuelle gamma à la clôture de l'ASSCI pour la période 2015-2019	8-11
Figure 8-11 :	Activité mensuelle en tritium atmosphérique aux stations Poste-1, Poste-2, SCR-6 à SCR-8 et SCR-10 à SCR-12 (zone d'exclusion) pour l'année 2019	8-12
Figure 8-12 :	Activité annuelle moyenne en tritium atmosphérique aux stations Poste-1, Poste-2 et SCR-6 à SCR-12 (zone d'exclusion) pour la période 2015-2019	8-14
Figure 8-13 :	Activité mensuelle en tritium atmosphérique aux stations Nord-1, Sud-1, Est-1 à Est-3, Ouest-1 et à la station de référence pour l'année 2019.....	8-15
Figure 8-14 :	Activité annuelle moyenne en tritium atmosphérique aux stations Nord-1, Sud-1, Est-1 à Est-3, Ouest-1 et à la station de référence pour la période 2015-2019.....	8-16
Figure 8-15 :	Activité mensuelle en tritium atmosphérique à l'IGDRS pour l'année 2019.....	8-17
Figure 8-16 :	Activité annuelle moyenne de tritium atmosphérique à l'IGDRS pour la période 2015-2019	8-18

Figure 8-17 :	Activité mensuelle en tritium atmosphérique à l'ASDR pour l'année 2019.....	8-19
Figure 8-18 :	Activité annuelle moyenne de tritium atmosphérique à l'ASDR pour la période 2015-2019.....	8-20
Figure 8-19 :	Activité mensuelle en carbone-14 atmosphérique aux stations Sud-1 et SCR-3, SCR-4, SCR-5, SCR-7, SCR-8, SCR-12 (zone rapprochée) et à la station de référence pour l'année 2019	8-22
Figure 8-20 :	Activité annuelle moyenne en carbone-14 atmosphérique aux stations Sud-1, SCR-1, SCR-3, SCR-4, SCR-5, SCR-7, SCR-8, SCR-9 et SCR-12 (zone rapprochée) et à la station de référence pour la période 2015-2019	8-23
Figure 8-21 :	Activité mensuelle en carbone-14 atmosphérique à l'IGDRS, à l'ASDR et à la station de référence pour l'année 2019	8-24
Figure 8-22 :	Activité annuelle moyenne en carbone-14 atmosphérique à l'IGDRS, à l'ASDR et à la station de référence pour la période 2015-2019	8-25
Figure 8-23 :	Moyenne trimestrielle de l'activité bêta totale dans les aérosols prélevés aux stations Sud-1, SCR-8, SCR-11, SCR-12 et à la station de référence pour l'année 2019	8-26
Figure 8-24 :	Moyenne trimestrielle de l'activité bêta totale dans les aérosols prélevés à l'IGDRS et à la station de référence pour l'année 2019.....	8-27
Figure 8-25 :	Moyenne trimestrielle de l'activité bêta totale dans les aérosols prélevés à l'ASDR et à la station de référence pour l'année 2019.....	8-28
Figure 8-26 :	Moyenne trimestrielle de l'activité en tritium dans les précipitations aux stations SCR-2 à SCR-5, SCR-8, SCR-12, Sud-1, Est-2 et de référence pour l'année 2019.....	8-30
Figure 8-27 :	Moyenne trimestrielle de l'activité bêta totale dans les précipitations aux stations SCR-2 à SCR-5, SCR-8, SCR-12, Sud-1, Est-2 et de référence pour l'année 2019.....	8-31
Figure 8-28 :	Moyenne trimestrielle de l'activité en tritium dans les précipitations aux stations IGDRS-5 à 8 et à la station de référence pour l'année 2019.....	8-32
Figure 8-29 :	Moyenne trimestrielle de l'activité bêta totale dans les précipitations aux stations IGDRS-5 à 8 et à la station de référence pour l'année 2019	8-33
Figure 8-30 :	Moyenne mensuelle de l'activité en tritium dans l'eau de surface autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS pour l'année 2019	8-34
Figure 8-31 :	Moyenne annuelle de l'activité en tritium dans l'eau de surface autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS pour la période 2015-2019	8-35
Figure 8-32 :	Moyenne mensuelle de l'activité bêta totale dans l'eau de surface autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS pour l'année 2019	8-36
Figure 8-33 :	Moyenne mensuelle de l'activité en tritium dans l'eau d'infiltration autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS pour l'année 2019	8-38

Figure 8-34 :	Moyenne annuelle de l'activité en tritium dans l'eau d'infiltration autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS pour la période 2015-2019	8-39
Figure 8-35 :	Moyenne mensuelle de l'activité bêta totale dans l'eau d'infiltration autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS pour l'année 2019.....	8-40
Figure 8-36 :	Moyenne trimestrielle de l'activité en tritium dans l'eau souterraine de l'ASDR, de l'ASSCI, de l'IGDRS et hors site pour l'année 2019.....	8-41
Figure 8-37 :	Moyenne annuelle de l'activité en tritium dans l'eau souterraine autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS et hors site pour la période 2015-2019	8-42
Figure 8-38 :	Moyenne trimestrielle de l'activité bêta totale dans l'eau souterraine autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS pour l'année 2019.....	8-43
Figure 8-39 :	Représentation simplifiée du flux de carbone-14 dans le milieu aquatique à proximité des installations de Gentilly-2.....	8-52
Figure 8-40 :	Relation entre les concentrations de carbone-14 aux effluents liquides et dans les plantes aquatiques récoltées dans l'anse à Lemarier pour la période 2014-2019	8-52
Figure 8-41 :	Évolution temporelle du carbone-14 dans les poissons du lac 226 (1978 à 1993) et de l'anse à Lemarier (2014 à 2019)	8-53
Figure 8-42 :	Rose de l'origine des vents au site instrumenté du MELCC à Bécancour pour l'année 2019	8-56
Figure 8-43 :	Rose de l'origine des vents au site des installations de Gentilly-2 pour la période 2013-2017	8-57
Figure 8-44 :	Facteurs moyens de dispersion du tritium atmosphérique des relâches des installations de Gentilly-2 pour la période 2015-2019	8-59
Figure 9-1 :	Dose annuelle de rayonnements estimée pour un membre représentatif de la population liée à l'exploitation des installations de Gentilly-2 pour la période 2013-2019.....	9-4
Figure 9-2 :	Comparaison de doses de rayonnements typiques pouvant affecter la population canadienne	9-6

Liste des abréviations

ASDR	Aire de Stockage des D échets R adioactifs
ASSCI	Aire de Stockage à Sec du C ombustible I rradié
CA	C ertificat d’ A utorisation du MELCC
CANDU	CAN ada D euterium U ranium
CANSTOR	CANDU S TORage, module de stockage à sec du combustible irradié
CCSN	C ommission C anadienne de S ûreté N ucléaire
CERV	C entre d’ E ntretien et de R éparation de V arennnes
CRMC	C entre de R écupération de M atières C ontaminées
CRMD	C entre de R écupération des M atières D angereuses
CSA	C anadian S tandards A ssociation, organisme de normalisation
DBO ₅	D emande B iochimique en O xygène pour 5 jours
DTL	D osimètre T hermo L uminescent
EBA	E au B rute d’ A limentation
EBR	E au B rute de R efroidissement
EDC	E au D e C irculation
EDFMA	E nceinte de D échets de F aible et de M oyenne A ctivité
ERA	E nvironmental R esource A ssociates
ESR	E au de S ervice R ecirculée
ÉSS	É tat de S tockage S ûr
HCFC	H ydro C hloro F luoro C arbures
HP C ₁₀ -C ₅₀	H ydrocarbures P étroliers C ₁₀ -C ₅₀
IGDRS	I nstallation de G estion des D échets R adioactifs S olides

IMPACT	I ntegrated M odel for the P robabilistic A ssessment of C ontaminant T ransport
IRSN	Institut de R adioprotection et de S ûreté N ucléaire
LD	L imite de D étection
LNC	L aboratoires N ucléaires C anadiens
LOD	L imite O opérationnelle D érivée
MELCC	M inistère de l'Environnement et de la L utte contre les C hangements C limatiques
MDR	M atières D angereuses R ésiduelles
MES	M atières E n S uspension
MR	M atières R ésiduelles
PIPB	P arc I ndustriel et P ortuaire de B écancour
PISE	P rogramme I ndépendant de S urveillance E nvironnementale
PSE	P lan de S urveillance de l'Environnement
PSRE	P lan de S urveillance R adiologique de l'Environnement
REGDOC	R EGulation D OCCument, document d'application de la réglementation
RMCQ	R éseau M étéorologique C oopératif du Q uébec
SCR	S tation de C ontrôle R adiologique
SMS	S urface W ater M odeling S ystem
UTa	U nité de T oxicité a iguë
UTc	U nité de T oxicité c hronique

1 Introduction

En marge du déclassement des activités nucléaires autorisées qui se poursuit aux installations de Gentilly-2 à Bécancour, Hydro-Québec continue d'assurer activement une surveillance environnementale complète au site même des installations, ainsi que dans les régions environnantes, de part et d'autre du fleuve Saint-Laurent. Le rapport intitulé *Résultats de la surveillance de l'environnement des installations de Gentilly-2* (G2-RT-2020-00518-001) présente à cet égard l'ensemble des données issues de l'application des deux différents plans qui ont régi les modalités de surveillance environnementale pour l'année 2019, regroupant à la fois les résultats d'analyses physicochimiques et radiologiques. Il collige aussi des intrants relatifs à des engagements réglementaires auxquels Hydro-Québec doit toujours se soumettre, malgré la cessation définitive de toute activité de production d'énergie survenue à la fin de l'année 2012.

Conformément aux prescriptions de l'actuelle version de son *Permis de déclassement d'un réacteur de puissance* (PDRP 10.00/2026), et de son *Manuel des conditions de permis* (MCP-Gentilly-2-R001), Hydro-Québec publie le présent rapport annuel selon les exigences du document d'application de la réglementation REGDOC 3.1.1 intitulé *Rapports à soumettre par les exploitants de centrales nucléaires, exigences relatives à la production de rapports*.

Après avoir dûment transmis aux organismes réglementaires la révision 1 du *Plan de surveillance radiologique de l'environnement des installations de Gentilly-2 en état de stockage sûr* (PSRE), Hydro-Québec mettait en application les modalités de surveillance de ce document (Hydro-Québec, 2017a) au second semestre de l'année 2017. Cette version adaptée considérait notamment l'abandon du lieu autorisé d'élimination des neiges usées, l'évolution documentée du terme source statuant sur la nature, la quantité et la cinétique des rejets radioactifs de l'installation nucléaire en conditions normale ou accidentelle, réelle ou supposée, de même que des constats liés à des concentrations de carbone-14 conséquentes de la dispersion d'effluents liquides issus de certaines étapes préalables à la phase de stockage sous surveillance.

Les principaux objectifs du PSRE appliqué à Gentilly-2 en 2019 sont :

- d'effectuer le contrôle radiologique du milieu environnant ;
- de permettre l'évaluation de la dose annuelle de rayonnements à la population due à l'opération de systèmes ou au déclassement des installations de Gentilly-2 ;
- de maintenir les techniques analytiques et l'expertise afin de réagir adéquatement en situation d'incident nucléaire ;
- de démontrer aux organismes réglementaires que les impacts environnementaux sont connus, mesurés et en deçà des limites et seuils fixés au permis en vigueur.

Par ailleurs, en septembre 2018, Hydro-Québec transmettait aux mêmes organismes réglementaires la révision 4 du *Plan de surveillance de l'environnement* (PSE). Ce document (Hydro-Québec, 2018) définissait la plus récente adaptation des modalités d'analyses physicochimiques de l'environnement. Sa mise en application a été documentée au dernier trimestre de l'année 2018.

Tous les changements de la révision 4 du PSE ont donc été préalablement entérinés par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), selon les exigences de l'autorisation ministérielle (7450-17-01-00151-01) ayant notamment permis la récente relocalisation du point de diffusion des effluents radiologiques liquides, maintenant submergé et situé au centre du chenal sud du fleuve Saint-Laurent.

Les principaux objectifs du PSE appliqué à Gentilly-2 en 2019 sont :

- d'effectuer le contrôle de la qualité physicochimique des effluents liquides des installations de Gentilly-2 ;
- de s'assurer de la qualité physicochimique des eaux de surface, d'infiltration et souterraines du site des installations de Gentilly-2 ;
- de démontrer aux organismes réglementaires que les impacts environnementaux liés à la qualité physicochimique des rejets sont connus, mesurés et demeurent en deçà des critères ou de la réglementation applicables.

Les principales sections du rapport *Résultats de la surveillance de l'environnement des installations de Gentilly-2* de l'année 2019 abordent, dans l'ordre, le suivi et la quantification de la radioactivité des effluents gazeux et liquides (chapitre 2), le bilan de consommation de combustible fossile et la surveillance physicochimique des effluents liquides (chapitre 3), la reddition liée à d'autres engagements réglementaires (chapitre 4), la consommation d'eau (chapitre 5), le bilan de la gestion des matières dangereuses et autres matières résiduelles (chapitre 6), les déversements accidentels de contaminants dans l'environnement (chapitre 7), les résultats d'analyses effectuées sur une multitude de matrices en dispersion environnementale (chapitre 8) de même que l'estimation de la dose annuelle de rayonnements délivrée à plusieurs membres représentatifs de la population pour les installations de Gentilly-2 (chapitre 9). Enfin suivent les résultats de l'exercice d'intercomparaisons auquel a souscrit le laboratoire de radioécologie d'Hydro-Québec à Trois-Rivières ainsi que les omissions aux deux plans de surveillance environnementale survenues en 2019 (chapitre 10).

2 Résultats du suivi des effluents – volet radiologique

Le chapitre 2 présente les résultats de la surveillance radiologique des effluents gazeux et liquides de l'installation nucléaire de Gentilly-2 pour l'année 2019.

2.1 Effluents gazeux

En phase finale de préparation au stockage sous surveillance, l'installation nucléaire de Gentilly-2 demeure desservie par plusieurs systèmes et composantes qui assurent une ventilation aux bâtiments du réacteur et de la turbine ainsi qu'à plusieurs autres salles du bâtiment des services et des annexes. Bien que l'installation nucléaire ait définitivement cessé toute production d'électricité depuis plusieurs années, une part de radioactivité demeurera présente aux rejets gazeux à moyen terme, du moins jusqu'à ce que toute manœuvre impliquant des systèmes radioactifs soit complétée.

Les données du chapitre 2, associées aux effluents radiologiques, sont en partie exprimées en fonction des limites de rejets préalablement autorisées par la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN). À partir de la limite légale de dose annuelle de rayonnements pouvant être reçue par les individus du groupe le plus exposé et d'un modèle de transfert environnemental, il est possible de calculer les limites de rejets radioactifs qui, s'ils étaient maintenus constants toute une année, induiraient aux individus de ce groupe la dose maximale de rayonnements prescrite pour le public et définie par la CCSN. Cette dose efficace se chiffre à 1 mSv par année. Les limites de rejet, spécifiques à chaque radionucléide, constituent les limites opérationnelles dérivées (LOD), valeurs qui figurent au permis de chacune des installations nucléaires canadiennes, en respect de la réglementation.

Les hypothèses de travail et les méthodes de calcul ayant servi à la détermination des LOD spécifiques, en vigueur tout au long de l'année 2019 pour les rejets gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2, ont toutes été déterminées en conformité à la norme N288.1-14 *Guide de calcul des limites opérationnelles dérivées de matières radioactives dans les effluents gazeux et liquides durant l'exploitation normale des installations nucléaires* du Groupe CSA (2014).

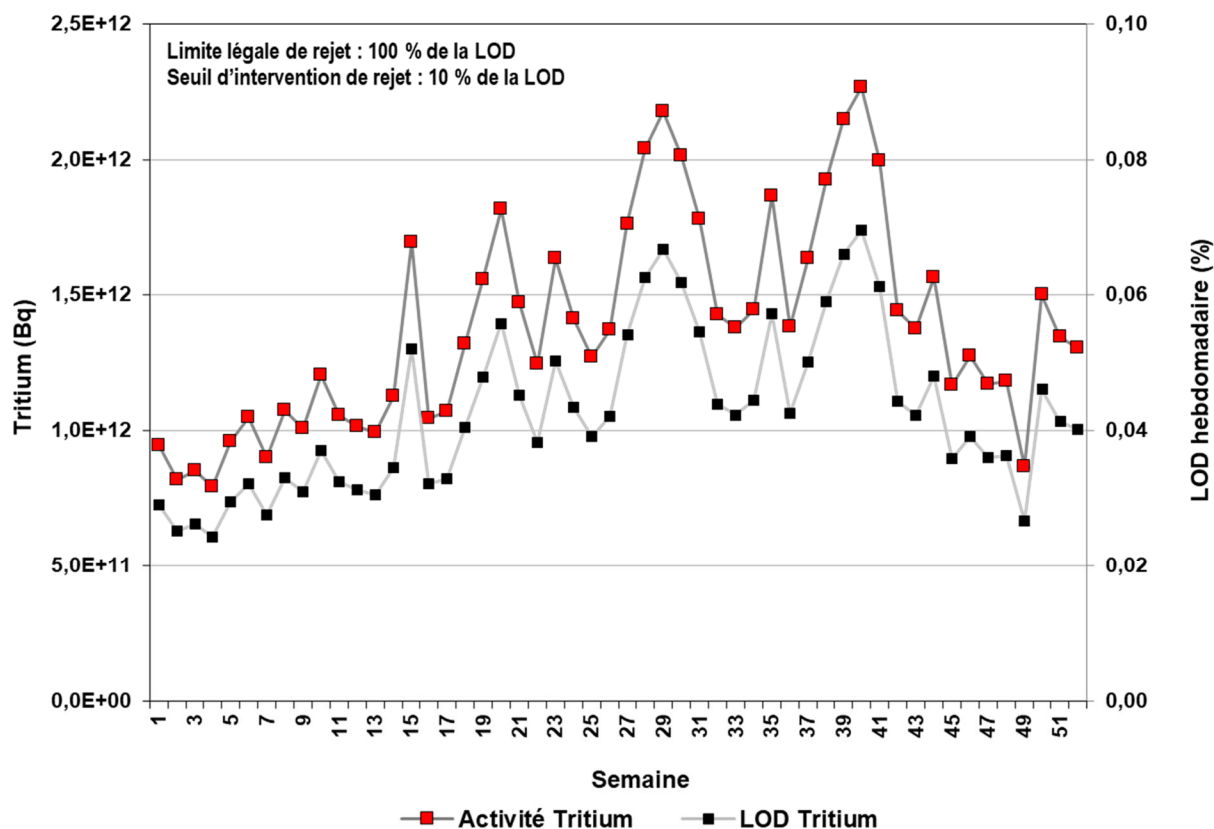
Les radionucléides les plus susceptibles d'être présents dans les émissions gazeuses à la cheminée principale, à la suite d'une interruption prolongée de l'exploitation d'un réacteur CANDU, sont détaillés au tableau 2-1. Les LOD correspondantes, propres à l'installation nucléaire de Gentilly-2, y figurent également. La longue absence d'un flux neutronique au cœur du réacteur, situation qui perdure depuis la fin de l'année 2012, amène une réduction significative des possibilités d'émissions pour certains radionucléides. À ce titre, la CCSN autorisait Hydro-Québec, en mai 2015, à cesser la surveillance des taux de rejets de gaz rares et de radioiodes à la cheminée.

Tableau 2-1 : Principales limites de rejets radioactifs gazeux à l'installation nucléaire de Gentilly-2 en 2019

Classification	Limite de rejet gazeux (Bq semaine ⁻¹)
Aérosols (⁶⁰ Co)	1,53E+10
³ H	3,26E+15
¹⁴ C	2,30E+13

Les figures 2-1 à 2-3 montrent les résultats des principaux radionucléides ayant fait l'objet d'une surveillance aux rejets gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2 pour l'année 2019. Conformément aux modalités du document d'application de la réglementation concernée, ces rejets sont exprimés en pourcentage des LOD (% LOD) ainsi qu'en sommation d'activité radiologique, sur une base hebdomadaire.

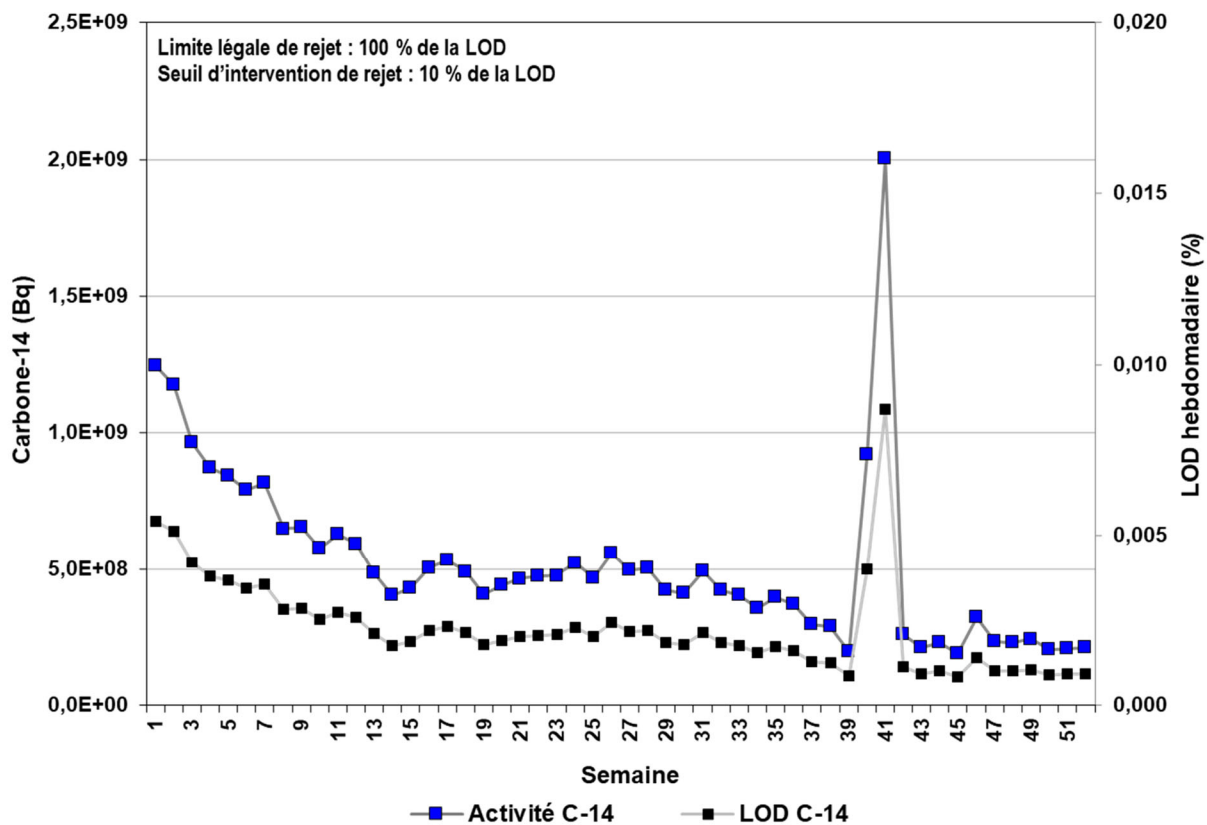
Figure 2-1 : Présence de tritium aux rejets gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2, exprimée en % LOD et en activité sur une base hebdomadaire pour l'année 2019



Contrairement aux quelques années suivant l'arrêt définitif de son réacteur, l'ampleur des variations d'activité de tritium mesurée aux effluents gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2 n'a pas été très importante en 2019. L'activité hebdomadaire maximale de tritium, équivalente à 0,07 % LOD, a été mesurée à la 40^e semaine.

Tout au cours de l'année 2019, les variations des taux d'émissions de tritium ont été tributaires de l'ouverture de barils de chiffons contaminés au chantier de traitement. Aussi, les systèmes d'évacuation d'air de l'abri servant à la mise en barils de l'eau lourde de grade modérateur, en prévision de son transfert, peuvent amener des apports de tritium mesurables à la cheminée. Finalement, des conditions environnementales ambiantes, relatives à la pression atmosphérique ou au taux d'humidité, peuvent aussi être à la source de rejets momentanément plus élevés, émanant principalement de systèmes nucléaires mis à l'arrêt, et placés dans des conditions d'ouverture.

Figure 2-2 : Présence de carbone-14 aux rejets gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2, exprimée en % LOD et en activité sur une base hebdomadaire pour l'année 2019

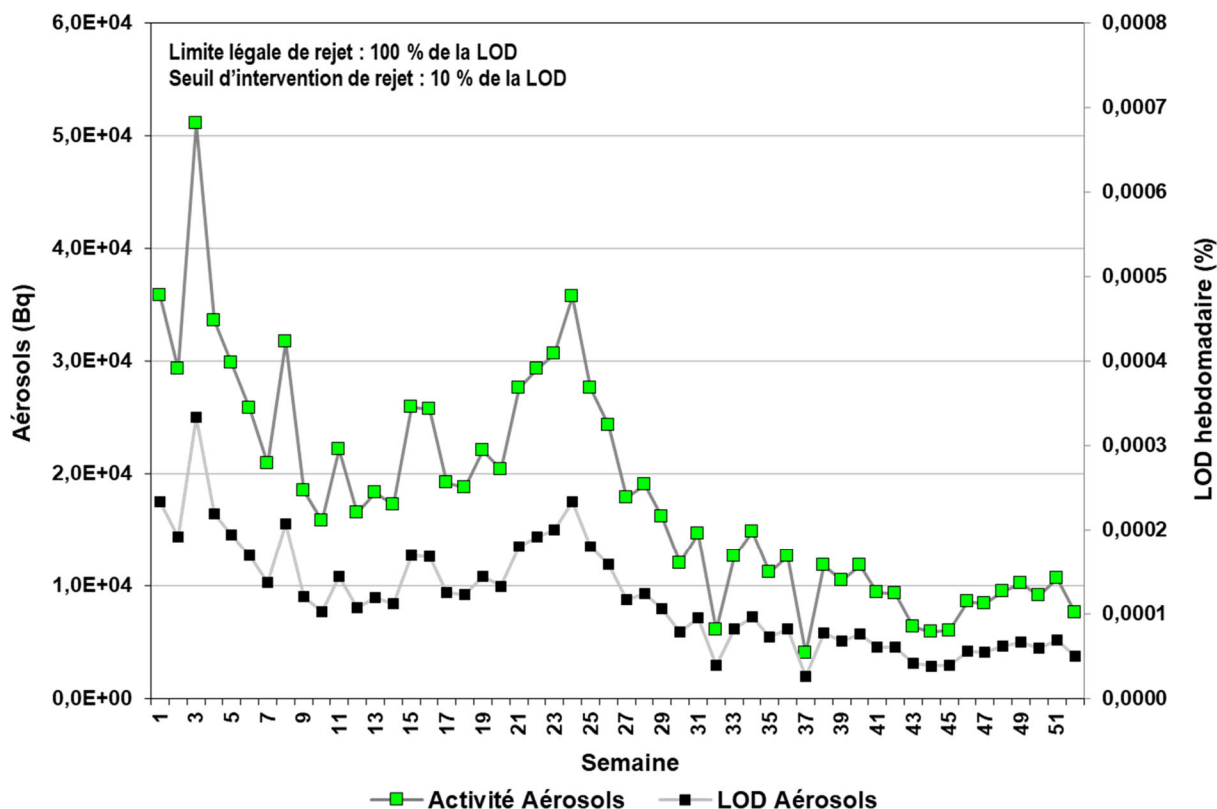


La troisième et dernière phase de gestion des résines usées échangeuses d'ions ayant été achevée en 2017, cette principale source de carbone-14 n'était donc plus sujette à influencer les effluents radioactifs en 2019. L'activité de carbone-14 aux effluents gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2 a donc été très faible, comme il était anticipé. L'activité hebdomadaire maximale de carbone-14 relevée en 2019 fut ainsi inférieure à une valeur équivalente à 0,01 % LOD, et a été mesurée à la 41^e semaine.

Nonobstant les très faibles émissions de carbone-14 relevées tout au long de l'année 2019, il est possible de remarquer la lente et constante diminution des sommations hebdomadaires associée aux 15 premières semaines. Cette tendance

montre le retour aux valeurs similaires mesurées pour une majeure partie de l'année précédente, après une excursion à la hausse de l'activité documentée au dernier trimestre de 2018.

Figure 2-3 : Présence d'aérosols radioactifs aux rejets gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2, exprimée en % LOD et en activité sur une base hebdomadaire pour l'année 2019



L'activité bêta totale mesurée aux aérosols filtrés a encore été minime tout au long de l'année 2019. La sommation hebdomadaire maximale, qui fut inférieure à une valeur équivalente à un millième de pour cent LOD (0,001 % LOD), fut mesurée à la 3^e semaine. À l'instar de l'année précédente, la totalité des valeurs hebdomadaires d'activité de tritium, de carbone-14 de même que celles liées aux aérosols a été en deçà d'un ratio équivalent à un dixième de pour cent LOD (0,1 % LOD) et ce, tout au long de l'année 2019. Depuis plusieurs années, les principaux systèmes nucléaires (caloporteur et modérateur) sont drainés alors que les quantités résiduelles d'eau lourde sont toutes stockées sécuritairement.

Les tableaux 2-2 et 2-3 présentent, par semestre, les valeurs hebdomadaires d'activité pour les radionucléides ou indice de radioactivité d'intérêt aux rejets gazeux en 2019.

Tableau 2-2 : Activité des principaux radionucléides ou indice de radioactivité issus des rejets gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2 pour le premier semestre de l'année 2019

Semaine	Tritium (Bq)	Aérosols (Bq)	Carbone-14 (Bq)
1	9,44E+11	3,58E+04	1,25E+09
2	8,17E+11	2,93E+04	1,18E+09
3	8,52E+11	5,11E+04	9,65E+08
4	7,91E+11	3,35E+04	8,72E+08
5	9,59E+11	2,98E+04	8,42E+08
6	1,05E+12	2,58E+04	7,90E+08
7	8,98E+11	2,09E+04	8,18E+08
8	1,07E+12	3,17E+04	6,49E+08
9	1,01E+12	1,85E+04	6,55E+08
10	1,21E+12	1,58E+04	5,77E+08
11	1,06E+12	2,21E+04	6,28E+08
12	1,02E+12	1,65E+04	5,94E+08
13	9,92E+11	1,83E+04	4,86E+08
14	1,13E+12	1,72E+04	4,03E+08
15	1,70E+12	2,59E+04	4,28E+08
16	1,04E+12	2,57E+04	5,05E+08
17	1,07E+12	1,91E+04	5,33E+08
18	1,32E+12	1,88E+04	4,90E+08
19	1,56E+12	2,20E+04	4,08E+08
20	1,82E+12	2,03E+04	4,39E+08
21	1,47E+12	2,76E+04	4,64E+08
22	1,25E+12	2,93E+04	4,73E+08
23	1,64E+12	3,07E+04	4,75E+08
24	1,41E+12	3,57E+04	5,24E+08
25	1,27E+12	2,76E+04	4,67E+08
26	1,37E+12	2,43E+04	5,58E+08

Tableau 2-3 : Activité des principaux radionucléides ou indice de radioactivité issus des rejets gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2 pour le second semestre de l'année 2019

Semaine	Tritium (Bq)	Aérosols (Bq)	Carbone-14 (Bq)
27	1,76E+12	1,78E+04	4,96E+08
28	2,04E+12	1,90E+04	5,02E+08
29	2,18E+12	1,62E+04	4,23E+08
30	2,01E+12	1,20E+04	4,12E+08
31	1,78E+12	1,47E+04	4,93E+08
32	1,43E+12	6,07E+03	4,22E+08
33	1,38E+12	1,26E+04	4,04E+08
34	1,45E+12	1,48E+04	3,57E+08
35	1,87E+12	1,11E+04	3,96E+08
36	1,38E+12	1,26E+04	3,70E+08
37	1,63E+12	3,99E+03	2,97E+08
38	1,92E+12	1,18E+04	2,87E+08
39	2,15E+12	1,04E+04	1,97E+08
40	2,27E+12	1,18E+04	9,20E+08
41	2,00E+12	9,38E+03	2,00E+09
42	1,44E+12	9,27E+03	2,60E+08
43	1,38E+12	6,34E+03	2,12E+08
44	1,56E+12	5,92E+03	2,31E+08
45	1,17E+12	6,02E+03	1,90E+08
46	1,27E+12	8,54E+03	3,21E+08
47	1,17E+12	8,37E+03	2,32E+08
48	1,18E+12	9,44E+03	2,31E+08
49	8,67E+11	1,02E+04	2,43E+08
50	1,50E+12	9,11E+03	2,03E+08
51	1,35E+12	1,06E+04	2,09E+08
52	1,31E+12	7,61E+03	2,13E+08

La figure 2-4 présente l'historique à long terme de l'activité radiologique annuelle quantifiée aux rejets gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2. Contrairement à plusieurs années précédentes, aucune activité d'exploitation ou de déclasséement n'a eu d'impact majeur sur le profil des rejets de l'année 2019.

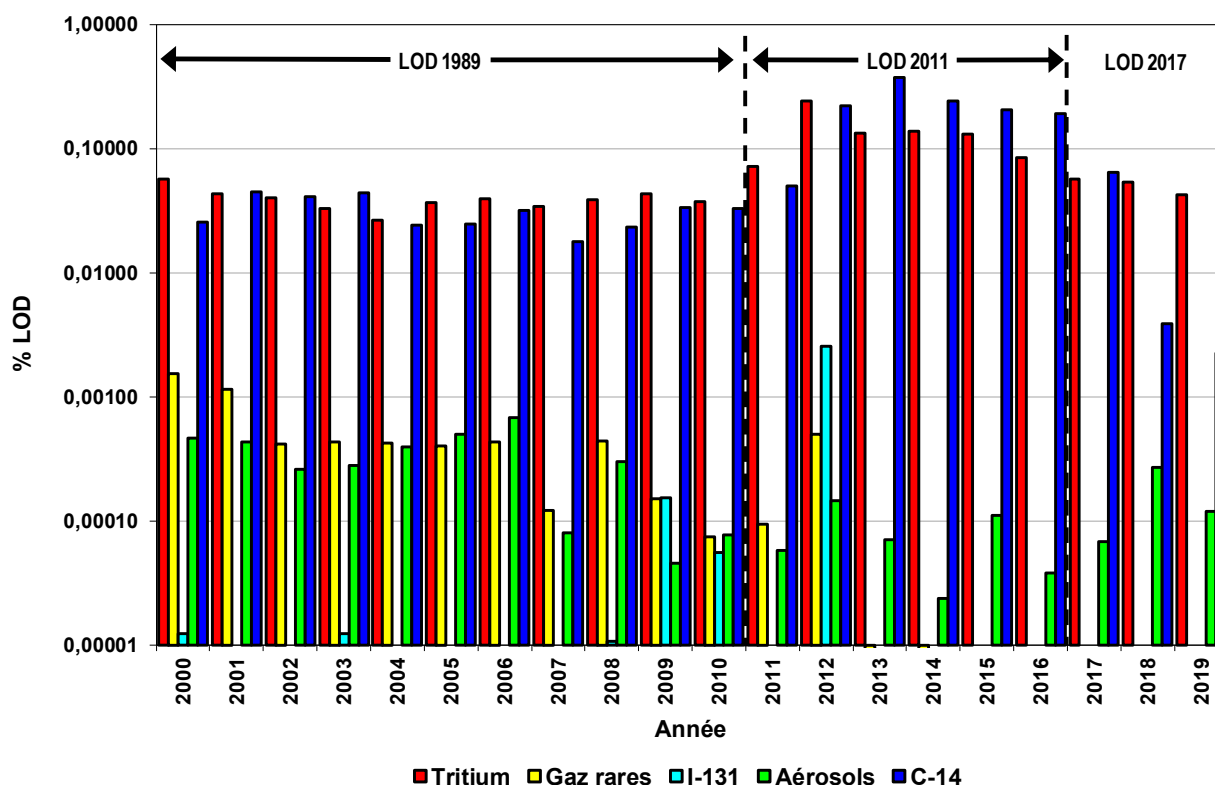
Lorsque les valeurs absolues de radioactivité sont considérées, on peut constater que par rapport à l'année précédente, la variation de l'activité annuelle de tritium aux rejets gazeux a été en baisse de 21,3 % en 2019. La diminution liée aux aérosols radioactifs a quant à elle été de 55,9 %. L'activité annuelle de carbone-14 a plutôt été en diminution de l'ordre de 41,7 % en comparaison à l'année 2018.

Une mise en garde doit à nouveau être précisée cette année, à l'effet que la figure 2-4 doive être interprétée en tenant compte des deux séries de changement de LOD d'effluents gazeux, d'abord modifiées en juin 2011 puis en juillet 2017. Ces modifications expliquent, entre autres, les hausses perçues à partir de l'année 2011, en comparaison des années précédentes. À émissions égales, le ratio atteint d'une LOD spécifique s'était avéré plus élevé à la suite de ce changement. Des modifications aux valeurs de LOD peuvent laisser présumer une variation amplifiée, ou même une inversion de tendance, lorsque l'analyse porte sur une longue période.

Malgré ces changements de valeurs des LOD pouvant biaiser la perception de cette figure, Hydro-Québec conserve cette représentation graphique puisque seuls les ratios des LOD permettent de comparer l'activité de plusieurs radionucléides sur une seule et même base, soit le pourcentage des LOD, qui se veut un degré d'atteinte d'un rejet pouvant mener à une limite de dose efficace pour la population, à 1 mSv par année.

Pour les effluents gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2, la sommation annuelle de l'activité radiologique en 2019 fut de 7,21E+13 Bq pour le tritium, de 2,70E+10 Bq pour le carbone-14 et de 9,49E+05 Bq pour les aérosols radioactifs.

Figure 2-4 : Rejets radioactifs gazeux annuels de l'installation nucléaire de Gentilly-2 exprimés en % LOD pour la période 2000-2019



Note : Modification des valeurs des LOD pour les émissions atmosphériques en juin 2011 et en juillet 2017.

2.2 Effluents liquides

Tout au long de l'année 2019, les effluents liquides des installations de Gentilly-2 n'étaient plus que ceux de l'eau brute d'alimentation (EBA), qui était rejetée via les conduites d'évacuation de l'eau de circulation (EDC), de l'eau transitant aux étangs aérés d'épuration des eaux usées sanitaires ainsi que de l'eau des différents réseaux de drainage pluvial du site (carte A-2 de l'annexe A). À la suite de la mise en service du prolongement de la conduite de rejet des effluents liquides en novembre 2018, tout débit d'eau brute de refroidissement (EBR) avait été interrompu puisque les pompes de ce système, jusqu'alors nécessaires à la dispersion des effluents, avaient été mises hors service.

Tout comme la radioactivité liée aux émissions atmosphériques, celle issue des rejets liquides de l'installation nucléaire de Gentilly-2 sera encore présente à moyen terme, malgré la cessation définitive de la production d'énergie. Les quelques variations d'activité radiologique aux rejets liquides, documentées pour l'année 2019, sont aussi attribuées à la réalisation d'étapes préalables à la phase de stockage sous surveillance.

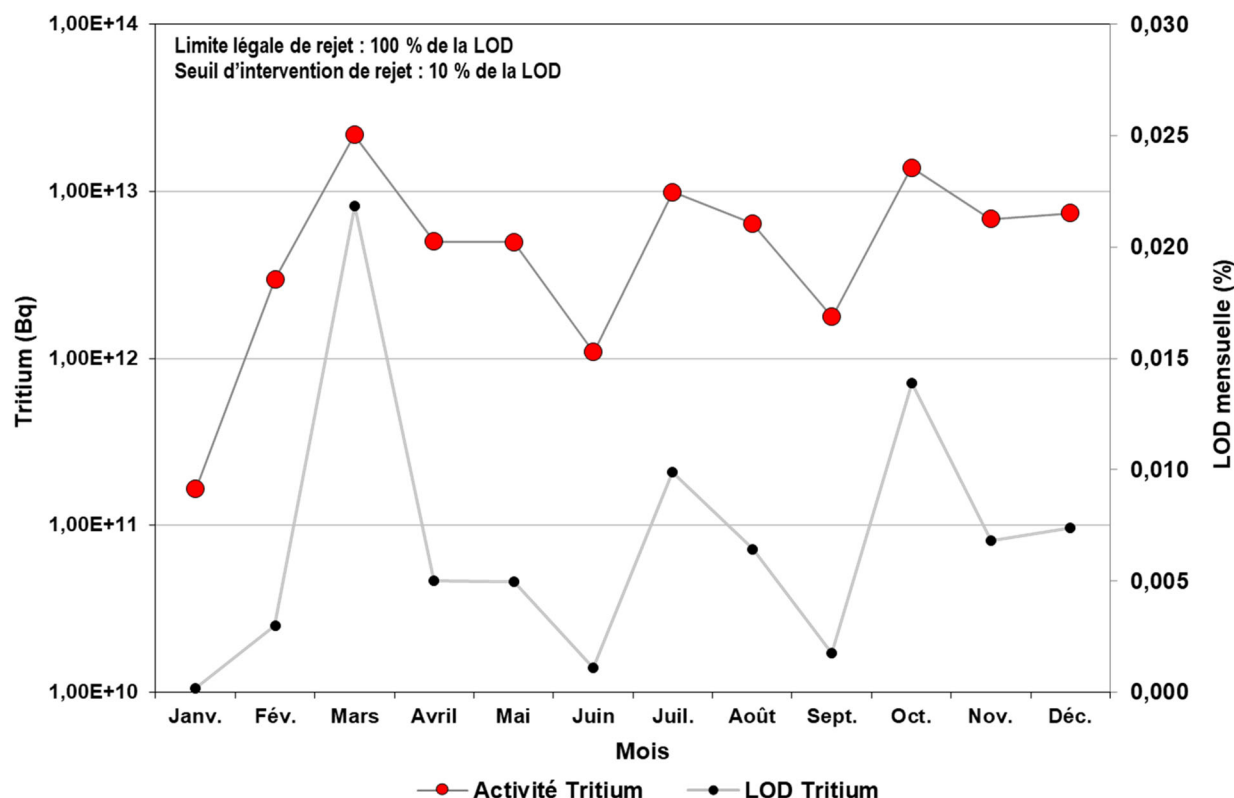
Les radionucléides les plus susceptibles d'être retrouvés dans les effluents liquides de l'installation nucléaire, plus de sept ans après l'arrêt du réacteur, sont présentés au tableau 2-4, de même que toutes les valeurs des LOD qui leur sont associées. Elles ont été calculées de façon similaire aux LOD gazeuses. Les valeurs actuelles de LOD liquides, mises en application en novembre 2018, sont également conformes à la norme N288.1-14 du Groupe CSA. Spécifiquement pour les LOD liquides, un changement de valeurs est successivement survenu en juin 2011, en octobre 2014, en juillet 2017 et finalement, en novembre 2018 à la suite du prolongement de la conduite de rejet. Dans ce dernier cas, les valeurs sont toutes plus restrictives que les précédentes.

Tableau 2-4 : Principales limites de rejets radioactifs liquides à l'installation nucléaire de Gentilly-2 en 2019

Classification	Limite de rejet liquide (Bq mois ⁻¹)
β total (¹³⁷ Cs)	1,58E+12
³ H	1,00E+17
¹⁴ C	2,25E+13
⁶⁰ Co	1,00E+14
⁹⁵ Zr	1,00E+15
⁹⁵ Nb	3,33E+14
¹²⁴ Sb	3,29E+14
¹²⁵ Sb	6,75E+14
¹³⁴ Cs	1,08E+12
¹³⁷ Cs	1,58E+12

Les figures 2-5 à 2-7 présentent l'ensemble des valeurs d'activité des principaux radionucléides mesurées aux rejets liquides de l'installation nucléaire de Gentilly-2 pour l'année 2019. Conformément aux modalités du document d'application de la réglementation concernée, ces rejets sont exprimés en pourcentage des LOD (% LOD) ainsi qu'en sommation d'activité radiologique, sur une base mensuelle.

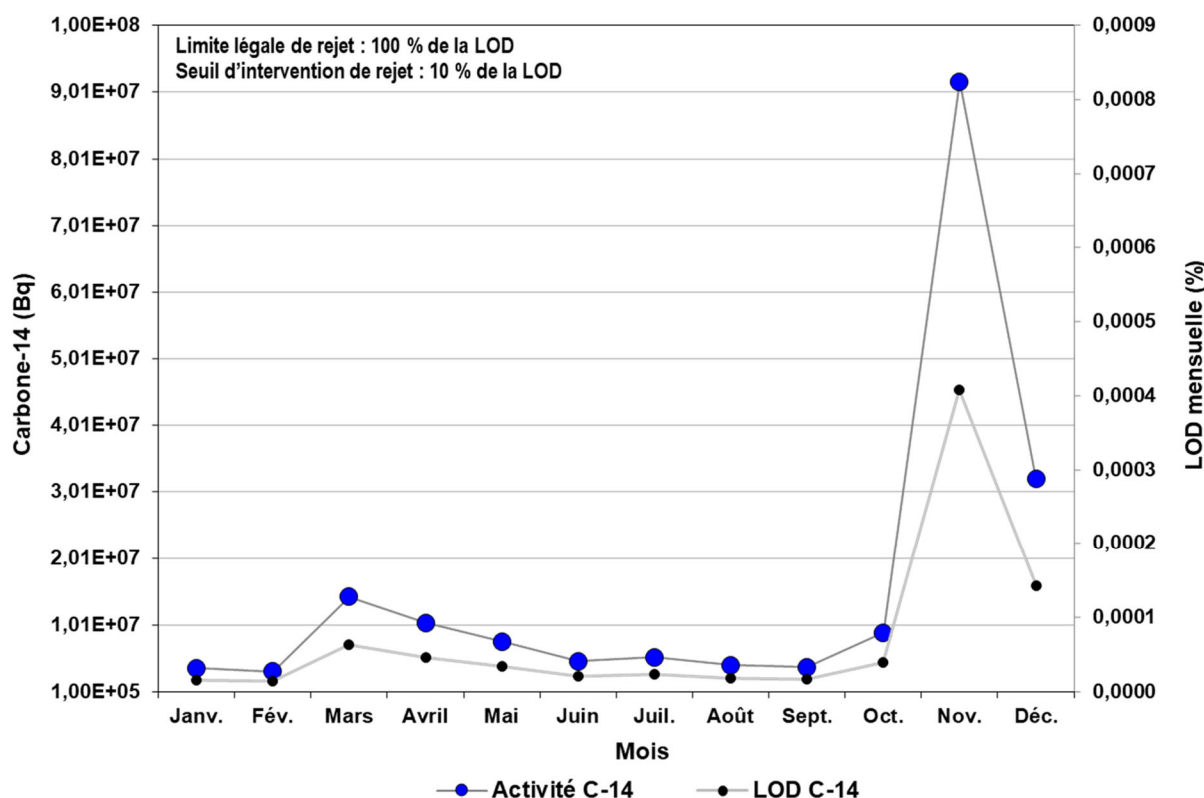
Figure 2-5 : Présence de tritium aux effluents liquides de l'installation nucléaire de Gentilly-2, exprimée en % LOD et en activité sur une base mensuelle pour l'année 2019



Au cours de l'année 2019, les concentrations de tritium mesurées mensuellement aux effluents liquides ont été influencées par la contribution de deux principales activités préparatoires à la période de stockage sous surveillance de l'installation nucléaire.

La première activité fut celle de la reprise des travaux de décontamination de matériel absorbant contenant une fraction d'eau lourde. En 2019, ces travaux ont été réalisés, de façon relativement soutenue, entre le 4 février et le 10 décembre, entrecoupés de quelques arrêts en période estivale. Lors de ces travaux, l'étape initiale de trempage du matériel amène une désorption du tritium, qui est ensuite drainé aux réservoirs d'effluents radioactifs liquides. La seconde activité était plutôt liée à la gestion d'un certain nombre de barils de liquide à faible concentration d'eau lourde au centre de décontamination de Gentilly-2. La valeur mensuelle la plus élevée de l'année 2019 est d'ailleurs marquée de ces travaux. Cette activité mensuelle maximale de tritium quantifiée en 2019, celle du mois de mars, fut équivalente à 0,02 % LOD.

Figure 2-6 : Présence de carbone-14 aux effluents liquides de l'installation nucléaire de Gentilly-2, exprimée en % LOD et en activité sur une base mensuelle pour l'année 2019

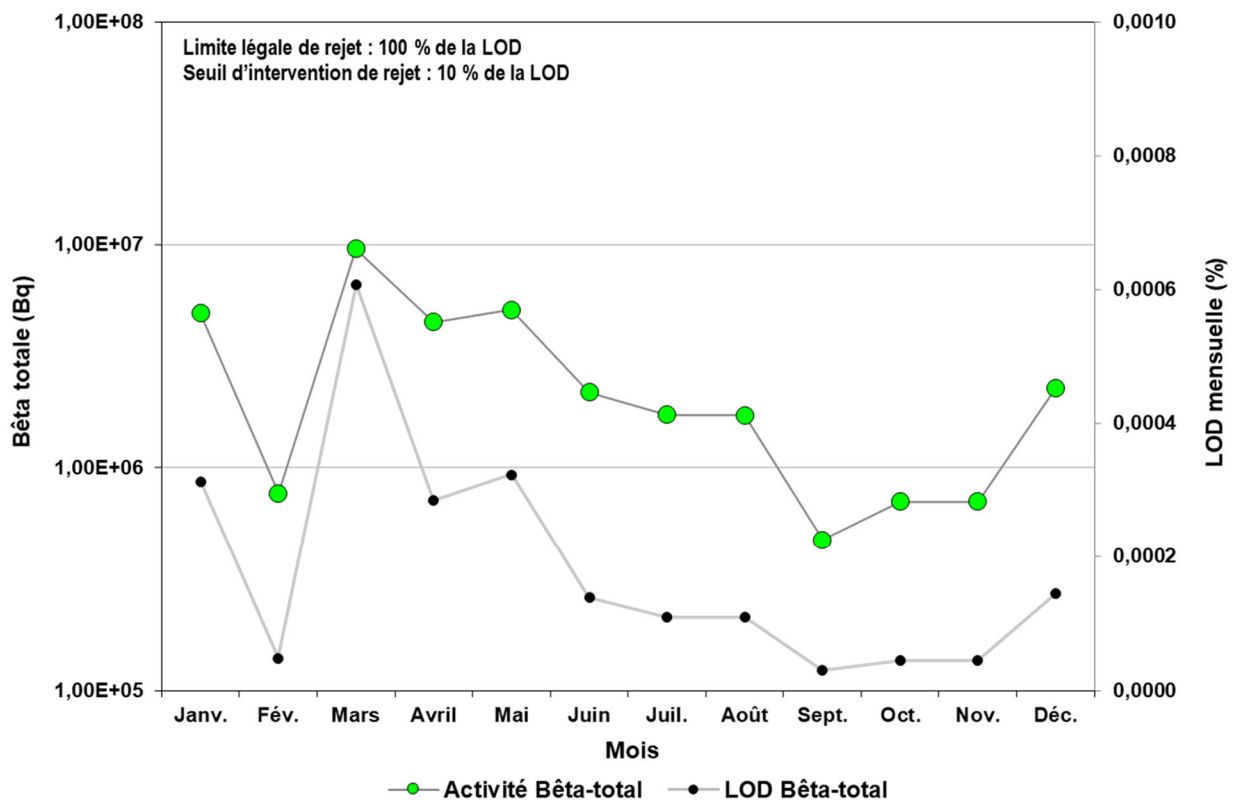


Les valeurs mensuelles d'activité de carbone-14 aux effluents liquides sont demeurées très faibles tout au cours de l'année 2019, en continuité de l'année précédente. Rappelons que l'année 2018 avait été marquée d'une chute drastique des concentrations de carbone-14 par rapport à l'année 2017. L'achèvement des activités

de pompage et de transfert des résines usées échangeuses d'ions en avait été la cause. Comme il était considéré que près de 90 % de la charge de carbone-14 produite pendant toute la période d'exploitation de la centrale nucléaire de Gentilly-2 avait été captée par les résines dédiées à la purification de l'eau lourde du système modérateur, il était prévu que la fin de ces travaux, en automne 2017, s'accompagne d'un retour rapide et chronique à de très faibles concentrations de carbone-14 aux effluents radioactifs liquides.

L'activité mensuelle maximale de carbone-14 quantifiée aux effluents liquides au cours de l'année 2019 fut celle du mois de novembre, équivalente à 0,00041 % LOD. La déclinaison des valeurs mensuelles de l'année 2019 est similaire à l'année précédente, mais marque toujours un sévère contraste avec l'année 2017.

Figure 2-7 : Présence d'activité bêta totale aux effluents liquides de l'installation nucléaire de Gentilly-2, exprimée en % LOD et en activité sur une base mensuelle pour l'année 2019



Au cours de l'année 2019, tout comme par de nombreuses années passées, le profil d'activité bêta totale quantifiée aux rejets radiologiques liquides a peu fluctué. Il ne semble pas non plus être directement modulé par les principales manœuvres liées aux travaux précités. Les valeurs mensuelles sont plutôt stables. L'activité mensuelle maximale de l'année 2019, qui est associée au mois de mars, fut de moins d'un millième d'un pour cent de sa LOD spécifique, et quantifiée à 0,0006 % LOD.

Le tableau 2-5 présente les valeurs mensuelles d'activité pour des radionucléides ou indice de radioactivité d'intérêt, aux effluents radioactifs liquides en 2019.

Tableau 2-5 : Activité des principaux radionucléides ou indice de radioactivité issus des effluents liquides à l'installation nucléaire de Gentilly-2 pour l'année 2019

Mois	Tritium (Bq)	Bêta totale (Bq)	Carbone-14 (Bq)
Janvier	1,65E+11	4,94E+06	3,61E+06
Février	2,98E+12	7,67E+05	3,12E+06
Mars	2,18E+13	9,62E+06	1,43E+07
Avril	5,00E+12	4,51E+06	1,04E+07
Mai	4,97E+12	5,11E+06	7,64E+06
Juin	1,09E+12	2,18E+06	4,68E+06
Juillet	9,87E+12	1,73E+06	5,29E+06
Août	6,43E+12	1,72E+06	4,05E+06
Septembre	1,77E+12	4,74E+05	3,83E+06
Octobre	1,39E+13	7,04E+05	8,91E+06
Novembre	6,80E+12	7,06E+05	9,17E+07
Décembre	7,38E+12	2,28E+06	3,21E+07

La figure 2-8 présente les valeurs annuelles de radioactivité aux rejets liquides de l'installation nucléaire de Gentilly-2, de 2000 à 2019. Il importe de rappeler que cette période a été marquée d'un changement des valeurs de LOD à quatre reprises, soit en juin 2011, puis en octobre 2014 à la suite de l'arrêt des pompes EDC (débit réduit), en juillet 2017 à la suite du processus imposé d'examen et de révision, et finalement en 2018 en conséquence du prolongement de la conduite de rejet des effluents liquides.

Bien que pareille précision ait été précédemment apportée pour les valeurs annuelles de rejets aériens de la période 2000-2019, elle doit aussi l'être pour l'interprétation de la figure 2-8. Ainsi donc, la baisse apparente du niveau de radioactivité des rejets liquides des années 2011, 2012 et 2013 est en partie attribuable à l'adoption de nouvelles valeurs de LOD, plus élevées que celles appliquées aux années précédentes.

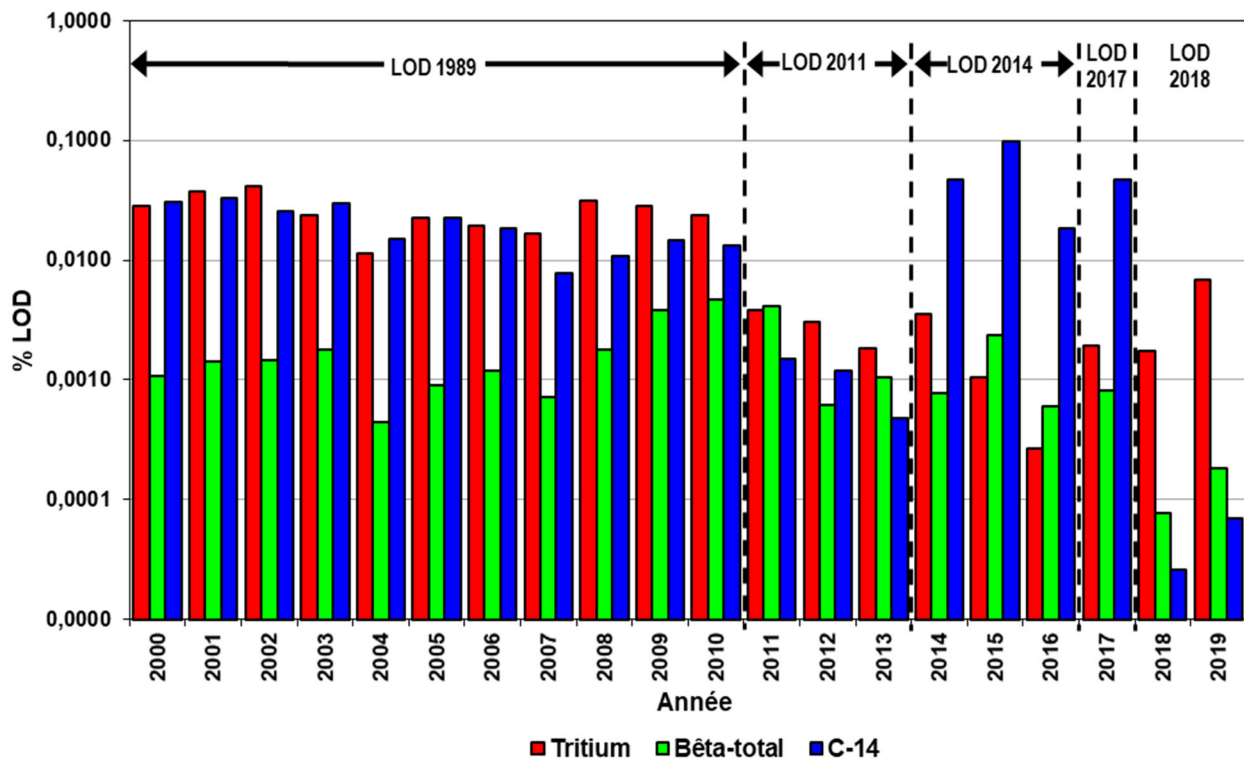
À l'inverse, les hausses apparentes constatées aux années 2014, 2015 et 2016 sont en partie attribuables à une transition vers des valeurs de LOD liquides plus faibles que celles appliquées antérieurement, imposées par la réduction du débit au canal de rejet.

Nonobstant les paragraphes qui précèdent, l'année 2019 fut marquée d'une hausse des sommations annuelles de l'activité radiologique pour les principaux radionucléides suivis aux effluents radioactifs liquides de Gentilly-2. En comparaison de l'année précédente, la valeur annuelle d'activité de tritium de l'année 2019 fut en hausse de 50,6 %, celle du carbone-14 de 10,6 %, et celle de l'activité bêta totale de 38,6 %. Mises à part deux résultats de tritium, toutes les autres valeurs mensuelles de tritium, de carbone-14 et d'activité bêta totale des effluents radioactifs liquides ont été

en deçà d'un ratio équivalent à un centième de pour cent LOD (0,01 % LOD) pour l'année 2019.

Quant aux sommations annuelles de l'activité en présence aux effluents radiologiques liquides, elles ont été, en 2019, de 8,22E+13 Bq pour le tritium, de 1,90E+08 Bq pour le carbone-14 et de 3,47E+07 Bq pour l'activité bêta totale.

Figure 2-8 : Rejets radioactifs liquides annuels de l'installation nucléaire de Gentilly-2 exprimés en % LOD pour la période 2000-2019



Note : Modification des valeurs des LOD pour les émissions liquides en juin 2011, en octobre 2014, en juillet 2017 et en novembre 2018.

2.2.1 Réservoirs de récupération des eaux radioactives

Toutes les eaux potentiellement radioactives provenant des différents systèmes ou locaux de l'installation nucléaire de Gentilly-2 sont drainées dans cinq différents réservoirs de récupération des eaux radioactives, d'une capacité effective de 60 000 L chacun. Le contenu de ces cinq réservoirs est préalablement analysé (paramètres radiologiques et physicochimiques), neutralisé si nécessaire, puis dispersé au fleuve Saint-Laurent via la conduite prolongée d'évacuation des effluents liquides. En 2019, le contenu de 110 réservoirs a été vidangé selon cette procédure, une hausse de l'ordre de 27,9 % par rapport à 2018. La décontamination de matériel absorbant de même que la gestion de barils de liquide à faible concentration d'eau lourde en sont la principale cause.

Outre les apports d'eau générés par les activités réalisées à l'intérieur des différents bâtiments des installations de Gentilly-2, les eaux de certains puisards de l'aire de stockage des déchets radioactifs (ASDR) sont également acheminées à l'unité de traitement des eaux industrielles par le biais d'un réservoir mobile. Il en est de même pour l'eau qui peut être collectée des cylindres des modules de stockage à sec du combustible irradié, lorsque drainée en préparation des échantillonnages d'air. Tous ces volumes d'eau sont gérés en fonction de critères de rejets prédéterminés, analysés et contrôlés au besoin, pour ensuite être vidangés dans un des cinq réservoirs de récupération des eaux radioactives, lequel est à ce moment aligné au système.

En ce qui a trait aux volumes d'eau maintenant dérivée du réseau de collecte menant aux réservoirs de récupération des eaux radioactives, Hydro-Québec partage dorénavant à la CCSN les résultats de caractérisation complémentaire, réalisée sur une base mensuelle, à même le *Rapport sur les indicateurs de rendement en matière de sûreté des installations de Gentilly-2 - rejets radiologiques dans l'environnement*. Ces volumes d'eau impliquent uniquement celle s'infiltrant dans des drains ceinturant la base des deux réservoirs souterrains de résines usées, maintenant vides de contenu.

2.2.2 Drainage pluvial

Le tableau 2-6 présente la qualité radiologique des eaux de surface prélevées dans les systèmes de drainage des eaux pluviales des installations de Gentilly-2, au cours de l'année 2019. Ces installations sont desservies par trois puisards pluviaux principaux drainant chacun une large superficie des terrains à l'intérieur du périmètre clôturé du site aussi bien que des aires de stationnement (carte A-2 de l'annexe A).

Tableau 2-6 : Activité des principaux radionucléides dans les systèmes de drainage pluvial des installations de Gentilly-2 pour l'année 2019

Puisard	Date	Tritium (Bq L ⁻¹)	Carbone-14 (Bq L ⁻¹)	Spectrométrie gamma		
				⁶⁰ Co (Bq Kg ⁻¹)	¹²⁵ Sb (Bq Kg ⁻¹)	¹³⁷ Cs (Bq Kg ⁻¹)
MCH-1	2019-04-23	517 ± 7	0,46 ± 0,04	< 0,16	< 0,39	< 0,16
	2019-07-24	400 ± 7	< 0,25	< 0,16	< 0,43	< 0,18
	2019-10-21	2 648 ± 27	< 0,24	< 0,16	< 0,44	< 0,18
MCH-2	2019-04-23	198 ± 5	< 0,23	< 0,12	< 0,31	< 0,13
	2019-07-24	261 ± 6	< 0,25	< 0,13	< 0,28	< 0,12
	2019-10-21	444 ± 7	< 0,24	< 0,12	< 0,27	< 0,12
MCH-3	2019-04-23	500 ± 7	0,33 ± 0,03	< 0,12	< 0,32	< 0,13
	2019-07-24	332 ± 6	< 0,25	< 0,12	< 0,30	< 0,13
	2019-10-21	1 536 ± 16	< 0,24	< 0,13	< 0,30	< 0,13

L'analyse des trois séries de résultats de l'année 2019 ne révèle encore une fois aucune concentration de radioactivité témoignant d'une situation problématique qui serait survenue à proximité de l'installation nucléaire de Gentilly-2. En considérant l'emplacement des superficies qu'ils drainent et celui de la cheminée principale, les valeurs de radioactivité mesurées dans chacun des puisards sont celles attendues. Comme par les années passées, la valeur maximale mesurée pour les trois systèmes de drainage suivis au programme de surveillance radiologique de l'environnement a été tirée d'un échantillon du puisard MCH-1, en octobre 2019. Ce dernier collecte d'ailleurs l'eau de tout le réseau de drainage desservant les cours et les allées extérieures sises à grande proximité de la cheminée principale, en zone d'exclusion.

2.2.3 Eaux usées sanitaires

Considérant l'emplacement de certains cabinets de toilettes et salles de douche en zones contrôlées, des analyses radiologiques sont également menées à l'effluent des eaux usées sanitaires qui sont d'abord canalisées aux étangs aérés de Gentilly-2.

En 2019, la concentration maximale de tritium mesurée dans les eaux usées sanitaires produites aux points desservis dans l'ensemble des bâtiments des installations de Gentilly-2 fut de 61 Bq L^{-1} (avril 2019). Aussi, la concentration de carbone-14 a toujours été inférieure à la limite de détection (LD) des appareils de laboratoire, déterminée à $0,6 \text{ Bq L}^{-1}$ alors que la seule quantification d'émetteur gamma fut celle du thallium-208, mesuré à $0,15 \text{ Bq L}^{-1}$ (juillet 2019).

3 Résultats du suivi des effluents – volet physicochimique

Le chapitre 3 porte sur les principaux contaminants atmosphériques liés aux activités des installations de Gentilly-2 et rapporte les résultats du suivi des effluents liquides pour le volet physicochimique.

3.1 Émissions atmosphériques

Pour les installations de Gentilly-2 et leurs différents systèmes et équipements, les principales sources d'émissions atmosphériques de contaminants physicochimiques sont la combustion des moteurs et la perte de gaz réfrigérants (halocarbures).

3.1.1 Consommation de produits pétroliers

Le tableau 3-1 présente la consommation de produits pétroliers de 2016 à 2019. Ces produits pétroliers sont utilisés dans le cadre de la poursuite de l'opération de quelques systèmes, de l'entretien et de la surveillance des installations de Gentilly-2. Les données concernant la consommation de produits pétroliers proviennent du magasin des installations qui gère toutes les entrées et sorties de matériel.

Tableau 3-1 : Quantité de produits pétroliers consommés aux installations de Gentilly-2 pour la période 2016-2019

Type de produit pétrolier	Quantité consommée par année (litres)			
	2016	2017	2018	2019
Gaz de pétrole liquéfié (propane) (utilisé par les chariots élévateurs d'Hydro-Québec)	728	699	1 631	1 398
Essence (utilisée par les véhicules légers d'Hydro-Québec)	22 080	20 529	16 773	15 560
Diésel clair (utilisé par les véhicules lourds d'Hydro-Québec)	4 107	4 034	6 685	5 815
Diésel coloré (utilisé par les moteurs stationnaires d'Hydro-Québec)	1 500	838	1 713	1 670

Les variations annuelles de consommation d'essence et de diésel clair par les différents véhicules d'Hydro-Québec s'expliquent généralement par la nature et le nombre des travaux faits sur le site, de même que par le nombre de rondes effectuées par les agents responsables de la sécurité industrielle des installations de Gentilly-2.

La consommation de combustibles fossiles par les moteurs stationnaires est liée aux essais impliquant les génératrices dédiées à l'alimentation électrique d'urgence ainsi qu'aux pompes d'urgence du système d'eau d'incendie. Ces essais constituent des activités engagées au permis de déclassement délivré par la CCSN.

3.1.2 Gaz réfrigérants

Aux installations de Gentilly-2, l'utilisation d'hydrochlorofluorocarbures (HCFC) est liée aux systèmes de réfrigération. Pour chaque intervention sur ces systèmes, un registre est tenu afin de comptabiliser les pertes et recharges de gaz. L'estimation des émissions totales de gaz réfrigérants dans l'environnement se fait en considérant les quantités de gaz ajoutées dans les équipements.

En 2019, il y a eu 9,1 kg de HCFC perdu dans l'atmosphère lors d'un événement accidentel survenu le 10 juillet, conséquence d'une fuite sur un joint d'étanchéité. La pièce défectueuse a été remplacée.

3.2 Effluents liquides

Comme décrit à la section 2.2, les principaux effluents liquides des installations de Gentilly-2 sont rejetés via :

- la conduite d'évacuation de l'EDC (pour la seule portion de l'EBA) ;
- les étangs aérés pour l'épuration des eaux usées sanitaires ;
- le réseau de drainage pluvial.

Tous ces effluents liquides sont ultimement déversés dans le canal de rejet de Gentilly-2, où aboutissent toujours les extrémités de canalisations de ces systèmes.

À ces effluents s'ajoute celui de procédé provenant des réservoirs de récupération des eaux radioactives, maintenant dispersé au fleuve via le prolongement de la conduite d'effluents liquides dans le chenal sud du fleuve Saint-Laurent. Cette conduite, mise en service le 1^{er} novembre 2018, vient pallier l'absence d'effluent final du système EBR qui servait jusqu'alors à favoriser la circulation d'eau dans le canal de rejet.

Les sous-sections suivantes présentent le bilan des résultats de la surveillance physicochimique des effluents liquides pour lesquels des normes ou des cibles sont établies. Les différents paramètres et critères de surveillance physicochimique sont documentés dans le PSE des installations de Gentilly-2 (Hydro-Québec, 2018) qui a initialement été élaboré par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC, aujourd'hui MELCC) et Hydro-Québec lors de l'émission du décret 536-2007 du 27 juin 2007. Ce décret concernait la délivrance d'un certificat d'autorisation (CA) pour le projet de modification des installations de stockage des déchets radioactifs des installations de Gentilly-2.

Les modalités de surveillance du volet physicochimique, décrites au PSE 2018, sont résumées au tableau B-1 de l'annexe B.

3.2.1 Réservoirs de récupération des eaux radioactives

Le système de gestion des déchets radioactifs liquides reçoit toutes les eaux potentiellement contaminées des systèmes radioactifs de l'installation nucléaire de Gentilly-2. Lorsqu'un réservoir doit être vidangé, des analyses physicochimiques et radiologiques sont effectuées afin de déterminer l'acceptabilité du rejet. Si tous les critères physicochimiques et radiologiques sont respectés, le contenu du réservoir est pompé dans la conduite prolongée des effluents radioactifs liquides qui se termine dans le chenal sud du fleuve Saint-Laurent.

Advenant le dépassement d'un critère ou d'une norme, Hydro-Québec s'assure que les eaux destinées au rejet soient d'abord neutralisées ou traitées conformément aux procédures d'exécution. Des analyses supplémentaires sont par la suite effectuées et la procédure se répète jusqu'à ce que la qualité de l'eau des effluents respecte pleinement les critères et qu'un rejet soit autorisé. Le tableau 3-2 présente les résultats des analyses physicochimiques réalisées aux réservoirs de récupération des eaux radioactives, et ce, avant neutralisation ou traitement.

Tableau 3-2 : Résultats d'analyses physicochimiques des réservoirs de récupération des eaux radioactives de l'installation nucléaire de Gentilly-2 pour l'année 2019

Paramètre	Norme	Résultat		
		Valeur moyenne	Valeur maximale	Valeur minimale
HP C ₁₀ -C ₅₀ (mg L ⁻¹)	≤ 5	0,3	1,4	< 0,1
pH	5,5 à 9,5	8,1	9,5	7,5

3.2.2 Eaux usées sanitaires

Les eaux usées sanitaires des installations de Gentilly-2, dont le débit moyen a été de 47 m³ jour⁻¹ en 2019, sont collectées par une station de pompage et traitées dans un étang aéré dûment autorisé. L'eau transite par deux cellules qui sont aérées par des pompes submersibles et par une troisième cellule, non aérée, permettant la sédimentation des matières en suspension (MES). Les trois cellules sont séparées physiquement par deux membranes semi-perméables et le temps de résidence de l'eau est d'environ 74 jours. Finalement, l'eau est évacuée dans le canal de rejet par le biais d'un émissaire. Les résultats du suivi environnemental sont illustrés au tableau 3-3.

Tous les paramètres mesurés lors des inspections mensuelles ont satisfait les normes. Cependant, à deux reprises, la concentration d'oxygène dissous a été inférieure à la cible de 2,0 mg L⁻¹, soit en août et en septembre (0,7 et 1,61 mg L⁻¹ respectivement), et ce malgré le fonctionnement de tous les aérateurs. Cet écart par rapport à la cible pourrait provenir de l'augmentation du temps de résidence de l'eau, conséquence de la diminution de la charge hydraulique. Le retour à la conformité (3,3 mg L⁻¹) a été constaté le 1^{er} octobre 2019.

Tableau 3-3 : Résultats d'analyses physicochimiques de l'effluent du système de traitement des eaux usées sanitaires des installations de Gentilly-2 pour l'année 2019

Paramètre	Norme ou cible	Concentration		
		Valeur moyenne	Valeur maximale	Valeur minimale
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	≤ 30	3	5	< 2
Coliformes fécaux (c.f. 10 ml ⁻¹)	≤ 20 000	44	250	< 10
HP C ₁₀ -C ₅₀ (mg L ⁻¹)	Absence de film visible à la surface	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Oxygène dissous (mg L ⁻¹)	≥ 2 (cible)	7,7	13,9	0,70

En 2019, les lentilles aquatiques à la surface de l'eau de l'étang aéré ont été récupérées au mois d'octobre afin d'éviter que des phosphates ne soient relâchés durant la période hivernale. Par ailleurs, la végétation présente en berges de l'étang aéré a été maîtrisée mécaniquement en juin.

3.2.3 Eaux de surface – drainage pluvial

Les systèmes de drainage des eaux pluviales sont composés de trois réseaux qui recueillent les eaux de surface des voies et des aires d'aménagement à l'intérieur de la digue de protection contre les inondations et celles des drains de toits. Ces eaux sont dirigées vers trois postes de pompage (MCH-1, 2 et 3) (carte A-2 de l'annexe A). Chacun des postes possède deux pompes qui démarrent lorsque le niveau d'eau atteint un point de consigne. Ces pompes évacuent ensuite l'eau au fleuve Saint-Laurent. En 2019, trois séries d'analyses physicochimiques ont été effectuées à chacun des postes. Les moyennes sont présentées au tableau 3-4.

Tableau 3-4 : Résultats d'analyses physicochimiques de l'effluent des systèmes de drainage pluvial des installations de Gentilly-2 pour l'année 2019

Réseau	Moyenne (mg L ⁻¹)					
	Chlorures	Chrome	Plomb	Fer	HP C ₁₀ -C ₅₀	MES
MCH-1	203	< 0,0050	0,00059	0,27	0,10	3,0
MCH-2	483	< 0,0050	< 0,000050	0,11	< 0,10	< 2,0
MCH-3	427	< 0,0050	< 0,000050	0,63	< 0,10	3,3

Parmi les paramètres analysés, seuls les hydrocarbures pétroliers sont normés, leur concentration devant être inférieure à 2 mg L⁻¹. Les résultats indiquent que cette norme a été respectée en 2019.

4 Autres engagements de suivi

Dans le cadre du PSE (Hydro-Québec, 2018) ou de certaines circonstances exceptionnelles, d'autres engagements doivent faire l'objet de suivis. Le présent chapitre en présente les résultats.

4.1 Séparateur eau-huile

Le poste de transformation d'énergie électrique situé sur le site des installations de Gentilly-2 compte trois transformateurs. Des huiles minérales isolantes sont utilisées dans ces appareils sous lesquels un séparateur eau-huile et un réservoir de récupération d'huile sont installés. L'eau qui sort du séparateur eau-huile est ensuite acheminée vers le puisard pluvial MCH-1, puis dans le canal de rejet (carte A-2 de l'annexe A). Des trois transformateurs de puissance en présence, seuls deux impliquent maintenant des quantités d'huile puisque le transformateur de l'alternateur a été vidangé en juin 2019, comme abordé à la section 6.1.

Le système de récupération d'huile est conçu de façon à pouvoir en récupérer le contenu et le gérer conformément aux encadrements internes de gestion des matières dangereuses résiduelles (MDR), et en respect de la réglementation applicable.

Cet équipement appartient à la division TransÉnergie d'Hydro-Québec. L'obligation de suivi la concernant est cependant incluse au PSE. Elle prévoit une mesure annuelle de l'épaisseur de la couche d'huile dans le séparateur. Une épaisseur d'huile de 1,25 cm a été mesurée en 2019.

4.2 Suivi des eaux souterraines au pourtour des installations de stockage de déchets radioactifs

Les résultats du suivi de la qualité physicochimique des eaux de la nappe phréatique à proximité des installations de déchets radioactifs sont présentés au tableau 4-1. Les résultats de la surveillance radiologique des eaux souterraines à ces mêmes installations sont quant à eux présentés au chapitre 8 du présent rapport.

Au total, sept piézomètres (P-5, P-7, P-22, P-31, P-36, P-X et P-Y) sont échantillonnés aux horizons A, B et C (carte A-3 et figure A-1 de l'annexe A) pour le suivi de la qualité physicochimique des eaux souterraines. Ces piézomètres couvrent les eaux souterraines des secteurs suivants :

- nord de l'installation de gestion des déchets radioactifs solides (IGDRS) (P-5) ;
- fossé à l'ouest de l'IGDRS (P-7) ;
- périphérie de l'ASDR (P-22, P-31 et P-36) ;
- périphérie de l'IGDRS (P-X et P-Y).

Tableau 4-1 : Résultats d'analyses physicochimiques des eaux souterraines prélevées au pourtour des installations de déchets radioactifs de Gentilly-2 pour l'année 2019

Paramètre	Critère	Moyenne des mesures ou concentrations		
		Horizon A	Horizon B	Horizon C
pH	5,5 à 9,5	8,47	8,19	7,57
Chlorures (mg L ⁻¹)	≤ 860	2 093	45	59
Conductivité (μS cm ⁻¹)	Aucun	5 754	1 243	884
Sulfates (mg L ⁻¹)	Aucun	155	133	100
Cadmium (mg L ⁻¹)	≤ 0,0043 ^a	0,00021	0,00027	< 0,00020
Chrome (mg L ⁻¹)	Aucun	0,022	0,051	0,007
Cuivre (mg L ⁻¹)	≤ 0,027 ^a	0,019	0,053	0,009
Fer (mg L ⁻¹)	Aucun	23	75	15
Plomb (mg L ⁻¹)	≤ 0,20 ^a	0,012	0,034	0,0023
Zinc (mg L ⁻¹)	≤ 0,22 ^a	0,06	0,14	0,02
HP C ₁₀ -C ₅₀ (mg L ⁻¹)	≤ 1,8	< 0,1	0,1	0,12
^a Ajusté pour une dureté de 200 mg CaCO ₃ L ⁻¹ selon les critères de qualité de l'eau de surface au Québec pour la protection de la vie aquatique, effet aigu.				

Les échantillons sont prélevés semestriellement, soit au printemps et à l'automne. Les échantillons sont conservés conformément au *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales – cahier 3, échantillonnage des eaux souterraines* (MDDEP, 2011). Les critères de qualité sont ceux énoncés dans le *Guide d'intervention – Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés* (Beaulieu, 2019).

Tel qu'il a été observé au cours des suivis antérieurs, des teneurs élevées en chlorures et en cuivre ont été mesurées en 2019, notamment dans les échantillons provenant des piézomètres P-22 et P-31. Celles-ci sont d'origine naturelle. Les valeurs maximales unitaires mesurées ont été de 8 800 mg L⁻¹ pour les chlorures, de 0,048 mg L⁻¹ pour le cuivre et de 0,068 mg L⁻¹ pour le zinc, respectivement pour les piézomètres P-22A, P-31B et P-31B.

Le PSE prévoit par ailleurs la prise de mesures des niveaux piézométriques deux fois par année aux crépines des horizons A, B et C des sept mêmes ouvrages (tableau 4-2).

Tableau 4-2 : Mesures des niveaux piézométriques aux installations de Gentilly-2 pour l'année 2019

Date de la prise de mesures	Moyenne des niveaux (m)		
	Horizon A	Horizon B	Horizon C
2019-03-25	4,78	3,54	3,18
2019-09-24	4,71	3,58	3,43
Variation moyenne	0,07	0,04	0,25

À elles seules, les données de profondeur ne peuvent fournir une information complète puisque relatives, la mesure du niveau étant faite à partir du rebord de chacun des couvercles de piézomètre. La variation moyenne entre basse et haute piézométries offre cependant une appréciation du marnage annuel des trois horizons.

4.3 Matières dangereuses utilisées au travail

Le tableau 4-3 présente un sommaire de la consommation de produits chimiques dans le cadre des activités toujours maintenues aux installations de Gentilly-2. Le portrait de l'année 2019 témoigne de façon évidente du ralentissement significatif des activités liées à l'opération de systèmes.

Tableau 4-3 : Consommation de produits chimiques aux installations de Gentilly-2 pour l'année 2019

Substance	État	Concentration (%)	Unité	Consommation
Acide et base				
Acide sulfurique	Liquide	96	kg	0
Alun	Liquide	50	kg	0
Morpholine	Liquide	80	L	0
Hydroxyde de sodium	Liquide	50	kg	0
Bicarbonate de sodium	Solide	s. o.	kg	0
Matière oxydante				
Peroxyde	Liquide	35	kg	0
Chlore	Liquide	100	kg	0
Matière réductrice				
Hydrazine	Liquide	35	L	0
Gaz				
Azote	Gazeux	100	m ³	1 214
Hélium	Gazeux	100	m ³	202
Hydrogène	Gazeux	100	m ³	0
Bioxyde de carbone	Gazeux	100	kg	0
Produit pétrolier				
Huiles	Liquide	s. o.	L	170,6
Autre				
Résines échangeuses d'ions	Solide	s. o.	m ³	0,25
s. o. : Sans objet.				

5 Consommation d'eau

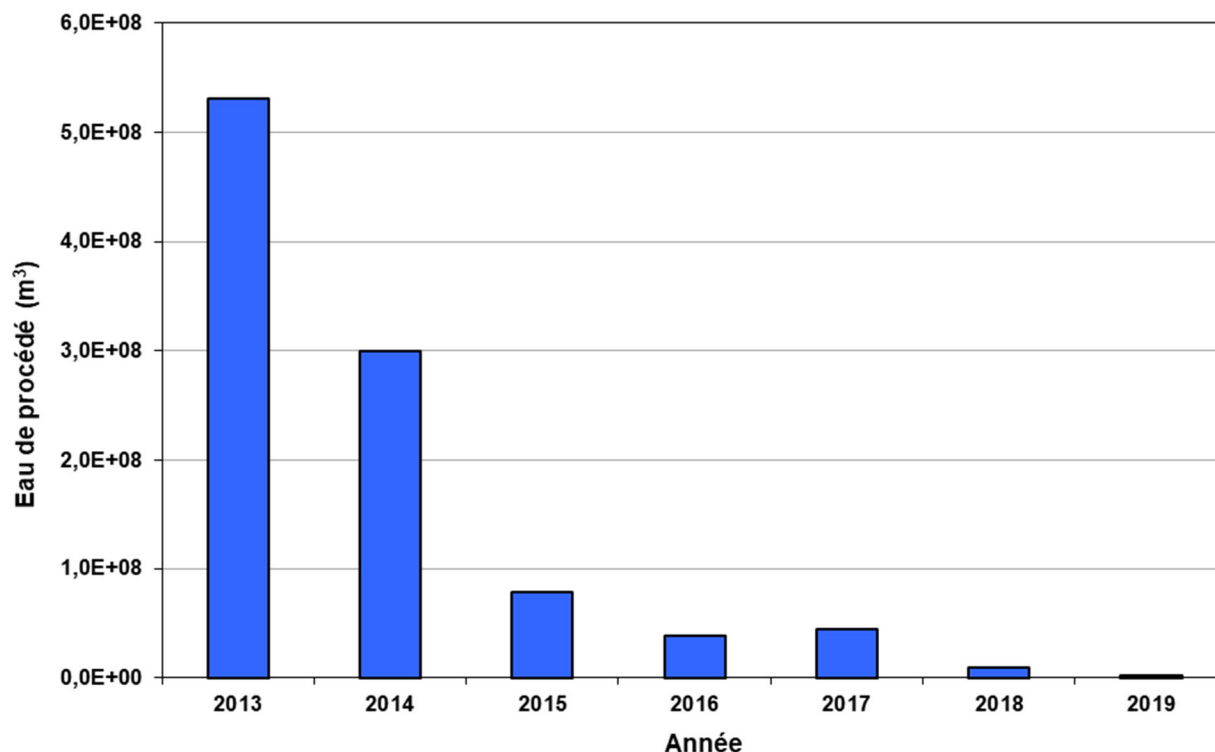
Bien qu'ils soient réduits, des approvisionnements d'eau sont toujours nécessaires aux installations de Gentilly-2, qu'ils soient pour des besoins de procédé industriel ou de consommation humaine.

Le volume rapporté pour la consommation d'eau de procédé provient de la sommation du débit évalué du système d'eau brute d'alimentation (EBA), utilisée pour le refroidissement de divers systèmes et équipements. L'estimation du volume d'eau prélevé est basée sur une demande maximale de refroidissement.

En 2019, la consommation annuelle d'eau de procédé s'établit à 2 522 880 m³, en diminution de 73 % comparativement à l'année précédente (figure 5-1). Cette diminution est en lien direct avec l'arrêt des pompes du système EBR qui, jusqu'au 31 octobre 2018, assurait une meilleure dispersion des effluents liquides radioactifs dans le canal de rejet.

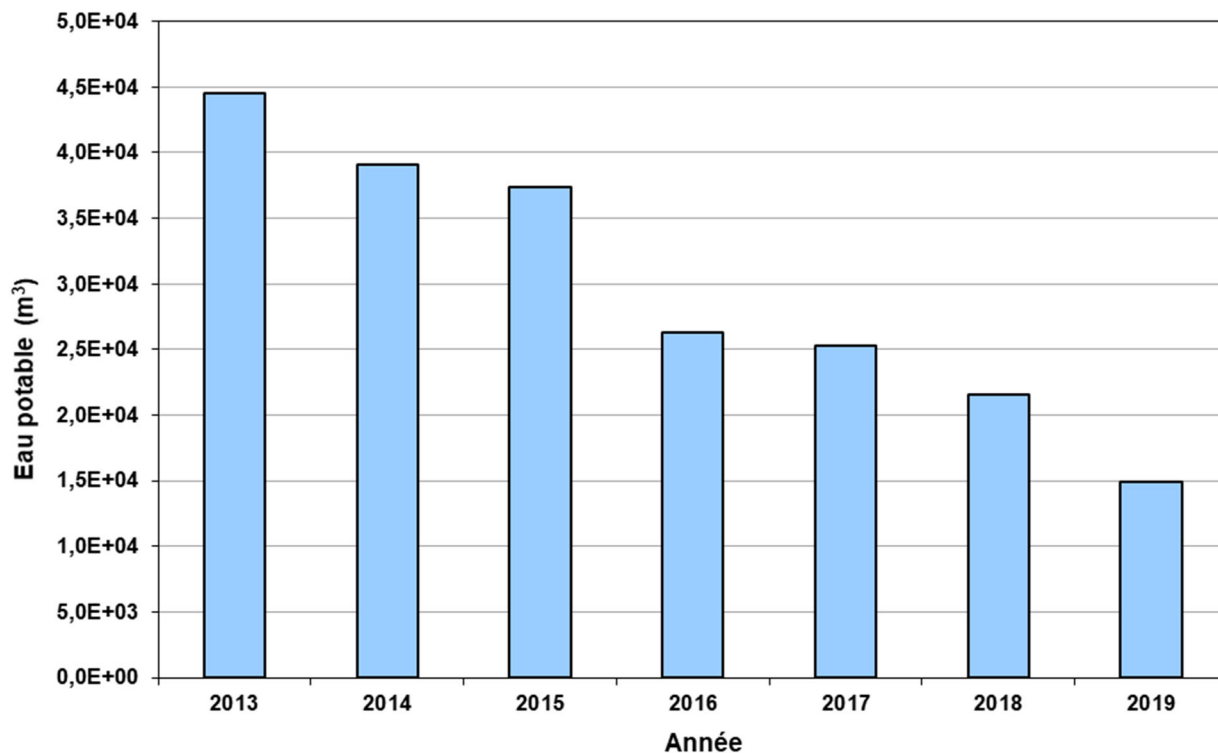
Par ailleurs, lorsque comparée à la dernière année de production d'électricité de l'installation nucléaire (2012), on observe une diminution de plus de 99 % de la consommation d'eau de procédé.

Figure 5-1 : Consommation d'eau de procédé aux installations de Gentilly-2 pour la période 2013-2019



En ce qui a trait à la consommation d'eau potable comptabilisée en 2019, elle fut de 14 949 m³, également en diminution de près de 31 % en comparaison de l'année précédente (figure 5-2). Cette diminution est par ailleurs de l'ordre de 74 % en comparaison de l'année 2012, dernière année de production d'électricité. La diminution de consommation d'eau potable témoigne notamment du niveau de fréquentation des installations de Gentilly-2, en baisse depuis l'année 2012 ainsi que du démantèlement d'équipements sanitaires fuyards et de l'isolation d'appoint d'eau d'un système de chauffage.

Figure 5-2 : Consommation d'eau potable aux installations de Gentilly-2 pour la période 2013-2019



6 Matières dangereuses et autres matières résiduelles

6.1 Matières dangereuses résiduelles

En 2019, près de 18 300 kg et un peu plus de 74 000 L de MDR non contaminées radiologiquement ont été produits, et gérés conformément à la réglementation dans le cadre des activités d'opération de systèmes et de déclasserement des installations de Gentilly-2.

De ces quantités, 66 545 L d'huile minérale isolante vidangée du transformateur de l'alternateur ont été acheminés au Centre d'entretien et de réparation de Varennes (CERV) d'Hydro-Québec pour être régénérée. Cette huile sera ensuite réutilisée par l'entreprise.

Les autres MDR recensées en 2019 ont été transférées dans un des Centres de récupération des matières dangereuses (CRMD) d'Hydro-Québec (tableau 6-1). Les CRMD ont pour mandat d'organiser la réutilisation, la revalorisation ou la disposition finale des MDR à l'échelle de l'entreprise.

Tableau 6-1 : Quantité de matières dangereuses résiduelles générées aux installations de Gentilly-2 pour l'année 2019

Matière dangereuse résiduelle	Quantité expédiée dans un CRMD
Accumulateurs (kg)	10 891,0
Aérosols (kg)	51,0
Ballast et petit appareil électronique (kg)	1 183,5
Barils et contenants vides contaminés (kg)	115,0
Eau contaminée (kg)	427,0
Eau huileuse (L)	5 460,0
Glycol (kg)	675,0
Huiles usées (L)	719,3
Lampes à vapeur de mercure (kg)	106,0
Liquide dangereux corrosif N.S.A. (kg)	630,0
Liquide dangereux toxique N.S.A. (kg)	2 011,0
Matériaux absorbants ou poreux (kg)	502,0
Piles sèches (kg)	384,0
Solides dangereux comburants N.S.A. (kg)	102,0
Solides dangereux contaminés par un liquide inflammable N.S.A. (kg)	255,0
Tubes fluorescents intacts (kg)	933,0

6.2 Biomasse et autres matières résiduelles

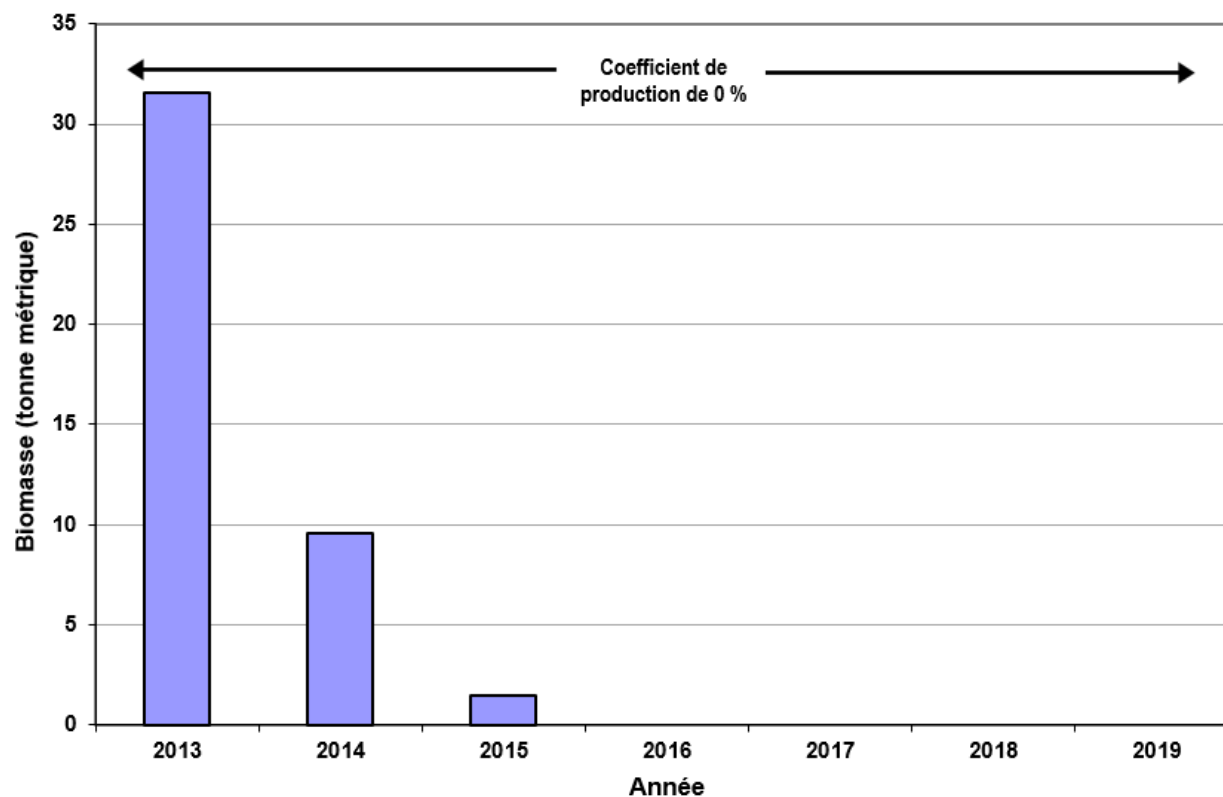
En 2019, un peu plus de 112 tonnes de matières résiduelles (MR) ont également été produites. De cette quantité, 82,5 tonnes ont été récupérées ou recyclées, dont près de 78 tonnes de métaux. Le reste des MR a été éliminé, soit un peu plus de 30 tonnes principalement constituées de matériaux ou débris de construction (tableau 6-2).

Tableau 6-2 : Quantité de matières résiduelles recyclées ou éliminées aux installations de Gentilly-2 pour l'année 2019

Matières résiduelles	Recyclage (t)	Élimination (t)
Papier, carton, plastique, verre et métal	4,59	s. o.
Métaux	77,91	s. o.
Déchets domestiques	s. o.	8,87
Biomasse de la station de pompage	s. o.	0,00
Matériaux ou débris de construction	s. o.	21,30
s. o. : Sans objet.		

Depuis 2016, il n'y a plus aucune levée de conteneur de biomasse (bois, végétaux, algues, poissons, débris, etc.) provenant de débris flottants captés à la prise d'eau de la station de pompage (figure 6-1). Au mois de mai 2017, le conteneur de collecte du dégrilleur a donc été retiré compte tenu de l'absence de débris captés. Considérant que les installations de Gentilly-2 sont en déclassement, que les pompes EDC sont en arrêt depuis octobre 2014 et que les pompes EBR le sont également depuis novembre 2019, il est normal d'observer une absence de biomasse captée à la station de pompage.

Figure 6-1 : Biomasse captée à la station de pompage des installations de Gentilly-2 pour la période 2013-2019



7 Déversements accidentels de contaminants dans l'environnement

En 2019, un seul déversement accidentel de contaminants liquides ayant atteint l'environnement est survenu sur le site des installations de Gentilly-2. Le tableau 7-1 fait état de la nature et de la quantité du produit déversé, ainsi que de la cause du déversement.

Tableau 7-1 : Quantité de produit liquide déversé accidentellement dans l'environnement aux installations de Gentilly-2 pour l'année 2019

Produit	Quantité (L)	Cause
Diésel	1	Bris d'équipement

Lors d'un ravitaillement régulier du réservoir d'une génératrice de la station de pompage, le carburant diésel s'est répandu en faible quantité sur un bâtiment et au sol, sur du gravier. Le gravier souillé a été récupéré en totalité et éliminé conformément à la réglementation. Il n'y a pas eu d'impact sur l'environnement.

8 Surveillance radiologique du milieu environnant

Au cours de l'année 2019, la surveillance radiologique du milieu environnant les installations de Gentilly-2 fut encore assurée par l'entremise d'un plan de surveillance radiologique de l'environnement (Hydro-Québec, 2017a). Au fil des différentes adaptations de ce plan, conséquentes des changements survenus aux installations dans le cadre de la progression du déclassé nucléaire, certaines modalités ont été abandonnées, réduites ou ajoutées. Ce fait explique parfois l'absence de données ou l'apparition de nouveaux points d'échantillonnage à quelques figures du chapitre 8. On y trouve conséquemment des séries pour lesquelles les points d'échantillonnage ne sont pas tous identiques pour des figures récapitulant les cinq dernières années.

Le tableau B-2 de l'annexe B présente un sommaire des différents paramètres et du nombre d'échantillons actuellement prévus au PSRE. Ce dernier résume les modalités de quantification de radioactivité pour une pléiade de matrices environnementales, dont l'air, l'eau de plusieurs sources, les précipitations, les sols, les sédiments, les plantes, les poissons et les mollusques ainsi que différents produits de consommation humaine. Rappelons également qu'en 2015, l'année suivant l'atteinte de l'état de stockage sûr (ÉSS) en piscine, une nouvelle station de contrôle radiologique (SCR) de référence avait été aménagée au cœur de la ville de Trois-Rivières, à un peu plus de 16 km au nord-ouest des installations de Gentilly-2. Même si cette station est située à plus faible distance de l'installation nucléaire que ne l'était la station de référence antérieure, laquelle était située à Drummondville, cette nouvelle station de référence est toujours réputée être hors d'atteinte des réelles possibilités de dispersion de radioactivité et, en ce sens, représentative du bruit de fond dans l'environnement.

Le chapitre 8 présente les résultats d'analyses radiologiques obtenus pour l'ensemble des échantillons du milieu environnant. L'emplacement des différents points d'échantillonnage et ouvrages de mesure dédiés à la surveillance radiologique figure aux cartes A-1 et A-3 à A-7 de l'annexe A alors que les modalités d'échantillonnage et d'analyses de laboratoire sont décrites aux tableaux B-3A à B-3F de l'annexe B.

8.1 Radionucléides retrouvés dans l'environnement

À des niveaux variables et sous différentes formes, la radioactivité est omniprésente dans l'environnement, et ce, qu'elle soit de sources naturelle ou anthropique. Chaque citoyen est ainsi exposé à la radioactivité à divers degrés. Les principales sources de rayonnement naturel sont d'origine cosmique, émanant du soleil et de l'espace, ou proviennent des radionucléides en présence dans différents substrats de la croûte terrestre. La radioactivité peut même être sous forme gazeuse, à l'exemple du radon, un produit de filiation de la longue chaîne de désintégration de l'uranium-238.

En haute atmosphère, des radionucléides sont aussi produits à la suite d'interactions du rayonnement cosmique et des atomes stables qui s'y trouvent. C'est notamment le cas du carbone-14, du tritium et du béryllium-7. Sur terre, d'autres radionucléides sont présents dans les formations rocheuses à l'exemple de l'uranium-238, du thorium-232 et du potassium-40. Ce dernier étant probablement le plus commun puisqu'il se retrouve également dans un grand nombre de produits comestibles, dont plusieurs fruits et légumes disponibles au Canada (CCSN, 2015a).

Par ailleurs, des essais militaires atomiques, réalisés en haute atmosphère dans quelques régions du monde jusqu'à la fin des années 1980, expliquent toujours aujourd'hui la présence de plusieurs radionucléides dans l'environnement, puisque certains d'entre eux ont une longue période radioactive et n'ont pas encore achevé leur désintégration (CCSN, 2015a). L'accident nucléaire de Tchernobyl, survenu en 1986, est aussi responsable de la dispersion de radionucléides en sol canadien, tel que du césium-137 que l'on retrouve encore dans notre milieu. Plus récemment, un autre événement survenu en 2011 à Fukushima Daiichi au Japon a également été la source d'une dispersion importante de radioactivité dans l'environnement. Finalement, les activités d'exploitation normale et de déclasséement d'une installation nucléaire de type CANDU impliquent également la dispersion d'une certaine part de radioactivité, et ce, bien qu'elle soit surveillée, comptabilisée, contrôlée et suivie des autorités.

8.2 Surveillance atmosphérique

Les sous-sections suivantes présentent les résultats des mesures de la surveillance atmosphérique locale et régionale, pour des volets d'irradiation externe gamma, mais aussi pour la présence de tritium, de carbone-14 et d'aérosols radioactifs.

8.2.1 Ambiance gamma

Aux installations de Gentilly-2, l'ambiance gamma est mesurée par l'entremise de dosimètres thermoluminescents (DTL) qui sont installés à une hauteur de 1 à 1,5 m du sol selon les points de mesure. Ils sont intégrés dans les SCR ou encore fixés à des endroits stratégiques, par exemple aux clôtures délimitant les installations.

La figure 8-1 présente les valeurs trimestrielles de l'ambiance gamma mesurée dans l'environnement de sept différentes SCR détaillées au PSRE, toutes situées en zone dite rapprochée, pour l'année 2019 (carte A-1 de l'annexe A). Les valeurs annuelles de dose gamma enregistrées aux mêmes stations au cours des cinq dernières années sont quant à elles présentées à la figure 8-2. Les valeurs associées à la station de référence (carte A-4 de l'annexe A), paraissent également sur ces deux figures.

Figure 8-1 : Ambiance gamma trimestrielle aux stations de contrôle SCR-3, 6, 7, 8, 10, 11 et 12 (zone rapprochée) et à la station de référence pour l'année 2019

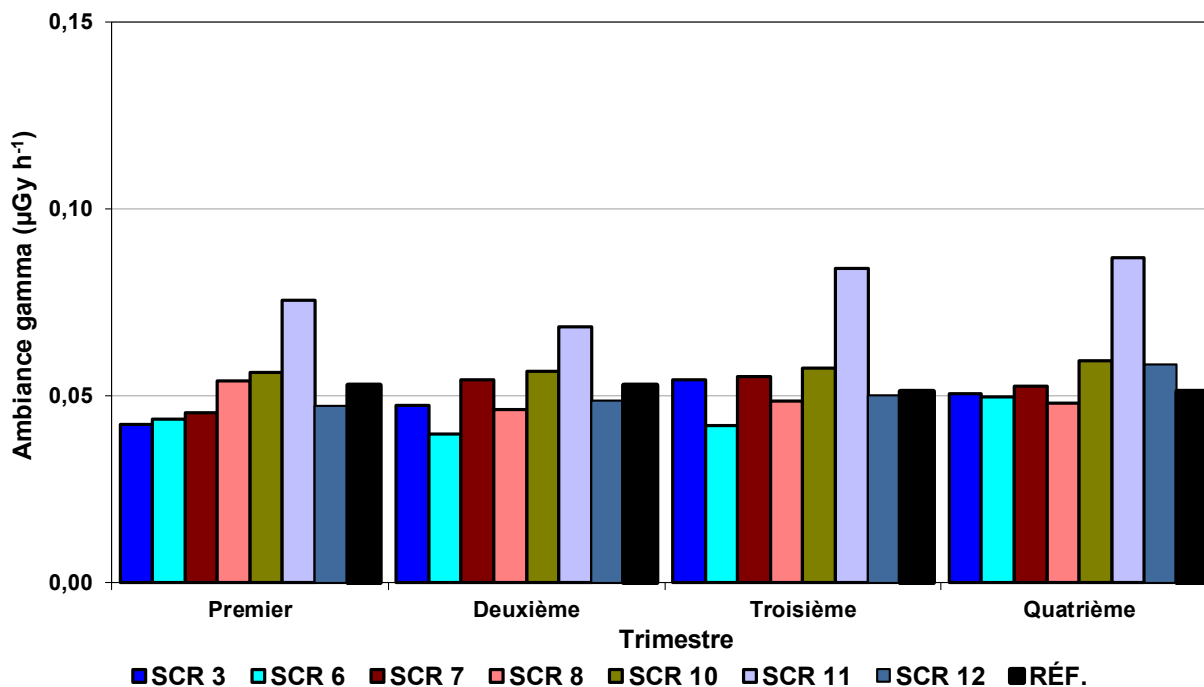
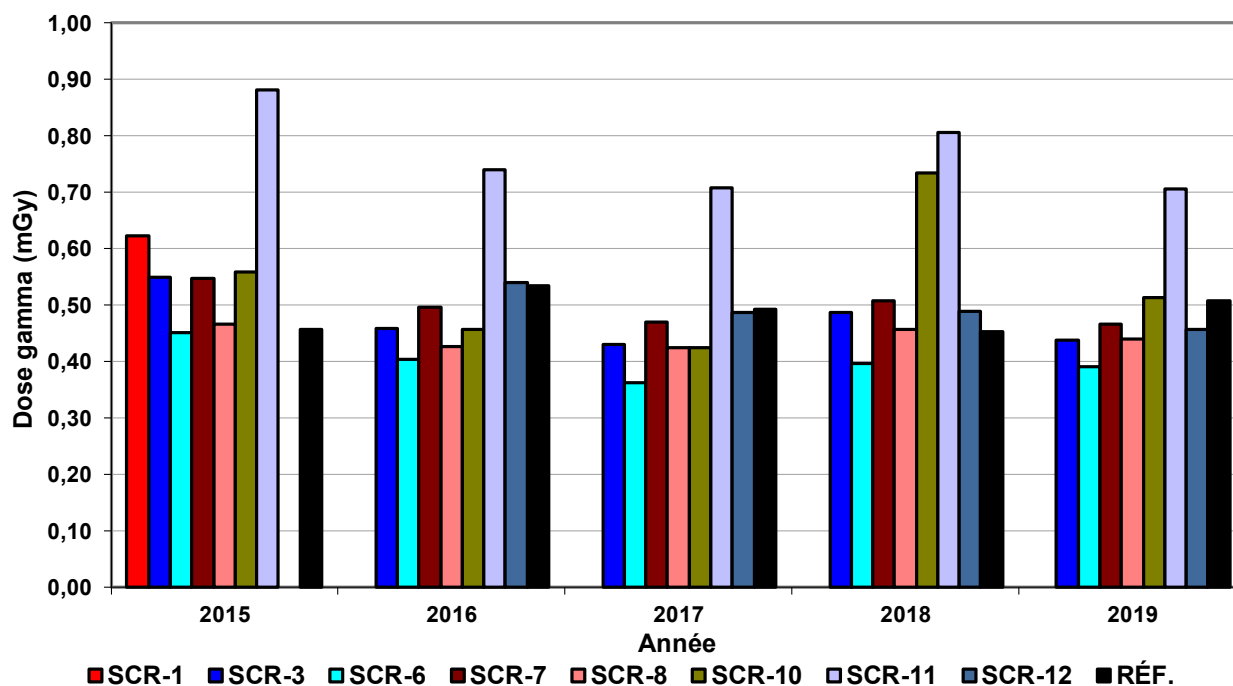


Figure 8-2 : Dose annuelle gamma aux stations de contrôle SCR-1, 3, 6, 7, 8, 10, 11 et 12 (zone rapprochée) et à la station de référence pour la période 2015-2019



Les valeurs trimestrielles d'ambiance gamma mesurées en 2019 à ces sept SCR ont varié de 0,040 à 0,087 $\mu\text{Gy h}^{-1}$. La valeur maximale a été relevée à la station SCR-11, au quatrième trimestre de l'année. Cette SCR est située à même le périmètre de l'aire de stockage à sec du combustible irradié (ASSCI), pour laquelle toutes les enceintes CANSTOR sont remplies au maximum de sa capacité de combustible nucléaire irradié. C'est d'ailleurs la seule station du regroupement d'où sont tirées des valeurs qui sont significativement plus élevées que la station de référence du PSRE. Par ailleurs, l'influence des travaux menés par l'exploitant de l'installation Gentilly-1, les Laboratoires Nucléaires Canadiens (LNC), ne s'est pas reproduite en 2019, comme ce fut le cas en 2018. C'est également à la station SCR-11 qu'est associée la dose annuelle la plus élevée de l'année 2019 (figure 8-2), à 0,71 mGy. À cette dernière année, toutes les stations de ce regroupement ont montré des diminutions de la dose annuelle, variant de 1,5 % (SCR-6) à 30,1 % (SCR-10).

L'ambiance gamma est également surveillée à d'autres clôtures des installations de Gentilly-2, outre celles ceinturant directement les installations de stockage de déchets radioactifs ou de combustible nucléaire irradié. La figure 8-3 présente les valeurs trimestrielles d'ambiance gamma à dix points de mesure du périmètre sécurisé des installations de Gentilly-2 (carte A-6 de l'annexe A), tels qu'ils figurent au PSRE. Les valeurs annuelles de dose de rayonnement gamma enregistrées aux mêmes points sont présentées à la figure 8-4. Une bande pointillée bleue a été ajoutée à chacune de ces deux figures afin d'indiquer la moyenne de toutes les valeurs mesurées en 2019 à la station de référence de Trois-Rivières (carte A-4 de l'annexe A).

Au cours de l'année 2019, les valeurs trimestrielles d'ambiance gamma mesurées aux 10 différents points du périmètre sécurisé des installations de Gentilly-2 ont varié de 0,044 à 0,067 $\mu\text{Gy h}^{-1}$. La valeur maximale a été relevée au quatrième trimestre, au point PÉR-4 situé à l'est du site des installations. Ce point est situé à proximité d'un site de stockage temporaire de déchets faiblement radioactifs, en attente de traitement. Malgré le déplacement vers l'IGDRS de quelques déchets à plus haut taux de rayonnement au troisième trimestre de l'année 2018, le point PÉR-4 fut encore celui où l'ambiance gamma la plus élevée fut relevée à chacun des quatre trimestres de l'année 2019, impliquant logiquement la dose annuelle maximale à 0,55 mGy. Outre une diminution marquée de 63,3 % pour la valeur de dose annuelle du point PÉR-4 pour la raison abordée précédemment, les autres valeurs de doses annuelles mesurées en 2019 au périmètre sécurisé des installations ont également toutes été en baisse en comparaison de l'année précédente, variant de 3,2 % (PÉR-1) à 17,3 % (PÉR-3).

Figure 8-3 : Ambiance gamma trimestrielle au périmètre sécurisé de l'installation pour l'année 2019

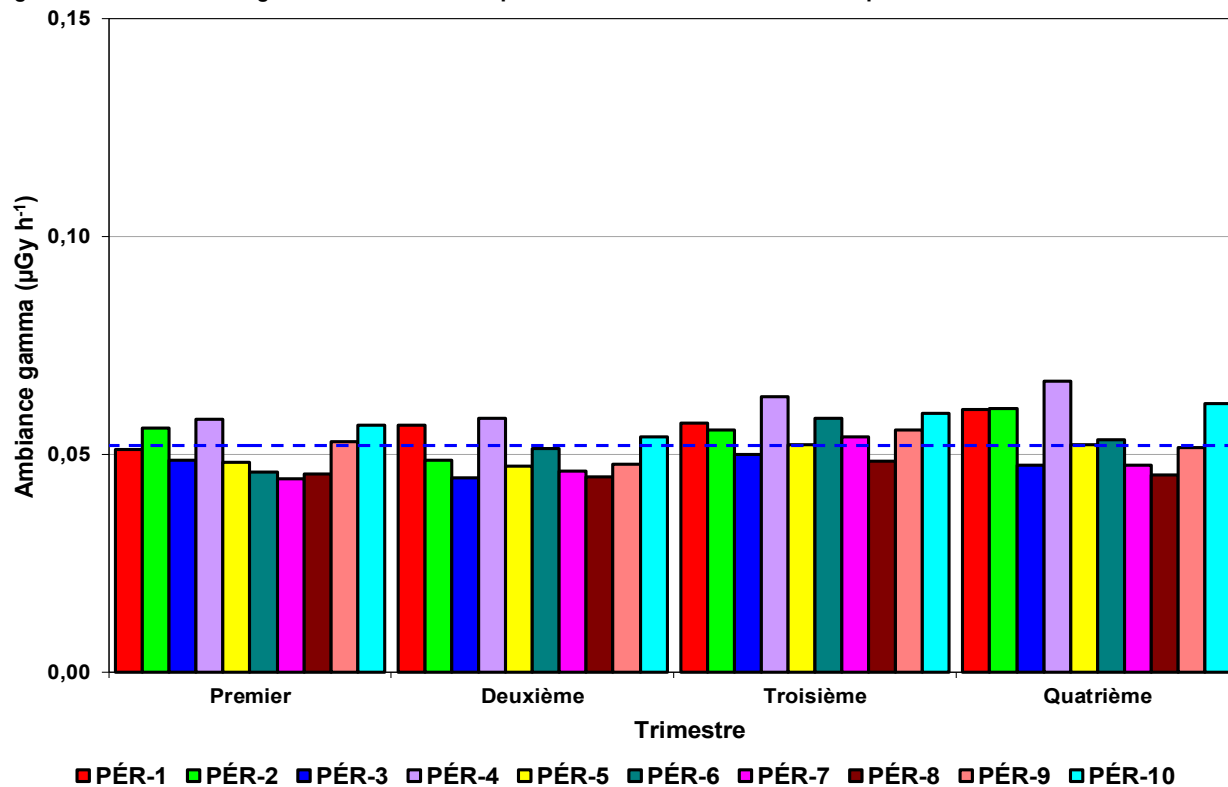
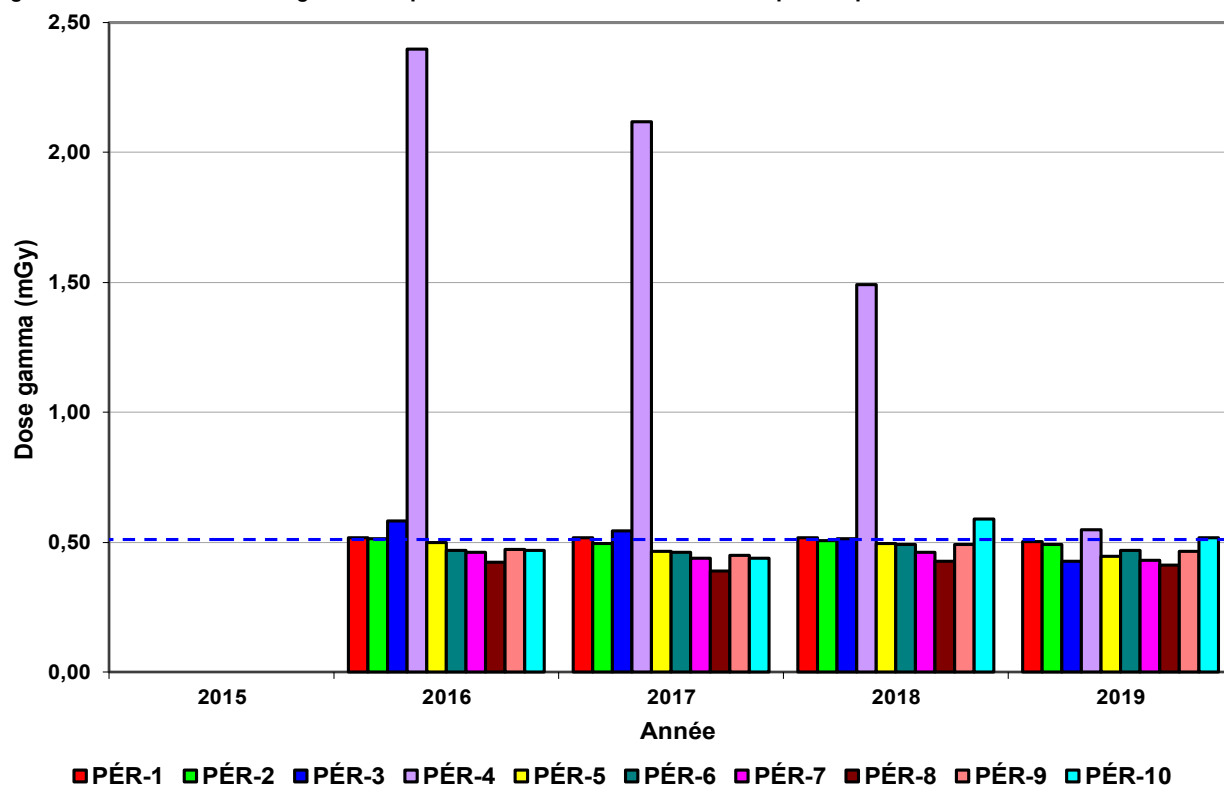


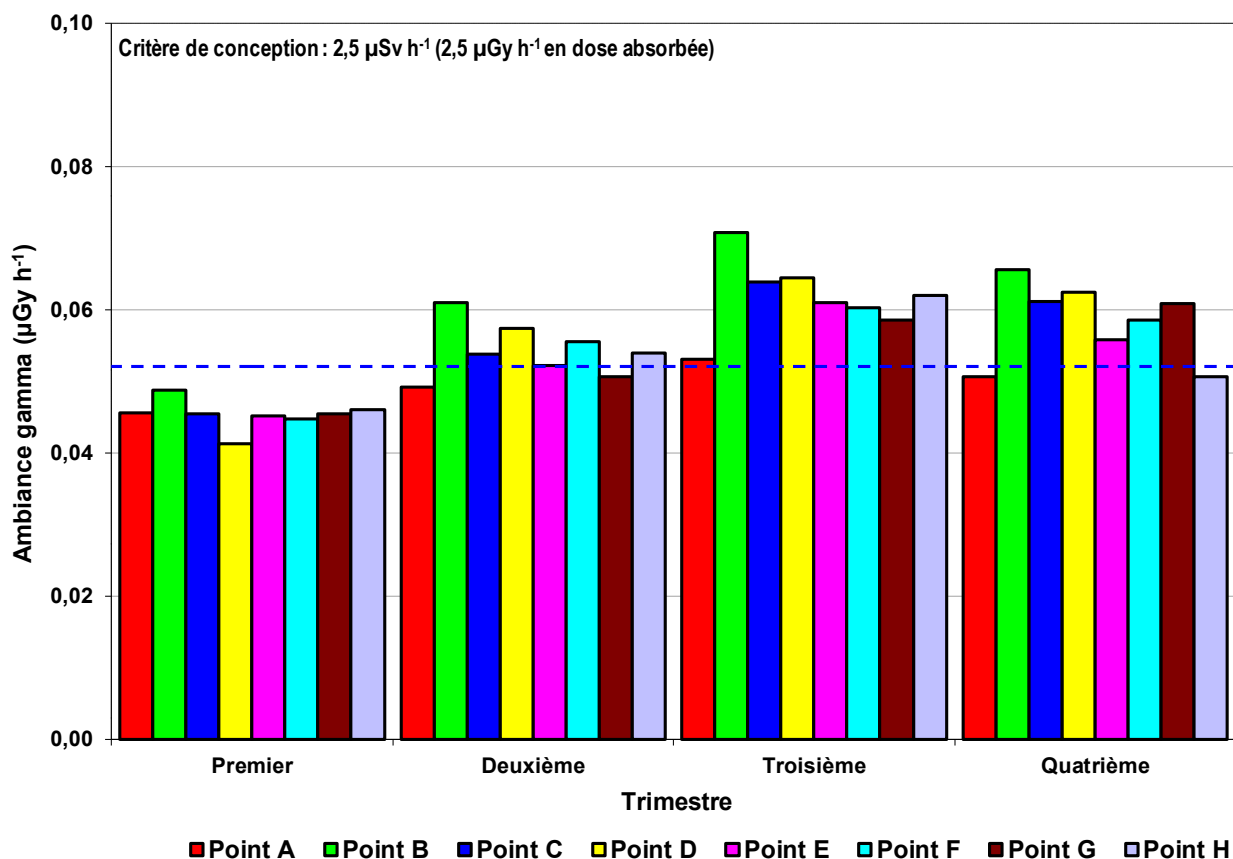
Figure 8-4 : Dose annuelle gamma au périmètre sécurisé de l'installation pour la période 2016-2019



Les figures 8-5 à 8-10 présentent pour leur part les valeurs d'ambiance et de dose annuelle gamma mesurées exclusivement aux installations de déchets radioactifs solides (ASDR et IGDRS) et de combustible nucléaire irradié (ASSCI), toutes situées sur le site des installations de Gentilly-2. Une bande pointillée bleue a aussi été ajoutée à chacune de ces figures pour indiquer la moyenne des valeurs de l'année 2019 à la station de référence du PSRE, située à Trois-Rivières.

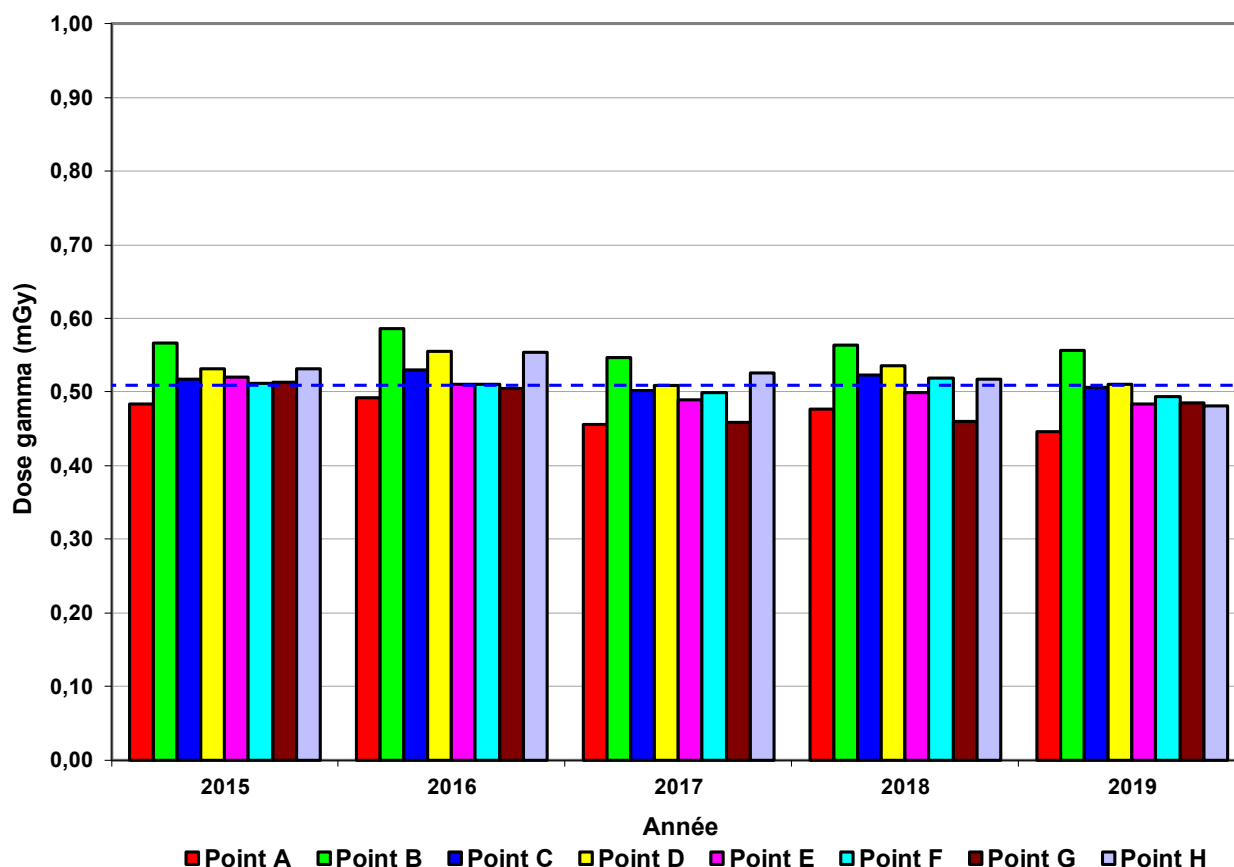
La figure 8-5 présente la série de mesures trimestrielles d'ambiance gamma aux huit points spécifiques à la clôture de l'ASDR (carte A-5 de l'annexe A) au cours de l'année 2019. Puisqu'aucun retrait de déchets n'a été réalisé à l'ASDR en 2019, et qu'aucun transfert de déchets radioactifs n'y a été fait non plus, il était encore anticipé que les données ne montrent pas de variation significative. L'ensemble des valeurs trimestrielles d'ambiance gamma mesurées en 2019 à l'ASDR a varié entre 0,041 et 0,071 $\mu\text{Gy h}^{-1}$. Cette plage est quasi identique à celles des dernières années. Par ailleurs, toutes les valeurs d'ambiance gamma colligées en 2019 à cette aire de stockage ont été en deçà de la limite de conception de l'installation fixée à 2,5 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ (ou 2,5 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ en dose absorbée), déterminée pour le périmètre de l'installation.

Figure 8-5 : Ambiance gamma trimestrielle à la clôture de l'ASDR pour l'année 2019



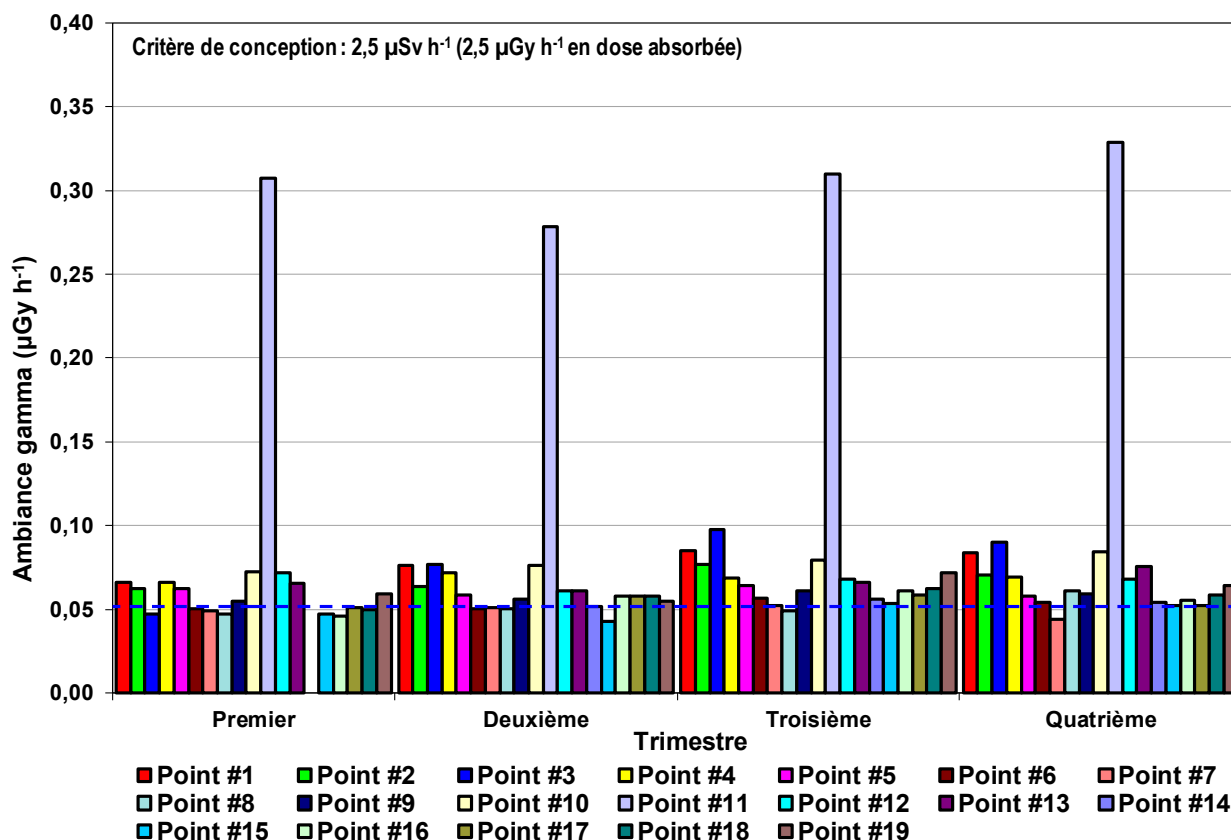
La figure 8-6 présente une récapitulation des doses annuelles de rayonnement gamma pour les cinq dernières années, à chacun des huit points de mesure de l'ASDR. Mis à part une faible hausse de 5,3 % au Point G, les doses annuelles calculées pour l'année 2019 aux clôtures de l'ASDR sont toutes légèrement en baisse comparativement à l'année précédente, variant de 1,3 % (Point B) à 7,0 % (Point H).

Figure 8-6 : Dose annuelle gamma à la clôture de l'ASDR pour la période 2015-2019



La figure 8-7 présente les valeurs trimestrielles d'ambiance gamma mesurée aux 19 points fixés aux clôtures de l'IGDRS pour l'année 2019 (carte A-6 de l'annexe A). Dans le but de compléter les validations sur l'entièreté de son périmètre, trois d'entre eux (points n^{os} 17, 18 et 19) ont été ajoutés à la clôture nord-est de l'IGDRS, au cours du deuxième trimestre de l'année 2015.

Figure 8-7 : Ambiance gamma trimestrielle à la clôture de l'IGDRS pour l'année 2019

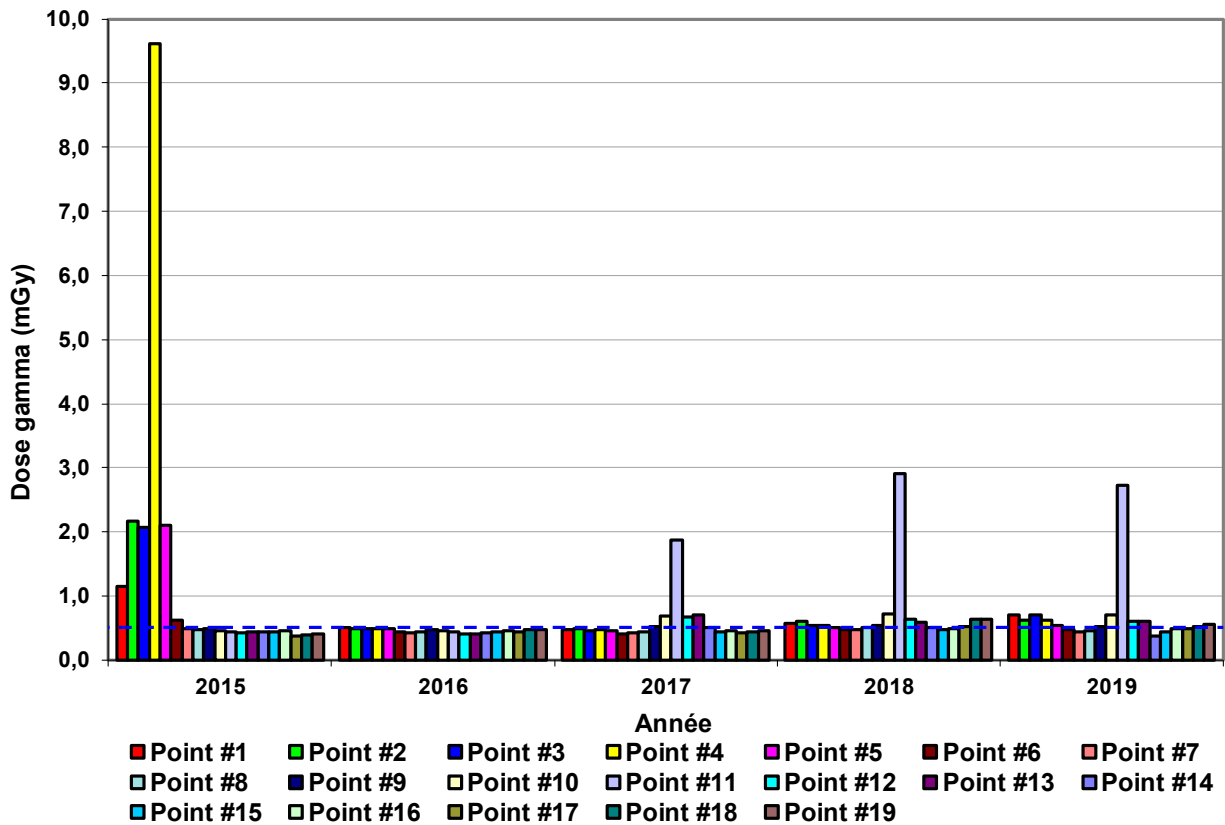


Depuis 2017, le portrait des valeurs les plus élevées d'ambiance gamma mesurée aux clôtures de l'IGDRS est principalement modulé par le stockage à sec de combustible nucléaire irradié, fait à l'intérieur de son périmètre. À cet égard, il est utile de rappeler que deux derniers modules CANSTOR (n^{os} 10 et 11) y ont été construits en 2016. Déjà, à la fin du mois de juillet 2018, le premier de ces deux modules (n^o 10) était rempli à sa pleine capacité. En 2019, les données trimestrielles associées à chacun des 19 points de mesure de l'IGDRS ont varié de 0,043 à 0,329 $\mu\text{Gy h}^{-1}$. Ces valeurs sont toutes en deçà de la limite de conception de l'installation de déchets radioactifs solides fixée à 2,5 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ (ou 2,5 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ en dose absorbée) aux clôtures.

On peut par ailleurs y distinguer deux sous-groupes qui sont sujets à l'influence d'une source de rayonnement externe gamma. Celui semblant répondre le plus est constitué des valeurs associées aux DTL n^{os} 10 à 13 et témoigne de la présence du combustible nucléaire irradié aux enceintes CANSTOR n^o 10 et n^o 11. L'autre est plutôt constitué des valeurs associées aux DTL n^{os} 1 à 4. Dans ce cas précis, l'influence sur la mesure de rayonnement gamma est plus ténue, mais la cause principale est le déplacement à l'IGDRS de quelques déchets radioactifs solides, initialement stockés à l'est de la zone contrôlée, mais qui devaient être relocalisés pour permettre des vérifications radiologiques dans le cadre du dézonage du poste de sectionnement de Gentilly-2.

La figure 8-8 présente les doses annuelles gamma mesurées aux clôtures de l'IGDRS au cours des cinq dernières années. En 2019, les doses annuelles gamma recensées aux 19 différents points de mesure ont culminé à 2,73 mGy, au point n° 11. Alors que la diminution la plus importante fut de 25,7 % (point n° 14) en comparaison de l'année précédente, l'augmentation la plus élevée fut quant à elle de 31,0 % (point n° 3). Ce dernier est physiquement situé au coin nord-ouest du périmètre de l'IGDRS, où des déchets radioactifs de faible activité sont temporairement stockés, en attente de travaux de décontamination ou de transferts dans une fosse de l'IGDRS.

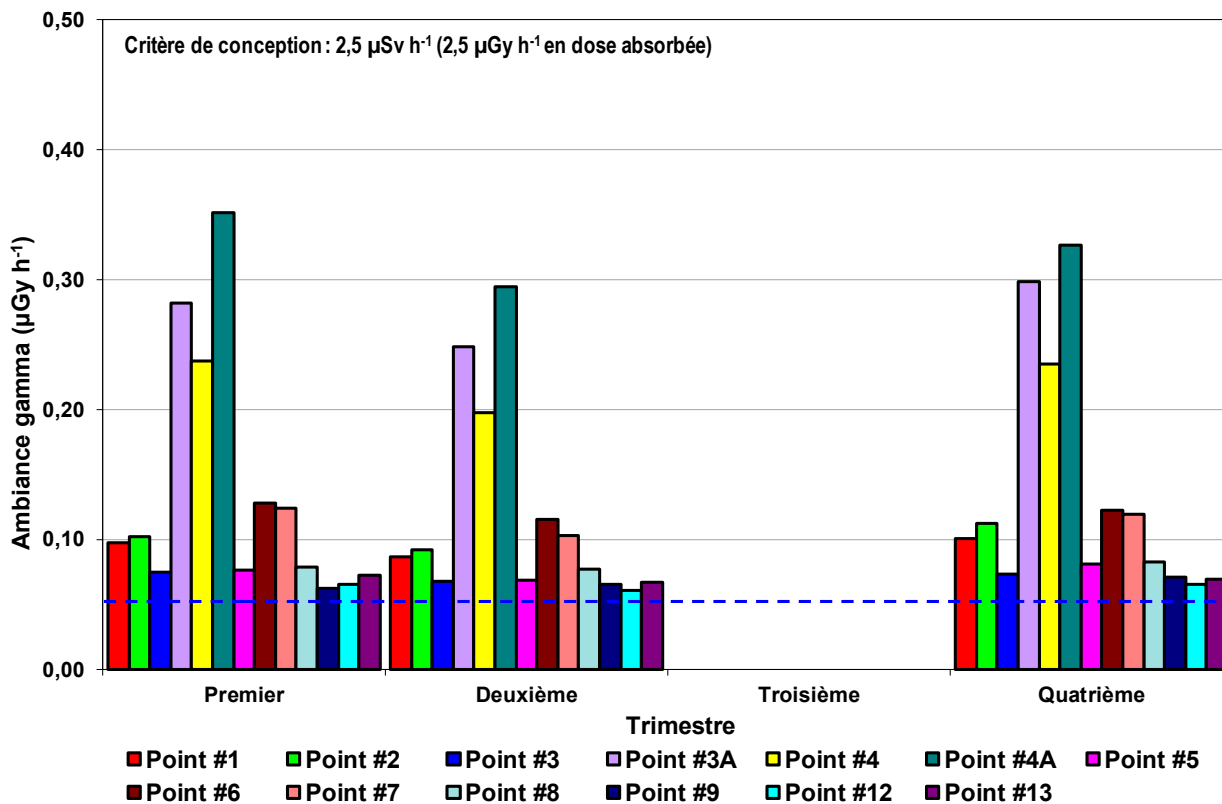
Figure 8-8 : Dose annuelle gamma à la clôture de l'IGDRS pour la période 2015-2019



À ce propos, rappelons aussi que les quelques valeurs de dose annuelle plus élevées de l'année 2015 n'étaient uniquement attribuables qu'à l'entreposage temporaire de déchets radioactifs à plus fort débit de dose gamma, et ce, dans cette même section nord-ouest de l'IGDRS. Aucune d'elles n'avait plus été observée à compter de 2016, à la suite du transfert de tous ces déchets, complété à l'automne 2015, dans les enceintes de déchets de faible et de moyenne activité (EDFMA) de l'IGDRS. Là également, l'ampleur des valeurs de dose annuelle des points concernés était directement liée à leur proximité respective des déchets alors entreposés en conteneurs maritimes.

La figure 8-9 présente les valeurs trimestrielles d'ambiance gamma aux 13 points de mesure installés aux clôtures de l'ASSCI, pour l'année 2019. Les points n^{os} 3A et 4A ont quant à eux été ajoutés au troisième trimestre de 2015 (carte A-6 de l'annexe A).

Figure 8-9 : Ambiance gamma trimestrielle à la clôture de l'ASSCI pour l'année 2019



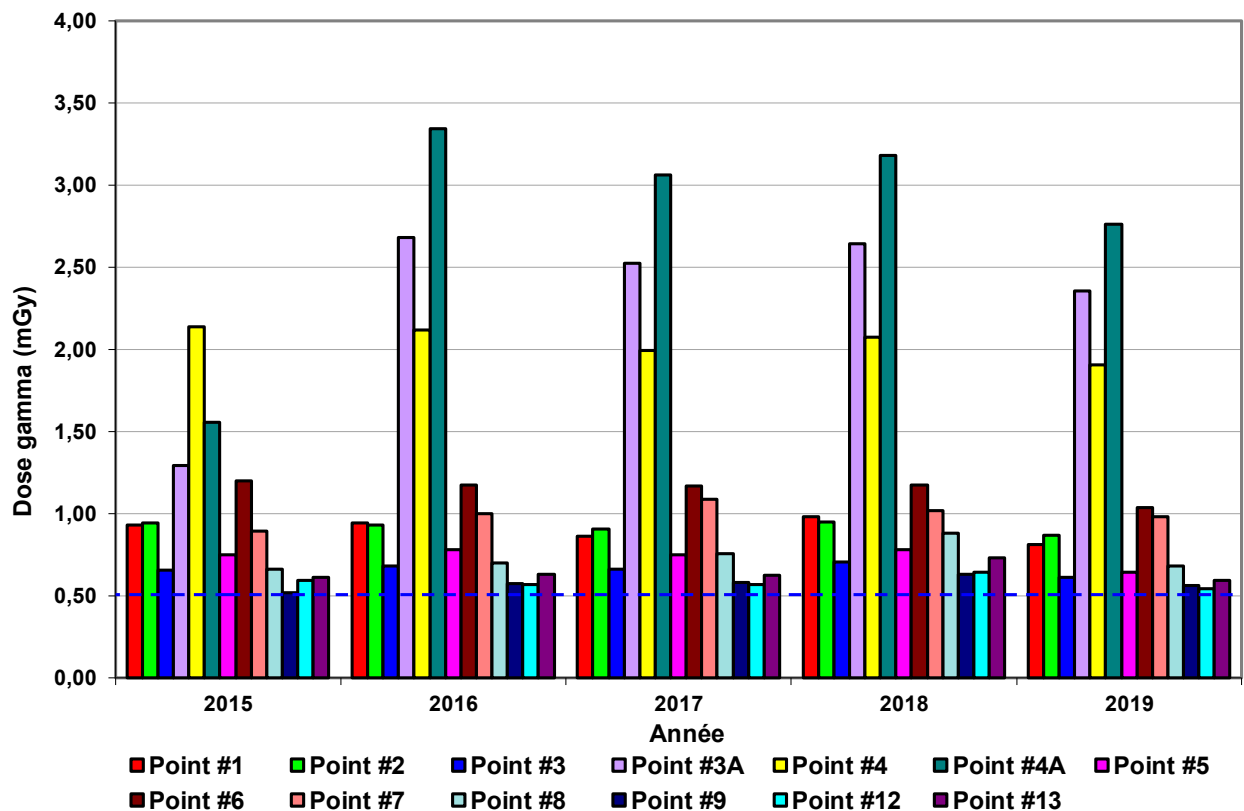
Spécifiquement pour l'ASSCI, les valeurs trimestrielles d'ambiance gamma ont varié, en 2019, de 0,061 à 0,351 µGy h⁻¹. Comme les conditions d'exposition des points de mesures sont stables, les modules CANSTOR de l'ASSCI n'étant plus sollicités depuis la campagne annuelle de transfert de combustible irradié de 2016, la déclinaison des valeurs ne varie pas significativement. À l'instar de l'année précédente, pour tous les trimestres de l'année 2019, les valeurs les plus élevées ont été mesurées au point n^o 4A. Viennent ensuite celles mesurées au point n^o 3A, puis au point n^o 4. Ces trois points sont contigus et font face à deux modules CANSTOR remplis à leur pleine capacité de combustible nucléaire irradié, soit les modules n^{os} 1 et 6. Cet ensemble de points de mesure (n^{os} 3A, 4 et 4A) constitue toujours celui où les dosimètres sont les plus exposés en raison de leur emplacement spécifique au site. Comme les seules grappes de combustible qui demeurent toujours en piscine seront exclusivement transférées au module CANSTOR n^o 11 de l'IGDRS, aucune variation importante de l'ambiance gamma n'est désormais anticipée à l'ASSCI.

Une remarque importante doit être apportée au soutien de l'analyse de la figure 8-9, relativement à l'absence complète de données pour le troisième trimestre de l'année 2019. Cette situation est consécutive de la décision de la spécialiste responsable du contrôle de la qualité des résultats du laboratoire d'Hydro-Québec. Pour la période d'exposition couvrant ce trimestre, le processus d'échantillonnage de l'ambiance gamma à l'ASSCI s'est révélé en possible perte d'intégrité. Ceci a fait en sorte qu'aucune mesure de DTL n'ait été acceptée. Comme les reprises d'analyse ne sont pas possibles pour ce genre de matrice, la décision d'abroger tous les résultats fut prise. Pour permettre la comparaison des doses annuelles à moyen terme de la figure 8-10, Hydro-Québec a extrapolé une exposition de chacun des DTL sur une période de 12 mois, basée sur la moyenne des résultats approuvés pour l'année 2019.

Par ailleurs, tout comme ce fut le cas pour l'ASDR et l'IGDRS, toutes les mesures relevées en 2019 aux clôtures de l'ASSCI ont été en deçà de la limite de conception de l'installation, qui est de $2,5 \mu\text{Sv h}^{-1}$ (ou $2,5 \mu\text{Gy h}^{-1}$ en dose absorbée).

La figure 8-10 présente les valeurs de dose annuelle gamma pour chacun des points de mesure fixés aux clôtures de l'ASSCI, et ce pour les cinq dernières années. En comparaison de l'année précédente, toutes les valeurs de dose de l'année 2019 ont été en légère diminution, variant de 3,3 % au point n° 9 à 14,0 % au point n° 5.

Figure 8-10 : Dose annuelle gamma à la clôture de l'ASSCI pour la période 2015-2019



8.2.2 Tritium

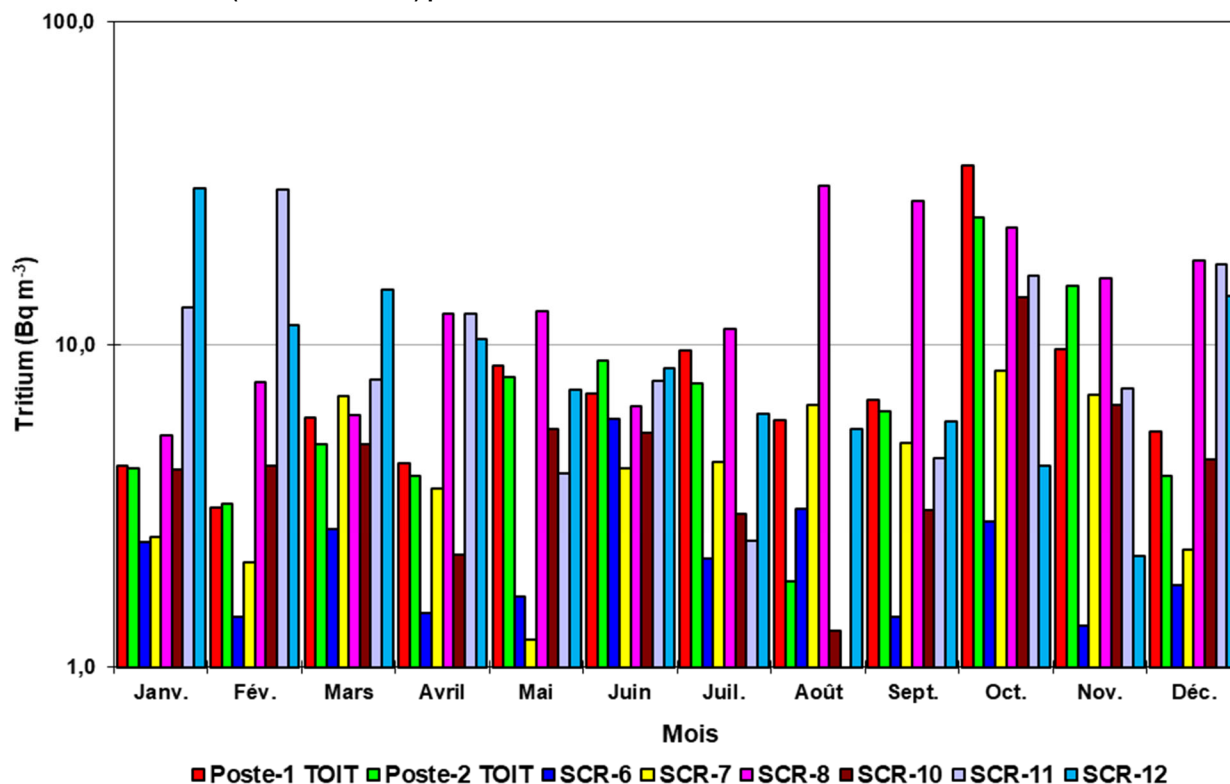
À l'installation nucléaire de Gentilly-2, les effluents gazeux sont source de tritium, sous une forme de vapeur d'eau tritiée. Ils sont essentiellement émis à la cheminée principale, jouxtant le bâtiment du réacteur. À ces effluents s'ajoutent des émissions secondaires comme les émissions diffuses de l'ASDR et de l'IGDRS, ainsi que celles de quelques salles qui ne sont pas reliées au principal système de ventilation.

La quantification du tritium mesurée à une SCR est plutôt fonction du taux de rejets de l'installation nucléaire et des conditions météorologiques. Théoriquement, les SCR les plus rapprochées de la cheminée principale montreront des concentrations plus élevées, à plus forte raison lorsqu'elles sont situées dans l'axe des vents dominants au cours d'une période donnée où les rejets s'avéraient être plus importants.

Les figures 8-11, 8-13, 8-15 et 8-17 présentent l'ensemble des valeurs mensuelles de tritium atmosphérique de l'année 2019, mesurées respectivement aux SCR suivantes :

- huit SCR situées à même le site des installations de Gentilly-2 ;
- six SCR de la région environnante, aménagées dans un rayon de 2 à 15 km autour des installations de Gentilly-2 ;
- quatre SCR spécifiquement dédiées à l'IGDRS ;
- cinq SCR spécifiquement dédiées à l'ASDR.

Figure 8-11 : Activité mensuelle en tritium atmosphérique aux stations Poste-1, Poste-2, SCR-6 à SCR-8 et SCR-10 à SCR-12 (zone d'exclusion) pour l'année 2019



Pour leur part, les figures 8-12, 8-14, 8-16 et 8-18 présentent, pour les mêmes stations, les séries de concentrations atmosphériques annuelles moyennes de tritium pour la période 2015-2019. Pour constater la valeur du bruit de fond, les mesures de la station de référence de Trois-Rivières sont représentées aux figures 8-13 et 8-14.

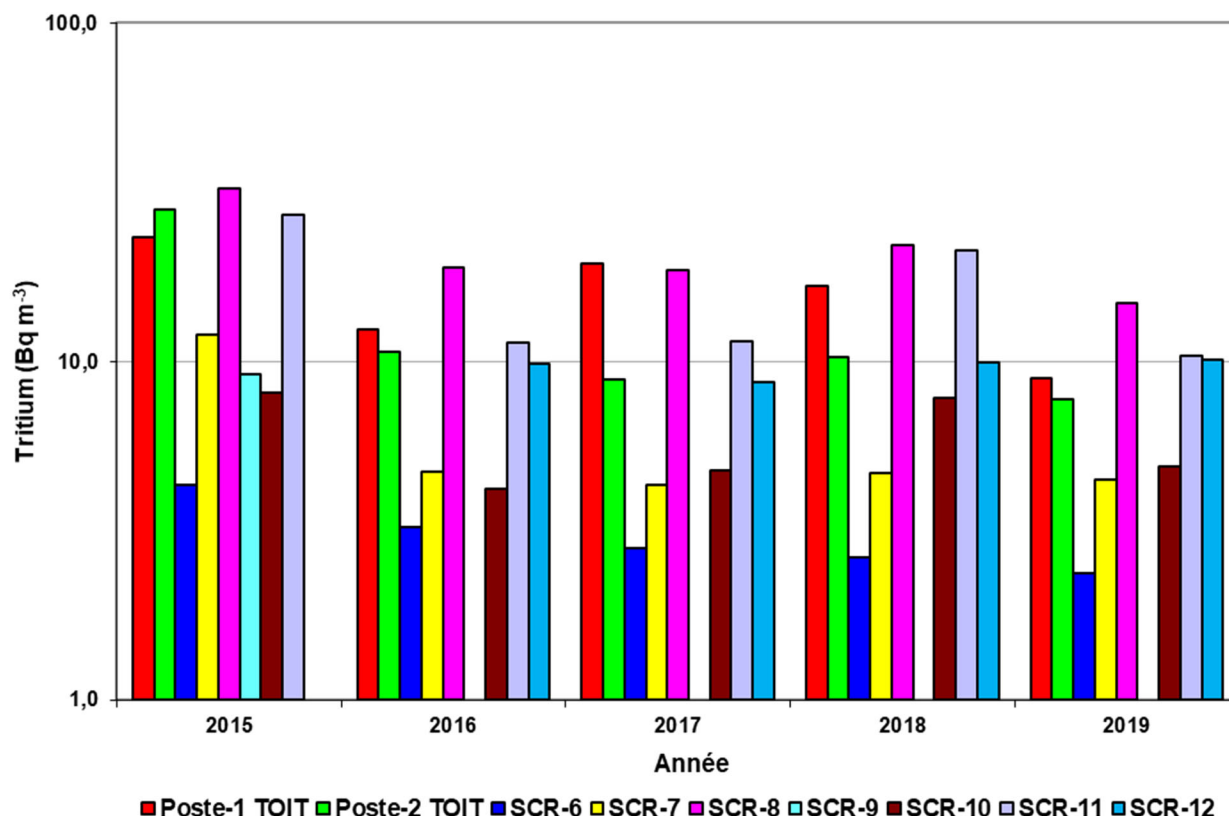
Les concentrations mensuelles de tritium atmosphérique relevées à chacune des huit SCR aménagées à même le site des installations de Gentilly-2 (figure 8-11) ont varié, en 2019, de $0,37 \text{ Bq m}^{-3}$ (SCR-11 en août) à $36,10 \text{ Bq m}^{-3}$ (Poste-1 en octobre). Cette plage de valeurs des concentrations de tritium atmosphérique aux stations présentes au site des installations de Gentilly-2 est similaire aux années antérieures. Les valeurs maximales de l'année 2019 sont quelque peu moins élevées que celles de l'année précédente, reflétant ainsi l'écart dans la quantification annuelle d'émissions de tritium à la cheminée principale pour ces deux mêmes années.

De toutes les SCR équipées d'instruments de mesure de la concentration atmosphérique de tritium, la station SCR-8 est celle qui est située à plus faible distance du pied de la cheminée principale de Gentilly-2. Par ailleurs, les deux stations Poste-1 et Poste-2 sont les seules qui ne sont pas érigées au niveau du sol, toutes deux juchées sur le toit d'un bâtiment administratif, à faible distance de la même cheminée principale qui elle est d'une hauteur de 37 mètres.

La figure 8-12 présente pour sa part une série de valeurs annuelles moyennes de tritium atmosphérique obtenues à neuf différentes SCR, toutes actuellement ou antérieurement aménagées sur le site des installations de Gentilly-2, et ce, pour la période 2015-2019.

Mise à part la faible augmentation de 1,7 % à la station SCR-12, les variations des concentrations annuelles moyennes de tritium atmosphérique de l'année 2019 sont toutes en diminution en comparaison de l'année précédente. Elles varient de 3,5 % (SCR-7) à 51,3 % (SCR-11). Comme les SCR de ce regroupement couvrent à la fois toutes les directions possibles en partance de la cheminée principale, et compte tenu du fait que l'activité annuelle de tritium aux effluents gazeux de l'année 2019 ait été quantifiée comme étant un peu plus faible que celle de l'année 2018, de telles variations ne témoignent pas nécessairement d'un événement particulier. Elles peuvent plutôt être conditionnées par les facteurs de dispersion atmosphérique influençant les rejets, à des moments bien précis de l'année. Des facteurs comme la stabilité de l'atmosphère, les gradients de turbulence, les taux de précipitations et les vitesses et origines de vents soufflant au site des installations de Gentilly-2 viennent tous influencer grandement la dispersion.

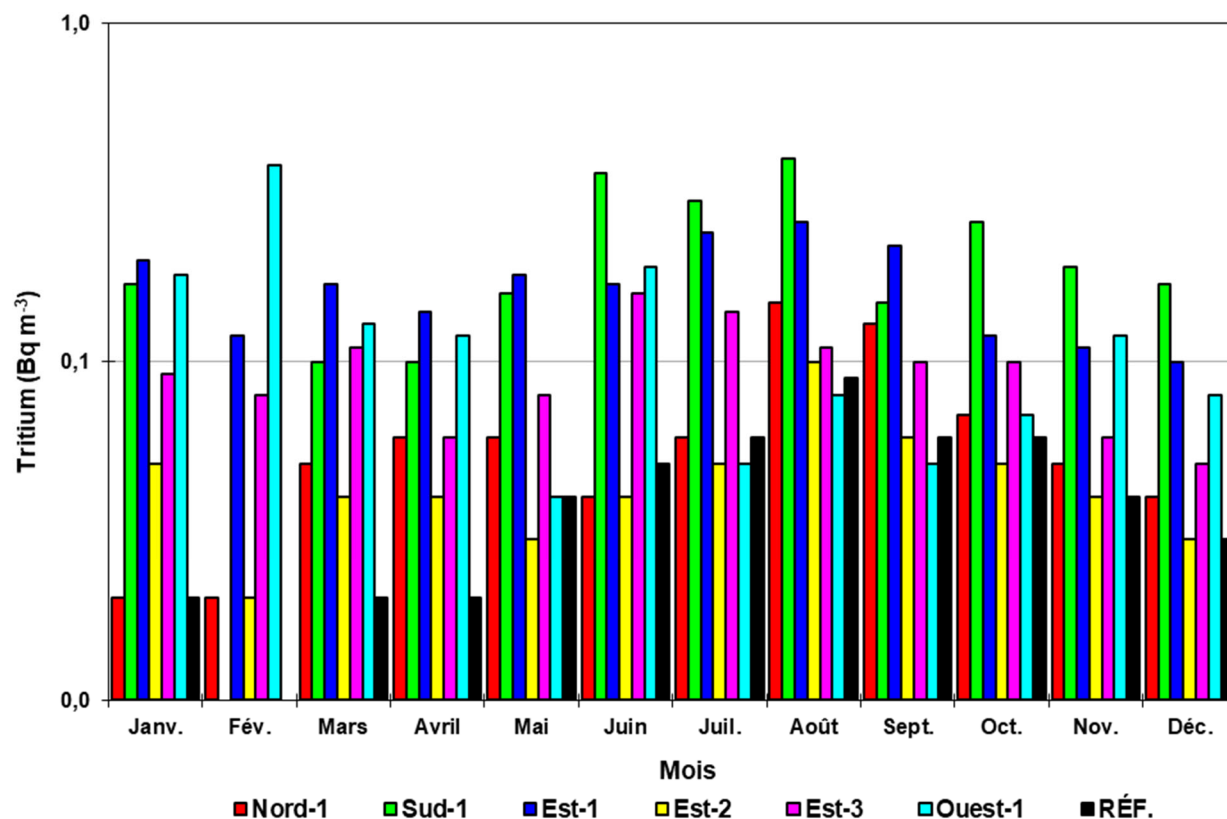
Figure 8-12 : Activité annuelle moyenne en tritium atmosphérique aux stations Poste-1, Poste-2 et SCR-6 à SCR-12 (zone d'exclusion) pour la période 2015-2019



La figure 8-13 présente les concentrations mensuelles de tritium atmosphérique quantifiées aux six SCR situées au-delà du périmètre des installations de Gentilly-2 de même qu'à la station de référence, pour l'année 2019.

Au cours de l'année 2019, les concentrations mensuelles de tritium atmosphérique mesurées aux différentes SCR sises hors du site des installations de Gentilly-2 ont varié de $0,02 \text{ Bq m}^{-3}$ (Nord-1 en janvier, ainsi que Est-2 et Nord-1 en février) à $0,40 \text{ Bq m}^{-3}$ (Sud-1 en août). L'analyse parallèle des concentrations de l'ensemble des SCR aménagées à même le site et hors du site des installations de Gentilly-2 prouve le rabattement et une dispersion rapide des émissions atmosphériques radioactives à faible distance du point d'émissions. Alors que la concentration maximale était de $36,10 \text{ Bq m}^{-3}$ pour les huit stations du premier groupe, elle n'était plus que de $0,40 \text{ Bq m}^{-3}$ dans les six du second groupe. Déjà, à moins de la mi-distance de la zone d'exclusion d'un rayon d'un kilomètre, la concentration maximale était de $5,88 \text{ Bq m}^{-3}$ (SCR-6 à 400 m). Règle générale, la dispersion atmosphérique fut moindre aux deux stations Sud-1 et Est-1, puisqu'on y recense les valeurs mensuelles de concentration de tritium atmosphérique les plus élevées de toutes les stations hors site.

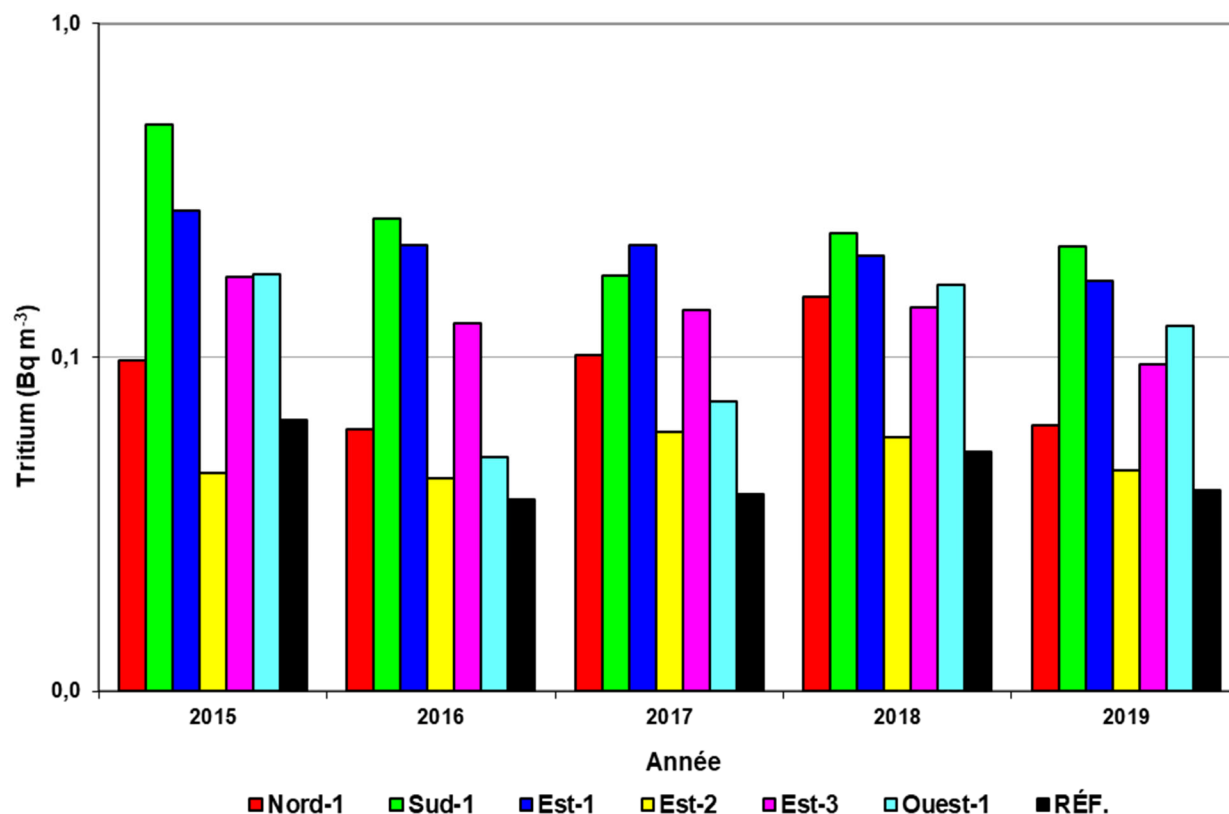
Figure 8-13 : Activité mensuelle en tritium atmosphérique aux stations Nord-1, Sud-1, Est-1 à Est-3, Ouest-1 et à la station de référence pour l'année 2019



La figure 8-14 présente les valeurs annuelles moyennes de tritium atmosphérique obtenues aux six SCR aménagées à l'extérieur du site des installations de Gentilly-2 et à la station de référence désignée, pour la période 2015-2019.

À l'instar des concentrations annuelles moyennes de tritium atmosphérique des SCR aménagées à même le site des installations de Gentilly-2, la revue des mêmes valeurs pour les stations sises hors du site montre également des diminutions en 2019, et ce, sans exception. Elles varient entre 8,8 % (Sud-1) et 59,9 % (Nord-1). Dans ce dernier cas, deux valeurs élevées, respectivement de 0,40 et 0,41 Bq m⁻³ en janvier et mars 2018, avaient amené une valeur annuelle moyenne à la hausse. Cette situation ne s'est pas reproduite en 2019 pour cette station située à huit kilomètres de Gentilly 2.

Figure 8-14 : Activité annuelle moyenne en tritium atmosphérique aux stations Nord-1, Sud-1, Est-1 à Est-3, Ouest-1 et à la station de référence pour la période 2015-2019

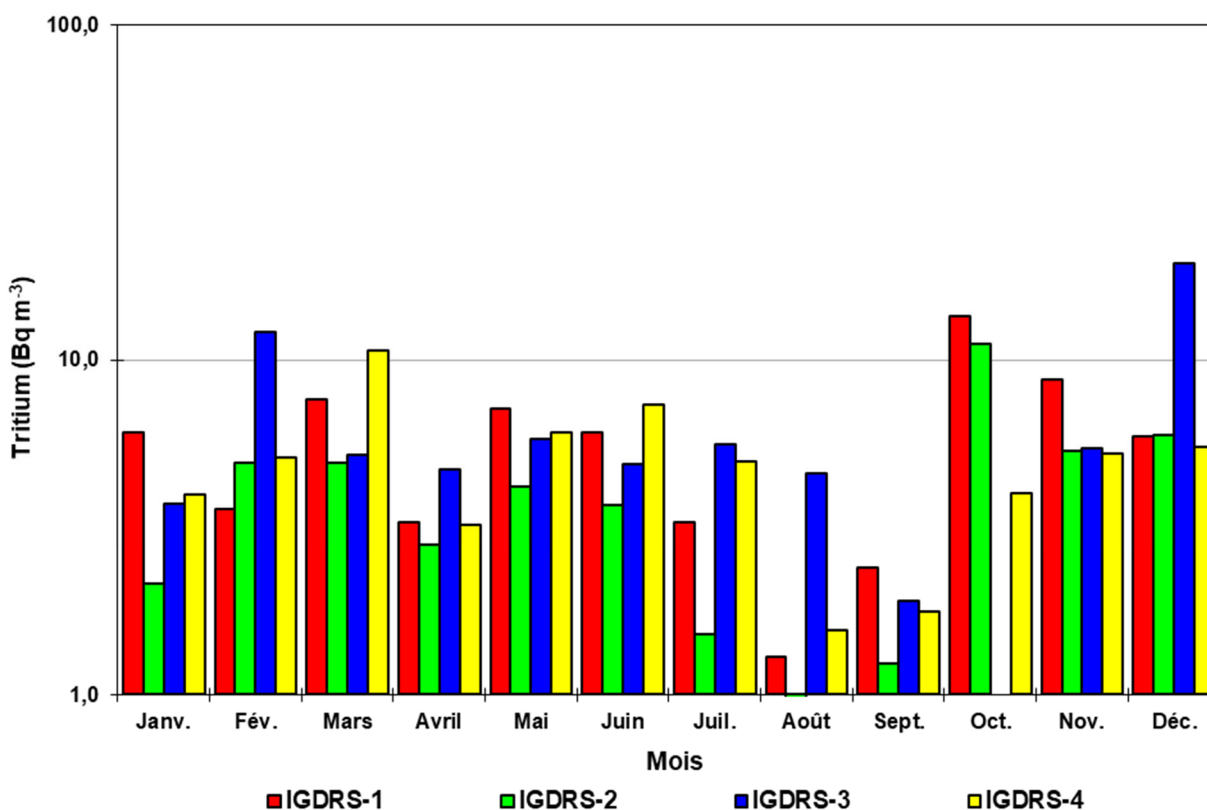


Il est possible de constater une nouvelle fois que la station Sud-1, celle qui était auparavant associée au groupe récepteur le plus exposé lorsque vient le temps d'estimer la dose annuelle de rayonnements à la population, est confirmée comme étant la station du regroupement où la dispersion des effluents gazeux est la moindre.

La figure 8-15 présente toutes les concentrations mensuelles de tritium atmosphérique relevées aux quatre SCR situées au périmètre de l'IGDRS (carte A-6 de l'annexe A), pour l'année 2019.

Cet ensemble de stations, disposées autour de l'IGDRS, vise à discerner et à tenter de quantifier les possibles apports de tritium gazeux qui pourraient émaner des enceintes de stockage de déchets radioactifs solides. Ces stations peuvent à la fois être soumises aux émissions de la cheminée principale et à celles des déchets contenus aux fosses. En 2019, à ces stations dédiées à la surveillance de l'IGDRS, l'activité mensuelle en tritium atmosphérique a varié de 0,79 Bq m⁻³ (IGDRS-2 en août) à 19,40 Bq m⁻³ (IGDRS-3 en décembre).

Figure 8-15 : Activité mensuelle en tritium atmosphérique à l'IGDRS pour l'année 2019

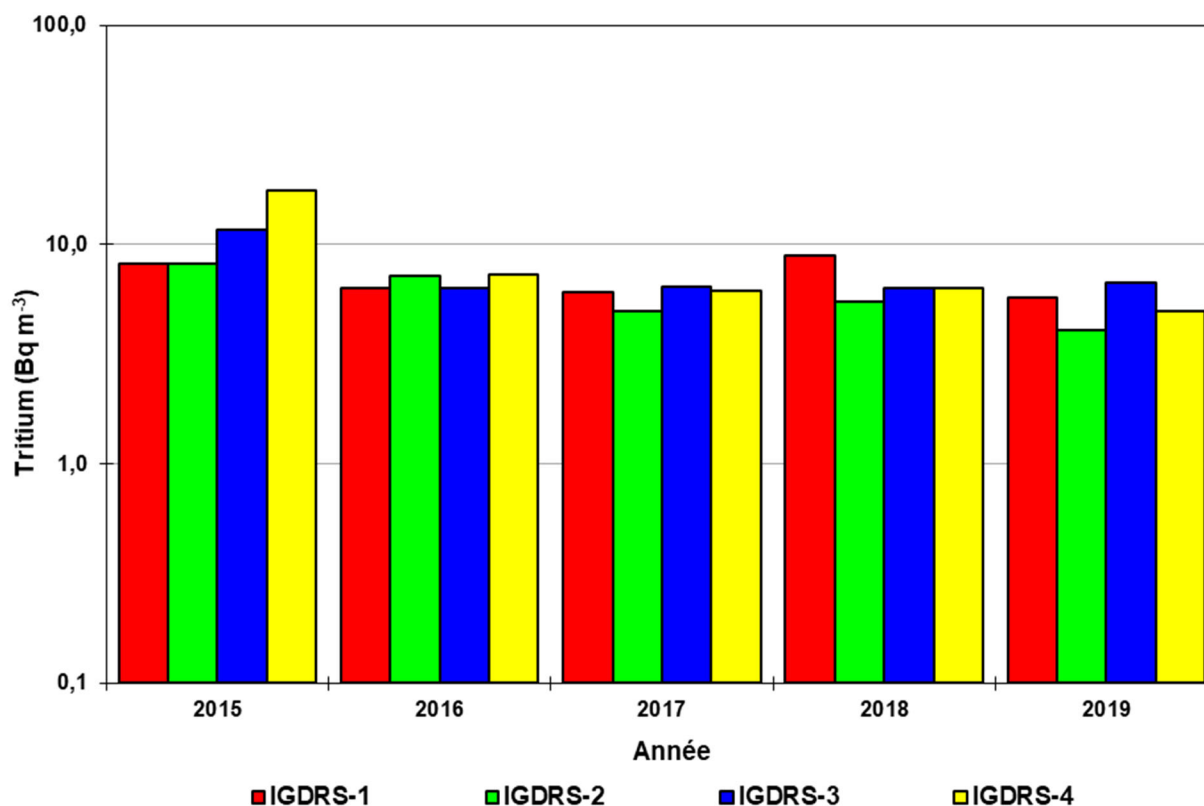


Considérant que les valeurs de concentrations des stations de l'IGDRS ne soient pas significativement différentes de celles associées à d'autres stations érigées à distance similaire, et que seules cinq occurrences excèdent le seuil des 10 Bq m⁻³ en 2019, il est raisonnablement conclu qu'aucun autre apport de tritium n'influence ces stations, outre les rejets gazeux de la cheminée principale de Gentilly-2.

La figure 8-16 montre les valeurs annuelles moyennes de tritium atmosphérique obtenues aux quatre SCR situées au périmètre de l'IGDRS (carte A-6 de l'annexe A) pour la période 2015-2019.

Les concentrations annuelles moyennes de tritium atmosphérique des stations dédiées à l'IGDRS montrent, en 2019, des variations allant d'une diminution de 35,4 % (IGDRS-1) à une augmentation de 5,4 % (IGDRS-3) comparativement à 2018.

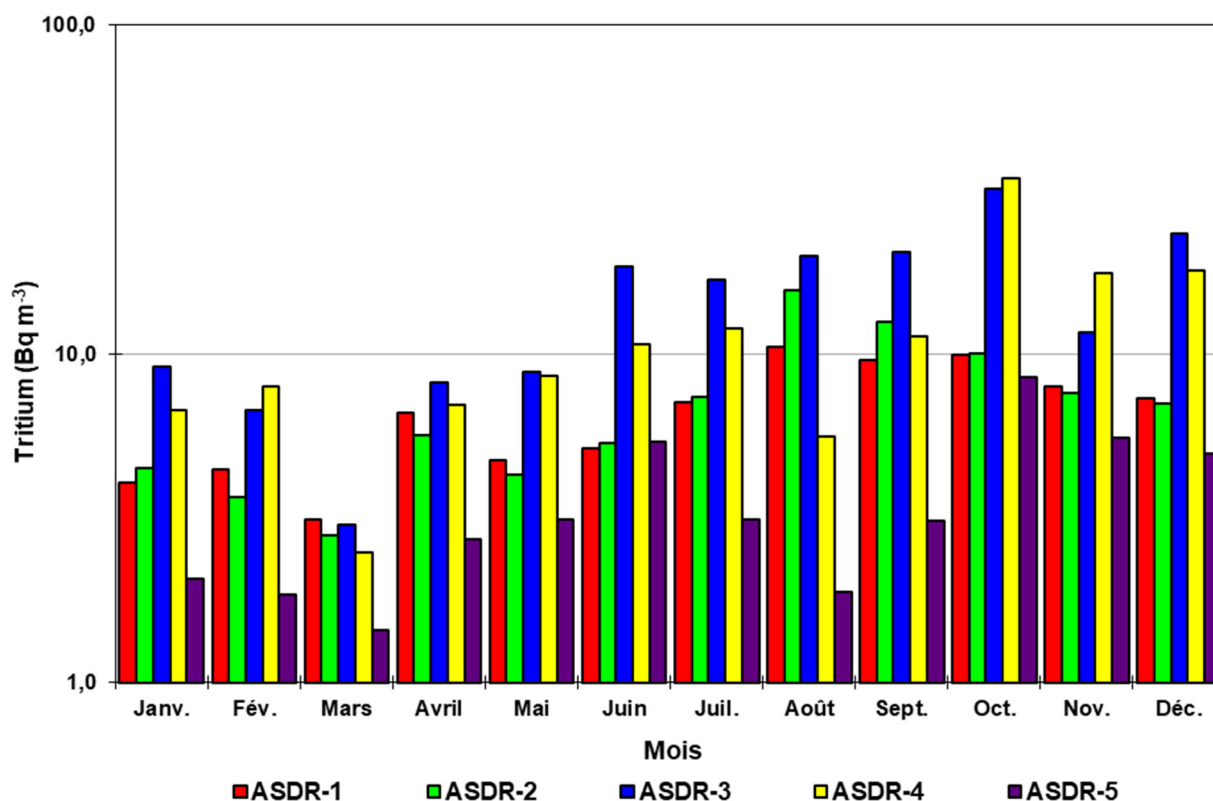
Figure 8-16 : Activité annuelle moyenne de tritium atmosphérique à l'IGDRS pour la période 2015-2019



Du fait qu'elles sont très proches les unes des autres, mais aussi que les émissions diffuses de tritium gazeux provenant des enceintes de l'IGDRS soient présumément faibles, voire nulles, les quatre SCR de l'IGDRS montrent sensiblement les mêmes valeurs pour l'année 2019. Le profil ne diffère d'ailleurs pas de celui de l'année précédente. L'étanché des enceintes de déchets de type EDFMA, dont les couvercles sont tous munis de joints de caoutchouc limitant grandement les échanges d'air, de même que celle des cylindres contenant les résines usées échangeuses d'ions (ESRU), soutient les conclusions à l'effet que la masse de déchets contenus dans les enceintes de l'IGDRS ne constitue pas une source distincte d'émissions de tritium.

La figure 8-17 présente pour sa part toutes les concentrations mensuelles de tritium atmosphérique obtenues aux cinq SCR situées au périmètre de l'ASDR (carte A-5 de l'annexe A), pour l'année 2019.

Figure 8-17 : Activité mensuelle en tritium atmosphérique à l'ASDR pour l'année 2019



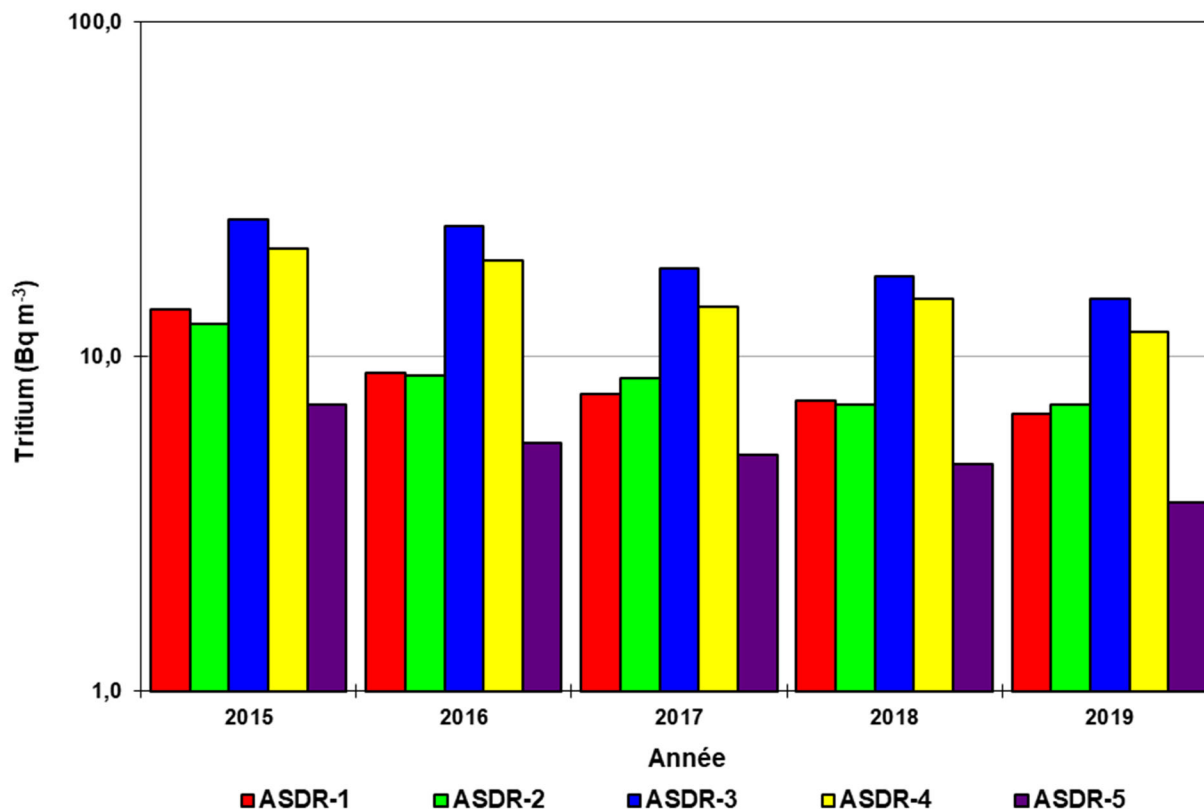
Au cours de l'année 2019, l'activité mensuelle en tritium atmosphérique relevée aux cinq stations du périmètre de l'ASDR a varié de $1,44 \text{ Bq m}^{-3}$ (ASDR-5 en mars) à $34,10 \text{ Bq m}^{-3}$ (ASDR-4 en octobre). À nouveau au cours de la dernière année, cette plage de valeurs s'est révélée semblable à celle observée aux années antérieures. D'une part, ce sont quasi toujours les stations ASDR-3 et ASDR-4 qui impliquent les concentrations les plus élevées. Ces stations sont toutes deux aménagées à la clôture méridionale de l'installation, bordant ainsi la rangée de fosses construites en phase II de l'aire de stockage. D'autre part, la distribution des valeurs mensuelles de concentration de tritium de ce sous-groupe semble obéir au même schéma. Chaque année, les concentrations sont en faible hausse en période printanière, pour culminer en octobre, et recommencer à fléchir par la suite. Il peut être supposé que les taux d'émissions soient directement liés à la température interne des déchets contenus dans les différentes fosses, et plus spécifiquement des ballots de déchets compactables. Considérant une certaine inertie thermique associée aux colis de déchets stockés aux enceintes, en comparaison des températures extérieures, il est compris que la désorption des quantités de tritium toujours présent aux déchets entreposés dans les fosses soit maximale alors que la température interne y est la plus élevée.

Contrairement aux constats faits pour les enceintes de l'IGDRS, l'évolution des valeurs rendues par les stations dédiées à l'ASDR confirme que les déchets contenus dans les différentes fosses de cette installation constituent une contribution locale mesurable d'émissions atmosphériques de tritium, en plus de celles issues de la cheminée principale de l'installation nucléaire de Gentilly-2. Les concentrations maximales y sont notamment plus élevées, bien que cette aire de stockage soit deux fois plus distante de la cheminée principale, et les disparités de valeurs entre les différentes stations du périmètre de l'aire de stockage sont également plus marquées.

Par ailleurs, les émissions secondaires de tritium provenant des fosses à déchets radioactifs de l'ASDR sont observées et documentées depuis plusieurs années. Non seulement toutes les fosses de l'ASDR sont pratiquement remplies au maximum de leur capacité, mais la conception même des enceintes de cette installation fait en sorte que l'étanchéité de ses couvercles de béton est moindre qu'à l'IGDRS. Il n'y a effectivement aucun joint d'étanchéité aux rebords de béton des fosses de l'ASDR, et les deux surfaces de contact ne s'y épousent pas parfaitement.

La figure 8-18 montre les valeurs annuelles moyennes de tritium atmosphérique obtenues aux cinq SCR situées au périmètre de l'ASDR (carte A-5 de l'annexe A) pour la période 2015-2019.

Figure 8-18 : Activité annuelle moyenne de tritium atmosphérique à l'ASDR pour la période 2015-2019



Comparativement à l'année précédente, la valeur annuelle moyenne de la majorité des stations est en diminution en 2019. C'est d'ailleurs une tendance constante observée au cours des dernières années. En 2019, les diminutions varient de 9,4 % (ASDR-1) à 23,2 % (ASDR-5). Sur l'ensemble de ces cinq stations dédiées à l'ASDR, seule la station ASDR-2 montre cette année une faible augmentation de sa concentration annuelle moyenne, soit de 0,7 %.

Lorsque l'analyse des données est à plus long terme, la période radioactive du tritium, de 12,3 ans, pourrait contribuer à une certaine réduction des concentrations émanant des déchets qui sont et qui seront mesurées à l'ASDR, tout comme une réduction progressive du terme source à la suite de la dispersion du tritium au fil des années.

Il est utile de mentionner qu'aucun transfert de déchets radioactifs n'a été réalisé à l'ASDR en 2019. Cette situation perdure depuis quelques années déjà, puisque le plus récent transfert de déchets y a été fait à l'automne 2012. Par ailleurs, d'autres activités de gestion de déchets reprendront à l'ASDR au cours de l'année 2020. Hydro-Québec entamera un important projet de réduction des volumes de certaines catégories de déchets de faible et de moyenne activité, notamment ceux stockés à l'ASDR.

8.2.3 Carbone-14

Aux installations de Gentilly-2, les émissions gazeuses de carbone-14, aussi rejetées à l'atmosphère par la cheminée principale, sont majoritairement sous forme de bioxyde de carbone ($^{14}\text{CO}_2$). À ces émissions, viennent également s'ajouter d'autres sources secondaires, de moindre activité radiologique, à l'exemple des émanations provenant de certains déchets stockés à l'ASDR. La dispersion environnementale du carbone-14 est notamment influencée, au même titre que celle du tritium précédemment décrite, par les différentes conditions météorologiques et les taux variables de précipitations. En concentration atmosphérique, l'activité massique du carbone-14 est publiée en becquerel par gramme de carbone (Bq g-C^{-1}). Un échantillonnage de carbone-14 est également réalisé à la station de référence de Trois-Rivières. À cette station, la concentration annuelle moyenne de l'année 2019 a été quantifiée à $0,214 \text{ Bq g-C}^{-1}$, ce qui est comparable à la plage des valeurs de concentrations naturelles de carbone-14 atmosphérique présentées à la littérature scientifique (NCRP, 1985).

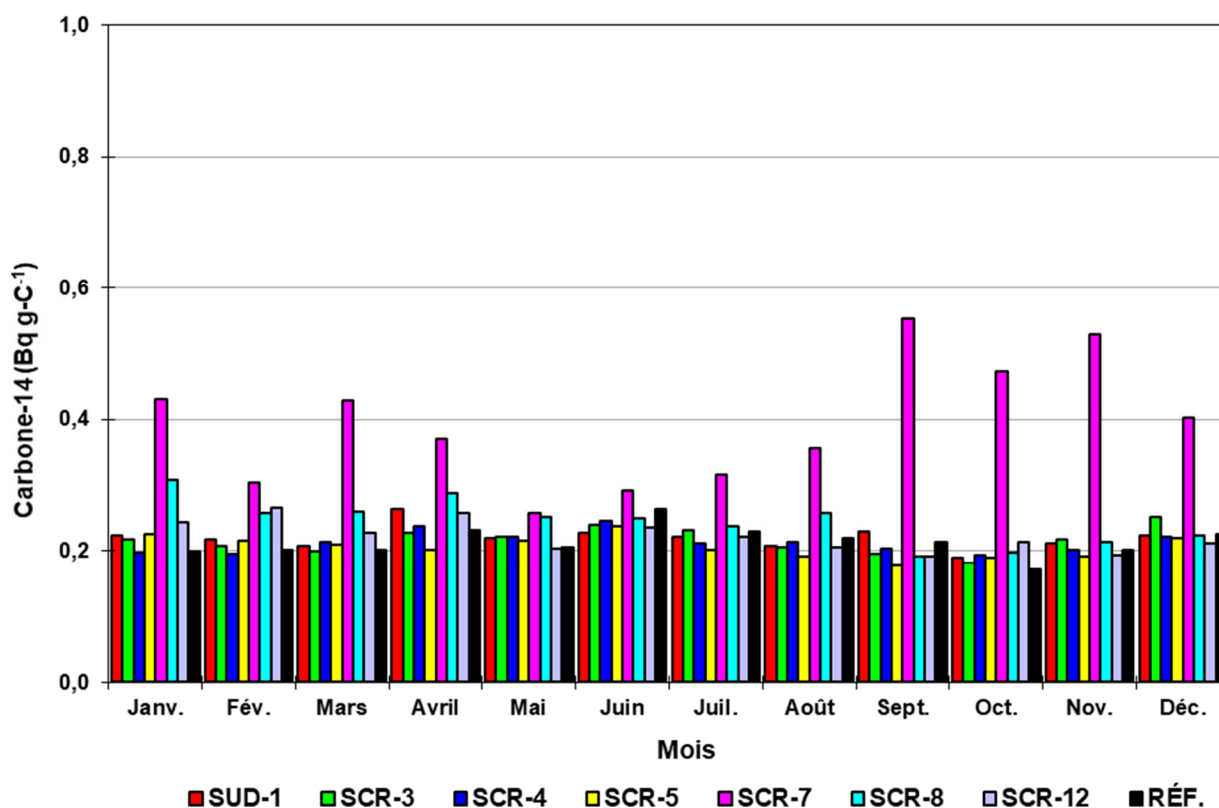
Suivant l'achèvement, en novembre 2017, de la troisième et dernière phase de gestion des résines échangeuses d'ions permettant leur transfert aux installations de l'IGDRS, le profil de dispersion environnementale relatif à la quantification des concentrations du carbone-14 atmosphérique a été marqué de changements importants. À l'image de la quantification de carbone-14 aux rejets gazeux (section 2.1) qui a montré de très faibles valeurs en 2019, tout comme en 2018, celles de plusieurs SCR sont aussi en important recul comparativement à l'année 2017.

Il a été documenté qu'au terme de leur utilisation dans les systèmes nucléaires, ces résines échangeuses d'ions avaient capté plus de 90 % du carbone-14 produit durant l'exploitation de la centrale nucléaire de Gentilly-2. Cette gestion des résines usées était

un prérequis à l'atteinte du prochain ÉSS, celui où tout le combustible nucléaire irradié aura été transféré aux modules CANSTOR de l'ASSCI et de l'IGDRS.

La figure 8-19 présente les concentrations mensuelles en carbone-14 atmosphérique mesurées en 2019 aux SCR de la zone d'exclusion (carte A-1 de l'annexe A), à la station située dans le parc industriel et portuaire de Bécancour (PIPB), identifiée SCR-5, ainsi qu'à la station de référence de Trois-Rivières (carte A-4). La station SCR-12 assure depuis 2016 la surveillance à l'est de la cheminée principale. La station Sud-1 a également été dotée d'un équipement d'échantillonnage en 2016.

Figure 8-19 : Activité mensuelle en carbone-14 atmosphérique aux stations Sud-1 et SCR-3, SCR-4, SCR-5, SCR-7, SCR-8, SCR-12 (zone rapprochée) et à la station de référence pour l'année 2019



Pour l'ensemble de ces sept stations, les concentrations mensuelles de carbone-14 atmosphérique relevées en 2019 ont varié de 0,178 Bq g-C⁻¹ (SCR-5 en septembre) à 0,554 Bq g-C⁻¹ (SCR-7 aussi en septembre). En ce qui concerne spécifiquement cette valeur mensuelle maximale de l'année 2019, elle est en faible recul de 10,7 % comparativement à la même donnée maximale pour l'année précédente.

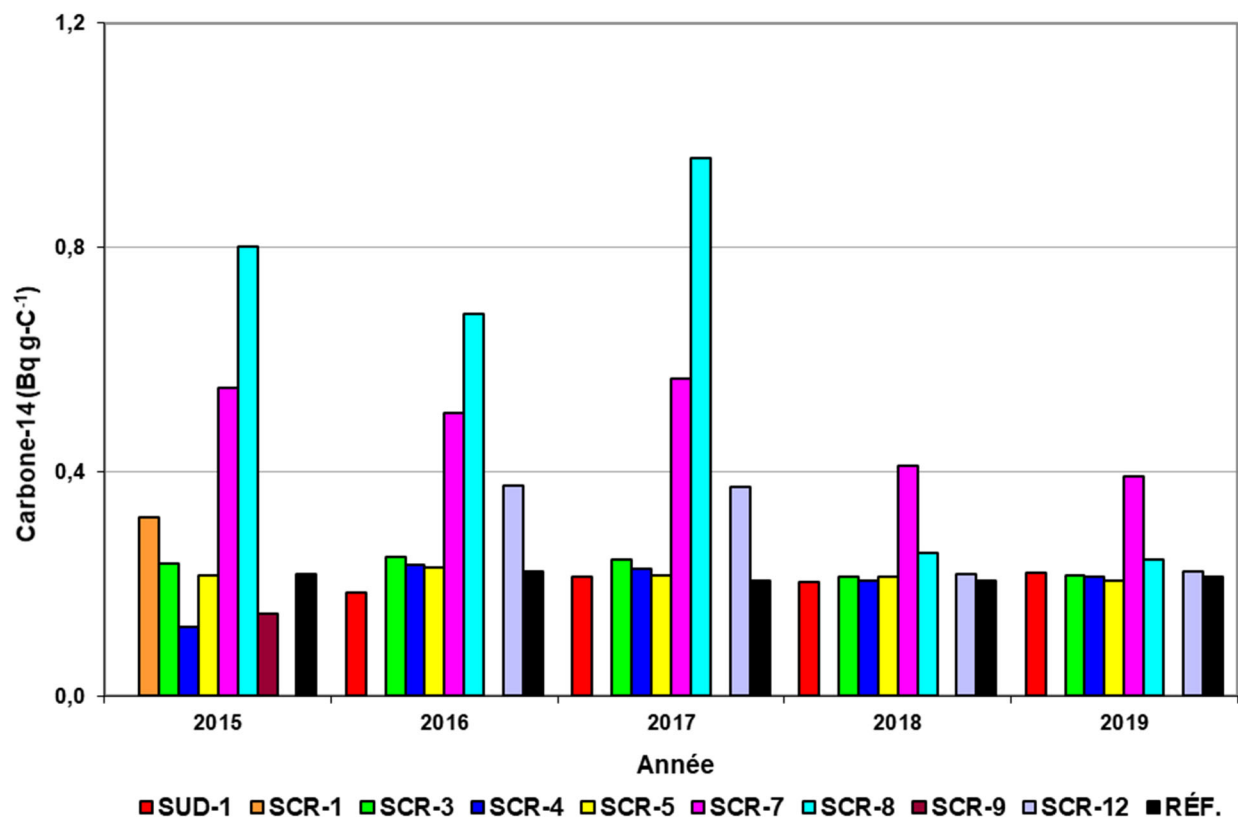
Considérant maintenant le très faible apport de carbone-14 à la cheminée principale documenté depuis les deux dernières années, il est juste de conclure que seules les émissions diffuses émanant des déchets radioactifs stockés sont perçues à la

surveillance de la dispersion environnementale. C'est pourquoi seule la station SCR-7, située au pourtour de l'ASDR, montre en 2019 un profil de concentrations qui se démarque significativement de celles mesurées en bruit de fond environnemental.

La figure 8-20 présente toutes les valeurs annuelles moyennes de concentrations de carbone-14 atmosphérique issues d'échantillons provenant des sept SCR de la zone d'exclusion (carte A-1 de l'annexe A), à la station SCR-5 située dans le PIPB, à la station Sud-1 située à la limite de la propriété d'Hydro-Québec et à la station de référence de Trois-Rivières, pour la période 2015-2019 (carte A-4 de l'annexe A).

À la récapitulation des cinq dernières années, le clivage témoignant de l'influence des travaux liés à la gestion des résines usées échangeuses d'ions peut être distingué. À partir de l'année 2018, plusieurs concentrations atmosphériques annuelles moyennes de carbone-14 sont en forte diminution. Le recul est le plus important à la station SCR-8.

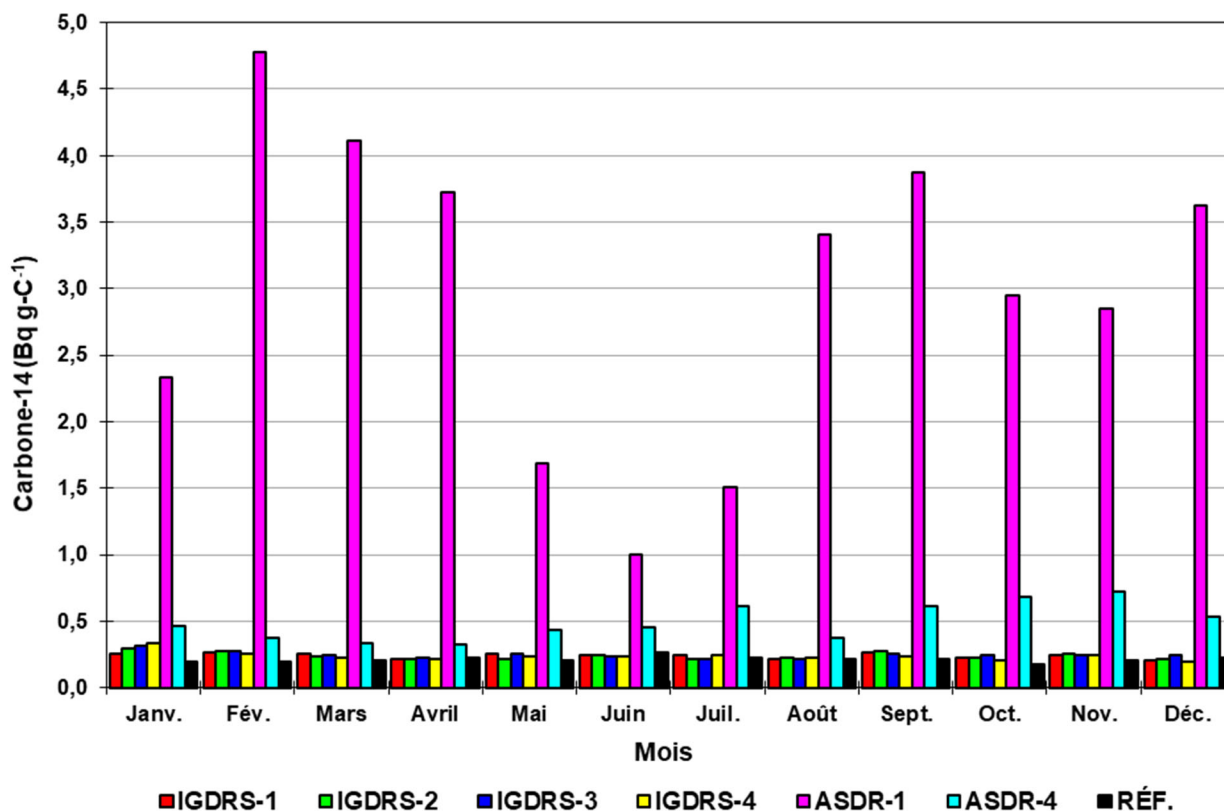
Figure 8-20 : Activité annuelle moyenne en carbone-14 atmosphérique aux stations Sud-1, SCR-1, SCR-3, SCR-4, SCR-5, SCR-7, SCR-8, SCR-9 et SCR-12 (zone rapprochée) et à la station de référence pour la période 2015-2019



La figure 8-21 présente pour sa part les valeurs mensuelles d'activité en carbone-14 atmosphérique provenant de quatre stations supplémentaires érigées en périphérie de l'IGDRS, de deux autres stations à l'ASDR ainsi qu'à la station de référence de Trois-Rivières (cartes A-1 et A-4 de l'annexe A) pour l'année 2019.

Pour l'ensemble des six SCR dédiées à la surveillance du carbone-14 atmosphérique au pourtour des deux installations de stockage de déchets radioactifs solides de Gentilly-2, les valeurs mensuelles de l'année 2019 ont varié de 0,192 Bq g-C⁻¹ (IGDRS-4 en décembre) à 4,778 Bq g-C⁻¹ (ASDR-1 en février). Depuis la cessation des activités de gestion de résines usées échangeuses d'ions, en fin de l'année 2017, il est raisonnable d'attribuer pleinement les concentrations de carbone-14 quantifiées aux abords des deux installations de stockage de déchets radioactifs aux émissions diffuses provenant des fosses. Par ailleurs, les valeurs paraissant à la figure 8-21 confirment encore en 2019 que les teneurs de carbone-14 sont plus élevées à proximité de l'ASDR qu'elles ne le sont à l'IGDRS. Cette situation est par ailleurs connue et documentée depuis plusieurs années. Les impacts environnementaux en sont limités à faible distance, à même le site de Gentilly-2. Les mêmes explications soutenant l'analyse des concentrations et de la dispersion du tritium atmosphérique, discutées à la section 8.2.2, peuvent également s'appliquer pour celle du carbone-14.

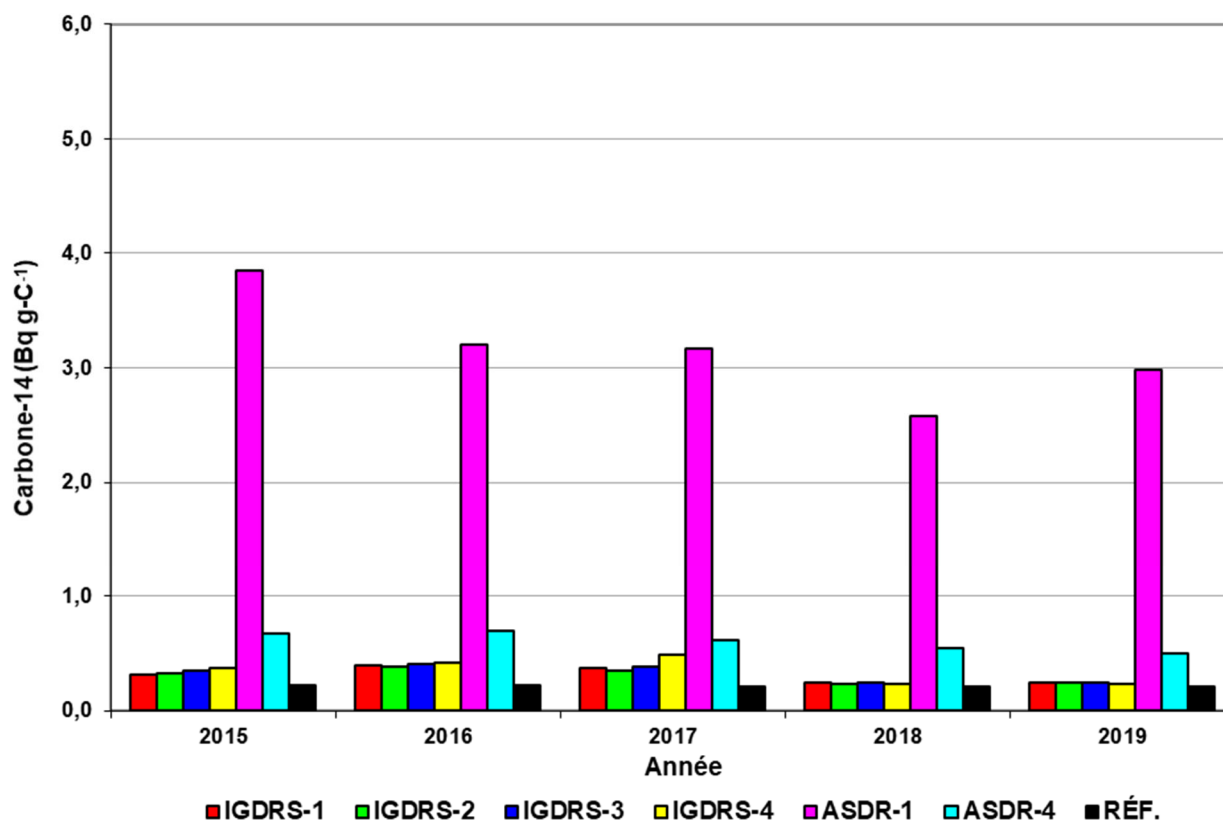
Figure 8-21 : Activité mensuelle en carbone-14 atmosphérique à l'IGDRS, à l'ASDR et à la station de référence pour l'année 2019



La figure 8-22 présente les valeurs de concentration annuelle moyenne de carbone-14 atmosphérique aux quatre stations en périphérie de l'IGDRS, à deux autres stations de l'ASDR ainsi qu'à la station de référence (cartes A-1 et A-4 de l'annexe A) pour la période 2015-2019.

En comparaison de l'année précédente, les variations relatives aux concentrations atmosphériques annuelles moyennes de carbone-14 mesurées aux stations aménagées au pourtour des installations de stockage de déchets radioactifs sont plus hétérogènes en 2019. Elles passent d'une diminution de 9,3 % (ASDR-4) à une augmentation de l'ordre de 15,7 % (ASDR-1). Comme aucune fosse de déchets, ni aucun de leurs couvercles de béton, n'a été ouvert au cours de l'année 2019, il est présumé que ces variations sont plutôt dues à des conditions météorologiques ou d'autres facteurs de dispersion. Tant que les fosses de l'ASDR contiendront des déchets radioactifs, Hydro-Québec assurera le maintien des stations de ce regroupement pour valider et quantifier les apports de carbone-14 liés aux émissions diffuses de cette installation.

Figure 8-22 : Activité annuelle moyenne en carbone-14 atmosphérique à l'IGDRS, à l'ASDR et à la station de référence pour la période 2015-2019

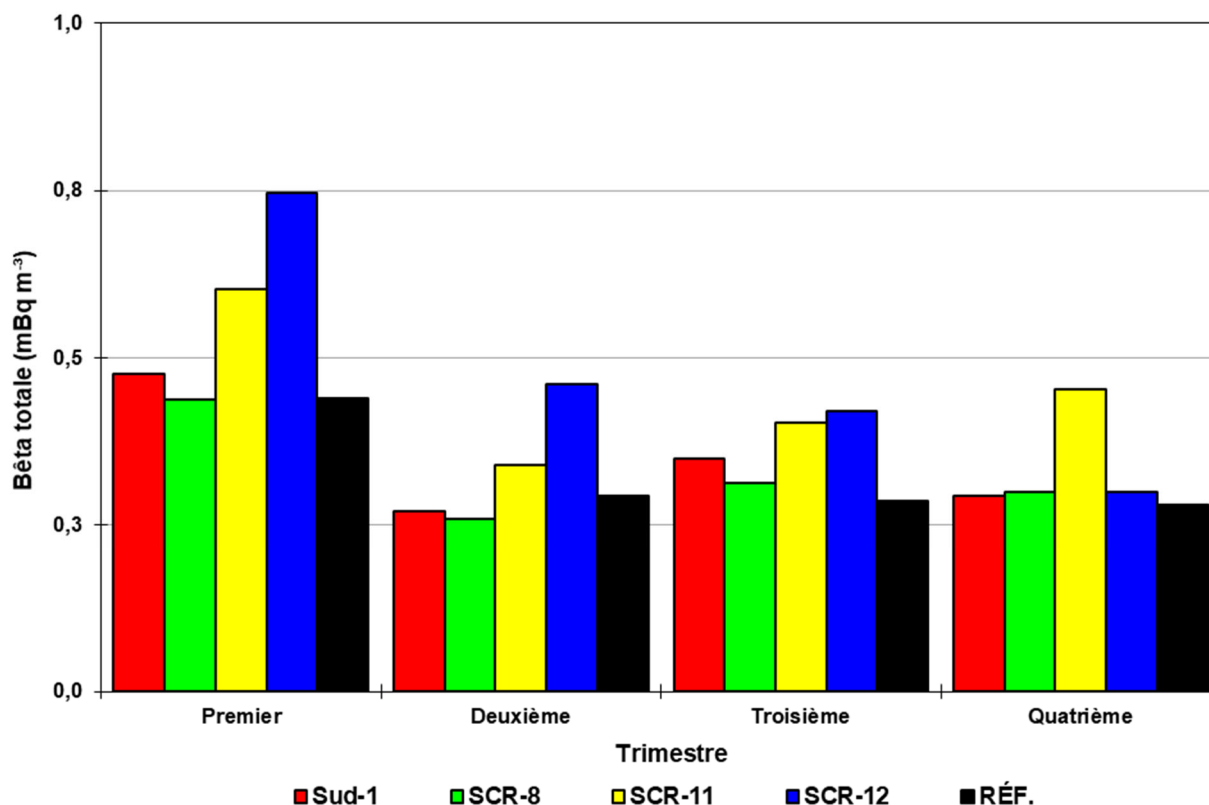


8.2.4 Aérosols

La surveillance radiologique de l'environnement dédiée à l'aspect des aérosols cible exclusivement les particules en suspension dans l'air. Elles sont échantillonnées au moyen d'un assemblage constitué d'une pompe et d'un filtre papier au travers duquel un volume connu d'air ambiant a circulé, de façon continue. Le filtre est ensuite analysé en laboratoire pour en déterminer l'activité bêta totale par unité de volume.

La figure 8-23 présente les valeurs trimestrielles moyennes d'activité bêta totale issue des aérosols prélevés au cours de l'année 2019, et ce, à un premier groupe de quatre stations du PSRE (cartes A-1 et A-4 de l'annexe A). Compte tenu des faibles valeurs colligées aux années antérieures, Hydro-Québec assure dorénavant la surveillance de radioactivité aux aérosols seulement à proximité des installations de Gentilly-2, exception faite de la station de référence à Trois-Rivières.

Figure 8-23 : Moyenne trimestrielle de l'activité bêta totale dans les aérosols prélevés aux stations Sud-1, SCR-8, SCR-11, SCR-12 et à la station de référence pour l'année 2019



Pour l'ensemble des quatre stations suivies à ce regroupement, les valeurs mensuelles d'activité bêta totale colligées en 2019 ont varié de 0,19 mBq m⁻³ (SCR-8 en mai) à 0,94 mBq m⁻³ (SCR-12 en mars). Comme par le passé, les valeurs trimestrielles moyennes d'activité bêta totale quantifiée pour ces stations en 2019 sont d'un même

ordre de grandeur que celles tirées de la station de référence. En comparaison, la valeur mensuelle maximale à la station de référence fut de 0,45 mBq m⁻³ (mars).

La quantification de l'activité bêta totale issue des aérosols est reconnue pour être influencée par les poussières en suspension dans l'air, le sable et le sel de déglacage épandus en abondance sur les voies de circulation automobile. Ces particules contiennent notamment du potassium-40, d'origine naturelle. C'est fort possiblement ce qui explique que les valeurs les plus élevées de l'année 2019 soient toutes associées au premier trimestre. Aucune concentration présentée à cette figure ne témoigne par ailleurs d'un événement qui aurait pu être la source d'une dispersion de radioactivité particulière, qui serait survenu aux installations de Gentilly-2.

Les figures 8-24 et 8-25 présentent pour leur part les mesures d'activité bêta totale quantifiée en 2019, respectivement aux quatre stations ceinturant l'IGDRS et aux cinq stations présentes au pourtour de l'ASDR. Les mesures provenant de la station de référence y sont aussi illustrées (cartes A-1 et A-4 de l'annexe A).

Figure 8-24 : Moyenne trimestrielle de l'activité bêta totale dans les aérosols prélevés à l'IGDRS et à la station de référence pour l'année 2019

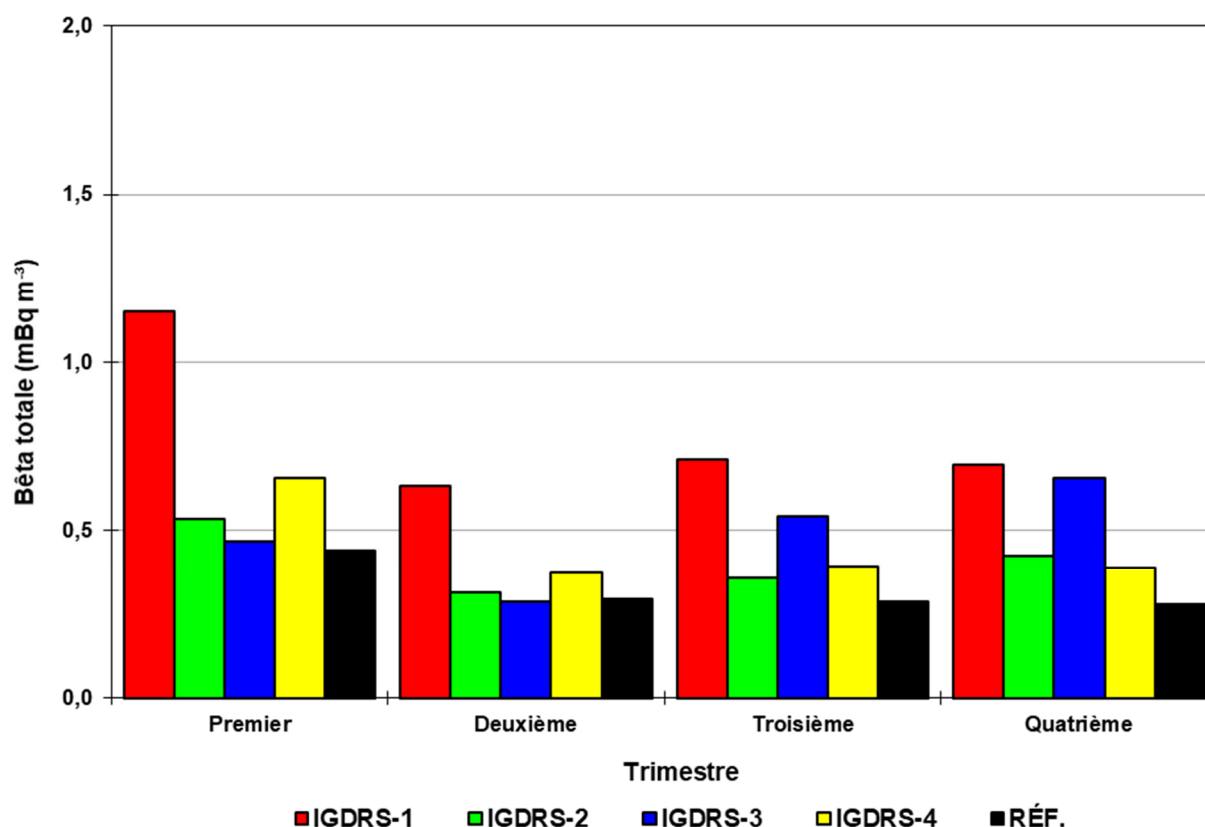
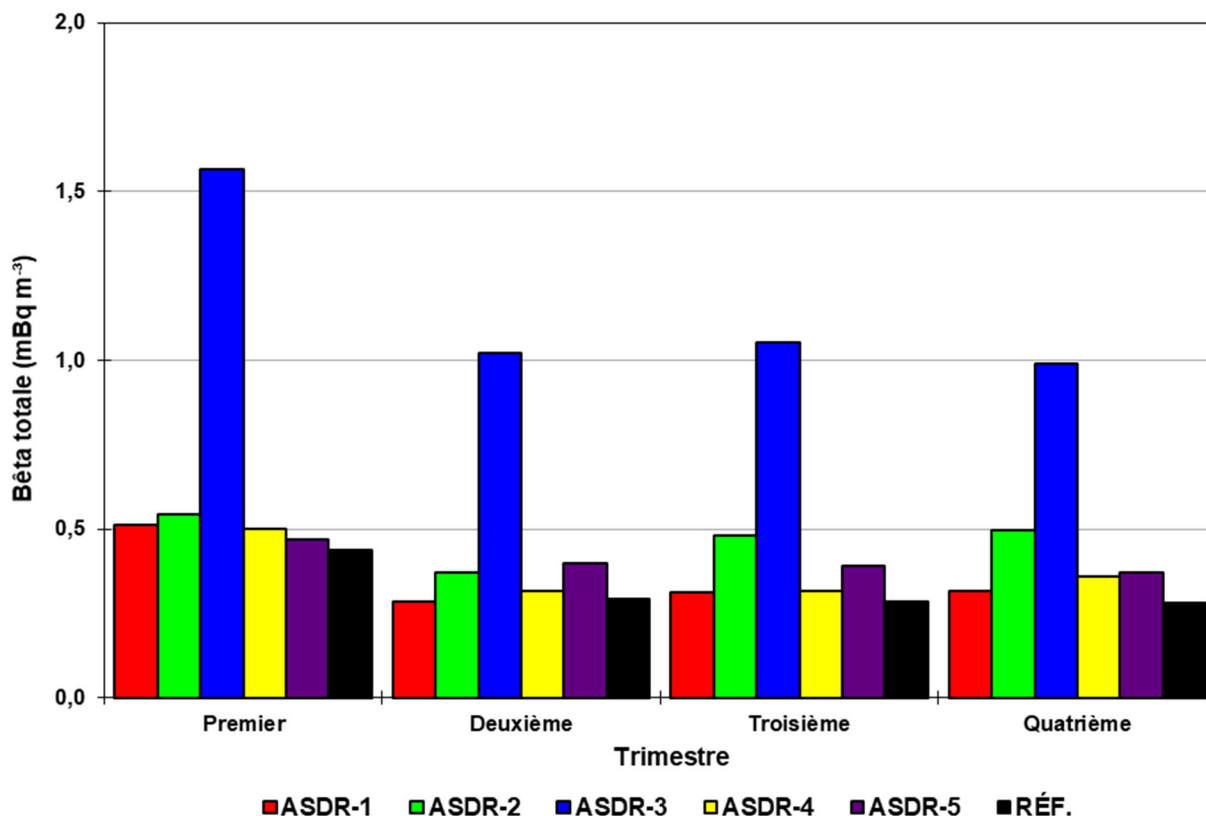


Figure 8-25 : Moyenne trimestrielle de l'activité bêta totale dans les aérosols prélevés à l'ASDR et à la station de référence pour l'année 2019



Les neuf SCR que comptent ces deux autres groupes, aussi équipées pour la collecte d'échantillons particuliers dans l'air, bordent respectivement les deux installations de stockage de déchets radioactifs solides à Gentilly-2. Advenant une condition anormale au cours d'une manipulation de déchets à ces installations, l'émission de particules radioactives pourrait y survenir. C'est la raison pour laquelle Hydro-Québec priorise dorénavant la surveillance environnementale des particules en suspension dans l'air à ces deux périmètres.

La plupart des valeurs trimestrielles moyennes d'activité bêta totale mesurées en 2019 aux neuf stations de l'IGDRS et de l'ASDR sont également similaires à celles issues de la station de référence. À l'IGDRS et à l'ASDR, les valeurs mensuelles d'activité bêta totale ont varié, en 2019, de 0,15 mBq m⁻³ (IGDRS-3 en mai) à 1,73 mBq m⁻³ (ASDR-3 en mars). Rappelons que la même valeur mensuelle maximale, propre à la station de référence, fut de 0,45 mBq m⁻³, quantifiée en mars 2019.

Les valeurs spécifiques à la station ASDR-3 se démarquent tout de même des autres stations de ce regroupement. Les stations ASDR-2 et ASDR-3 sont toutes deux situées à proximité de la fosse A-13 de l'ASDR, celle dans laquelle tous les filtres utilisés en eau lourde durant la phase d'exploitation de la centrale nucléaire de Gentilly-2 ont été

entreposés. Bien que l'activité volumique trimestrielle y soit toujours faible, le plus souvent inférieure à 1 mBq m⁻³ en moyenne, on peut supposer qu'un apport local y contribue légèrement, de façon constante.

Ceci dit, les valeurs présentées aux trois figures 8-23, 8-24 et 8-25 confirment tout de même qu'aucun événement ponctuel, ni aucune situation anormale dans le transfert ou la gestion d'un déchet radioactif solide, n'ait été la source d'émission significative de radioactivité particulière aux installations de stockage de déchets radioactifs solides de Gentilly-2 en 2019.

8.3 Surveillance de l'eau

Cette section présente les résultats de la surveillance radiologique des eaux de précipitations, de surface, d'infiltration, souterraines, ainsi que de l'eau potable au site des installations de Gentilly-2 et dans un environnement proche.

Compte tenu du nombre important de données individuelles impliquées à cette section et pour simplifier le traitement et la représentation, la majorité des données sera abordée sous forme de moyennes mensuelles, trimestrielles ou semestrielles. Le contrôle et la vigie d'Hydro-Québec considèrent toutefois individuellement chacune des données. Aussi, comme le spécifie le PSRE, toutes les valeurs d'activité bêta totale sont confrontées à des limites administratives spécifiques qui peuvent déclencher des analyses supplémentaires et une spectrométrie gamma, le cas échéant.

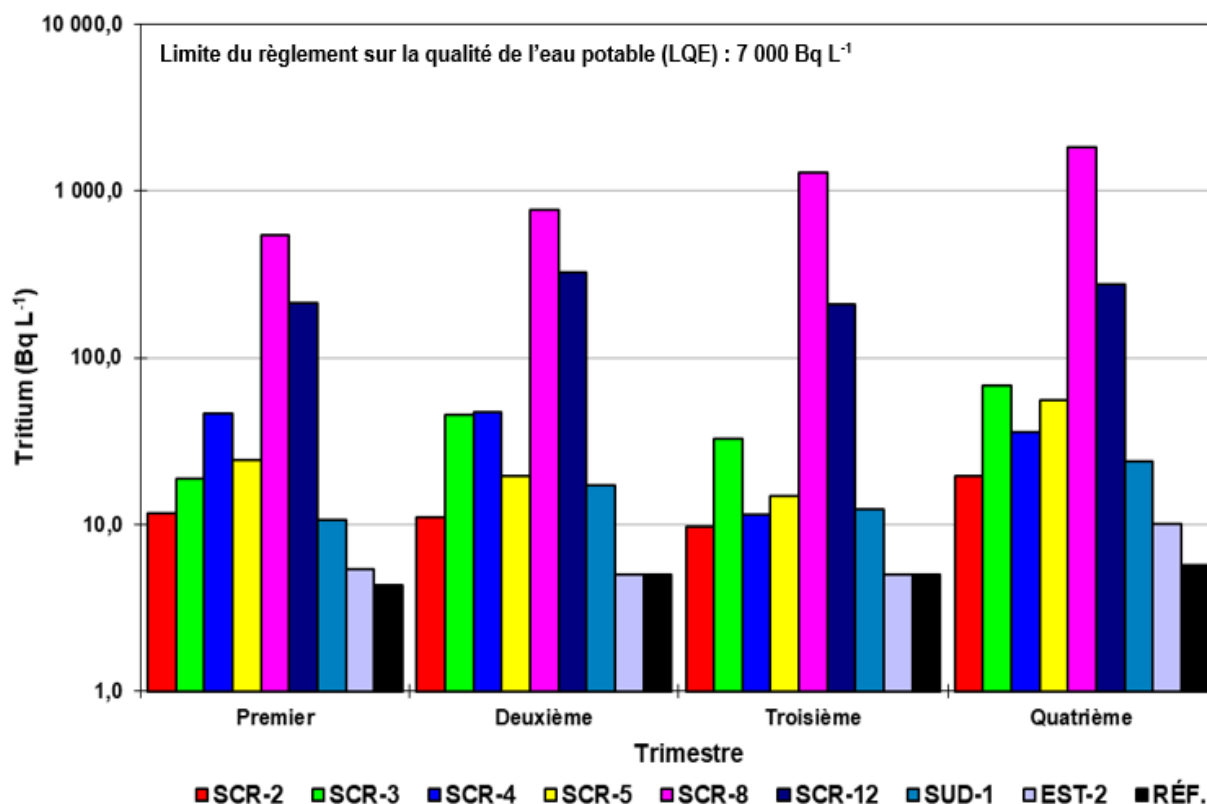
8.3.1 Précipitations

La figure 8-26 présente les valeurs moyennes trimestrielles des concentrations en tritium mesurées dans les eaux de précipitations (pluie, grésil ou neige) pour l'année 2019. Le suivi est réalisé à huit stations identifiées sur les cartes de l'annexe A :

- SCR-3, 8 et 12 de la zone d'exclusion (carte A-1) ;
- SCR-2, 4 et 5, Sud-1 et Est-2 dans la zone rapprochée (carte A-4) ;
- station de référence de Trois-Rivières (carte A-4).

Sur une base liquide, la quantification mensuelle des précipitations enregistrées à Bécancour a varié, au cours de l'année 2019, de 52 mm (décembre) à 149 mm (avril). Ces données proviennent du site d'instrumentation météorologique appartenant au MELCC, érigé à Bécancour, à une distance d'environ sept kilomètres du site des installations de Gentilly-2.

Figure 8-26 : Moyenne trimestrielle de l'activité en tritium dans les précipitations aux stations SCR-2 à SCR-5, SCR-8, SCR-12, Sud-1, Est-2 et de référence pour l'année 2019



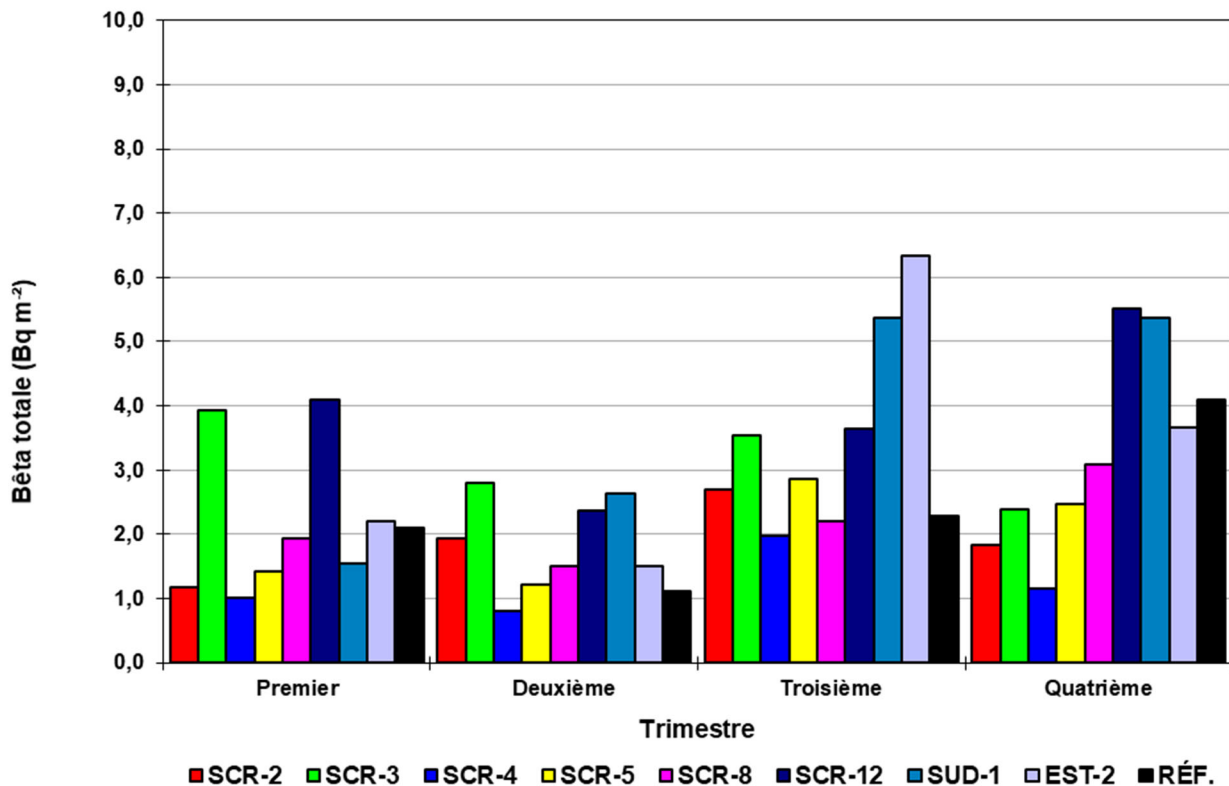
Les concentrations trimestrielles moyennes de tritium quantifiées dans l'eau des précipitations récoltée aux huit SCR des zones d'exclusion et rapprochée varient, en 2019, de 5 Bq L⁻¹ (Est-2 aux 2^e et 3^e trimestres) à 1 820 Bq L⁻¹ (SCR-8 au 4^e trimestre) alors que toutes les concentrations de la station de référence sont égales ou inférieures à 6 Bq L⁻¹. La valeur trimestrielle moyenne maximale de l'année 2018 avait également été associée à la station SCR-8 (1 350 Bq L⁻¹). Comme cette station est la plus rapprochée de la cheminée principale, il était attendu qu'elle présente à nouveau les valeurs les plus élevées, en l'absence d'événement particulier à Gentilly-2.

Les moyennes trimestrielles mesurées en 2019 sont comparables à celles des années précédentes. Les variations observées sont dues à plusieurs facteurs, parmi lesquels on trouve : les taux de rejets à la cheminée, l'emplacement des stations d'échantillonnage, leur proximité par rapport au principal point d'émissions et les taux de précipitations. Le profil des concentrations de tritium dans les eaux de précipitations indique aussi que le panache de tritium gazeux émis au principal point d'émissions est rapidement rabattu, à faible distance de la cheminée et à l'intérieur de la zone d'exclusion des installations de Gentilly-2.

La figure 8-27 présente plutôt les valeurs trimestrielles moyennes de l'activité bêta totale dans les eaux de précipitations au cours de l'année 2019, et ce, aux mêmes SCR que celles présentées à la figure 8-26. L'activité bêta totale est principalement liée aux particules radioactives aéroportées et rabattues lors de précipitations. Considérant l'évaporation possible des précipitations accumulées dans les réceptacles des SCR, la détermination de l'activité bêta totale aux précipitations est plutôt quantifiée par unité de surface, soit celle de l'ouverture du réceptacle.

En 2019, seule une valeur mensuelle d'activité bêta totale a été supérieure à 10 Bq m⁻², seuil déclencheur statué au PSRE et engageant à une analyse additionnelle de spectrométrie gamma. Cette valeur fut mesurée à 12,2 Bq m⁻², à la station SCR-12 en novembre. L'analyse supplémentaire a permis d'identifier les radionucléides en cause, soit le potassium-40 (24,8 Bq m⁻²), le bismuth-214 (0,54 Bq m⁻²), le plomb-212 (0,50 Bq m⁻²) et le plomb-214 (0,65 Bq m⁻²).

Figure 8-27 : Moyenne trimestrielle de l'activité bêta totale dans les précipitations aux stations SCR-2 à SCR-5, SCR-8, SCR-12, Sud-1, Est-2 et de référence pour l'année 2019



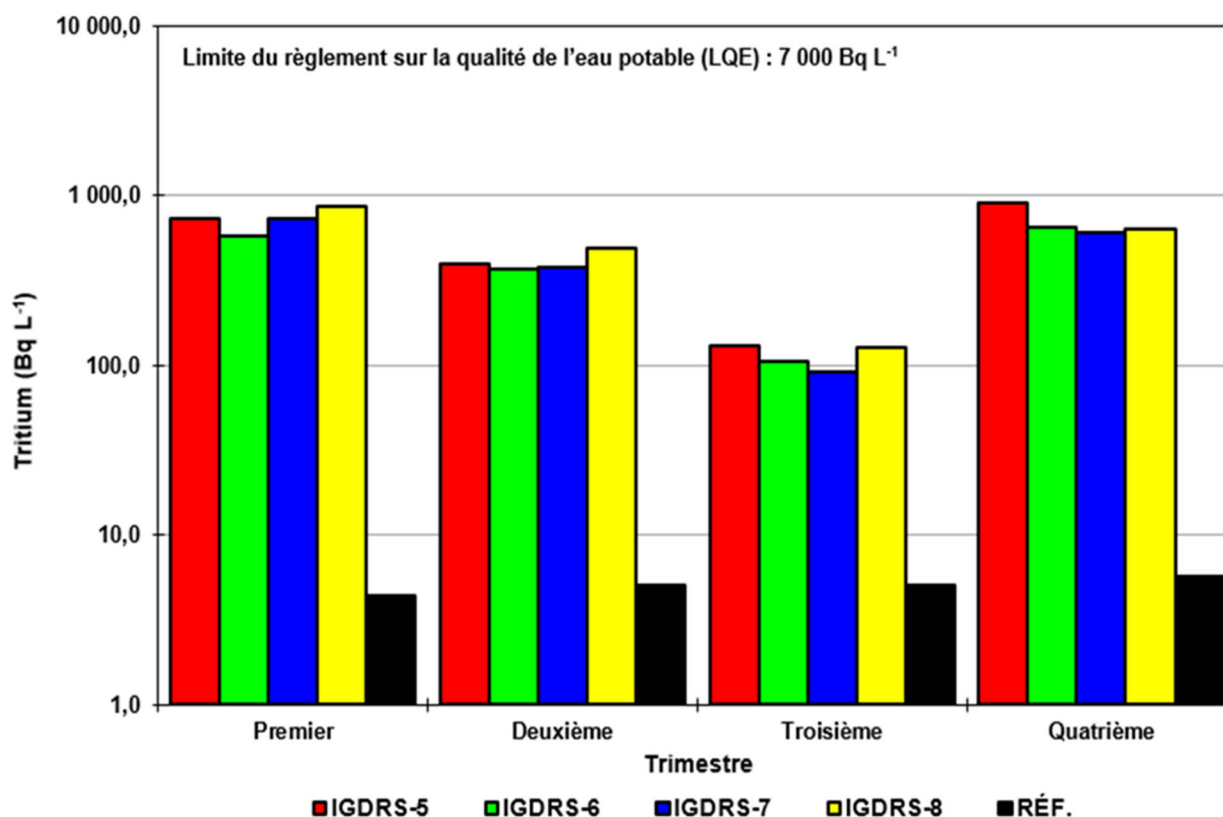
La figure 8-28 illustre les valeurs trimestrielles moyennes d'activité de tritium dans les eaux de précipitations pour les quatre stations ceinturant le périmètre clôturé de

l'IGDRS (carte A-6 de l'annexe A) et à la station de référence (carte A-4 de l'annexe A) pour l'année 2019.

Les valeurs trimestrielles moyennes de tritium à ces stations de l'IGDRS ont varié de 91 Bq L⁻¹ (IGDRS-7 au 3^e trimestre) à 905 Bq L⁻¹ (IGDRS-5 au 3^e trimestre). Cette dernière valeur n'est pas significativement différente des autres stations de contrôle aménagées ailleurs, en zone d'exclusion des installations de Gentilly-2.

Les faibles variations d'activité en tritium entre les quatre stations de l'IGDRS, à proximité les unes des autres, suggèrent que les concentrations de tritium mesurées à ces stations proviennent toutes de la cheminée principale de l'installation nucléaire de Gentilly-2. Advenant qu'une enceinte de déchets de l'IGDRS devienne elle-même une importante source de tritium, le profil des valeurs différerait grandement.

Figure 8-28 : Moyenne trimestrielle de l'activité en tritium dans les précipitations aux stations IGDRS-5 à 8 et à la station de référence pour l'année 2019

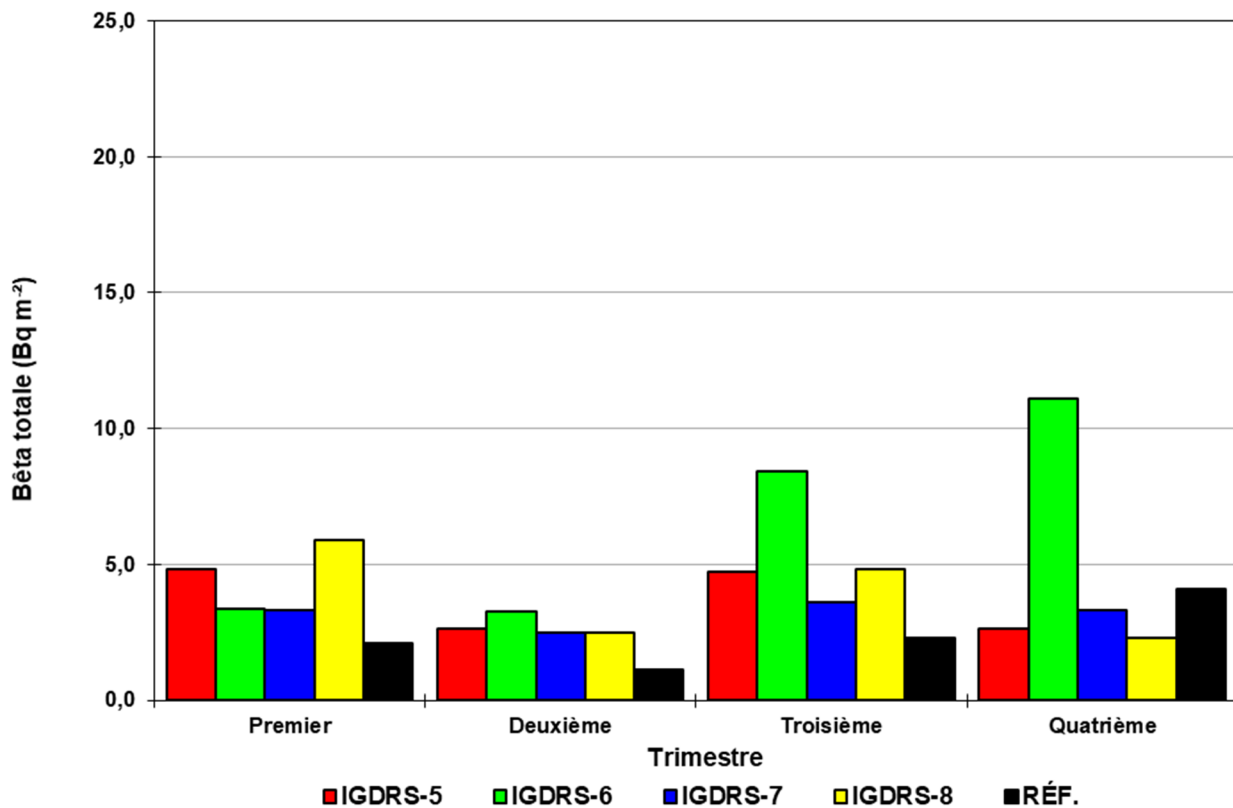


La figure 8-29 illustre les valeurs trimestrielles moyennes de l'activité bêta totale dans les eaux de précipitations des quatre stations à proximité de l'IGDRS et de la station de référence pour l'année 2019. La moyenne trimestrielle maximale de ce regroupement fut de 11,1 Bq m⁻² (IGDRS-6 au 4^e trimestre). Deux valeurs mensuelles ont été

supérieures au critère déclencheur (10 Bq m^{-2}) demandant une analyse additionnelle de spectrométrie gamma sur les mêmes échantillons.

Ces valeurs mensuelles ont toutes deux été mesurées à la station IGDRS-6 en août ($14,0 \text{ Bq m}^{-2}$) et novembre ($24,0 \text{ Bq m}^{-2}$). Aux analyses supplémentaires menées sur ces deux échantillons, seul le potassium-40 fut quantifié en tant qu'émetteur gamma respectivement à $34,6 \text{ Bq m}^{-2}$ et $25,0 \text{ Bq m}^{-2}$.

Figure 8-29 : Moyenne trimestrielle de l'activité bêta totale dans les précipitations aux stations IGDRS-5 à 8 et à la station de référence pour l'année 2019



Les eaux de surface du site sont principalement soutenues par les précipitations et par la fonte de la neige, en période printanière. Elles sont par ailleurs prélevées dans des ruisseaux ou des zones de résurgence lorsqu'elles sont disponibles. Les résultats d'analyses en tritium et en activité bêta totale, dans les eaux de surface autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS, sont présentés aux figures 8-30, 8-31 et 8-32.

Les résultats illustrés représentent :

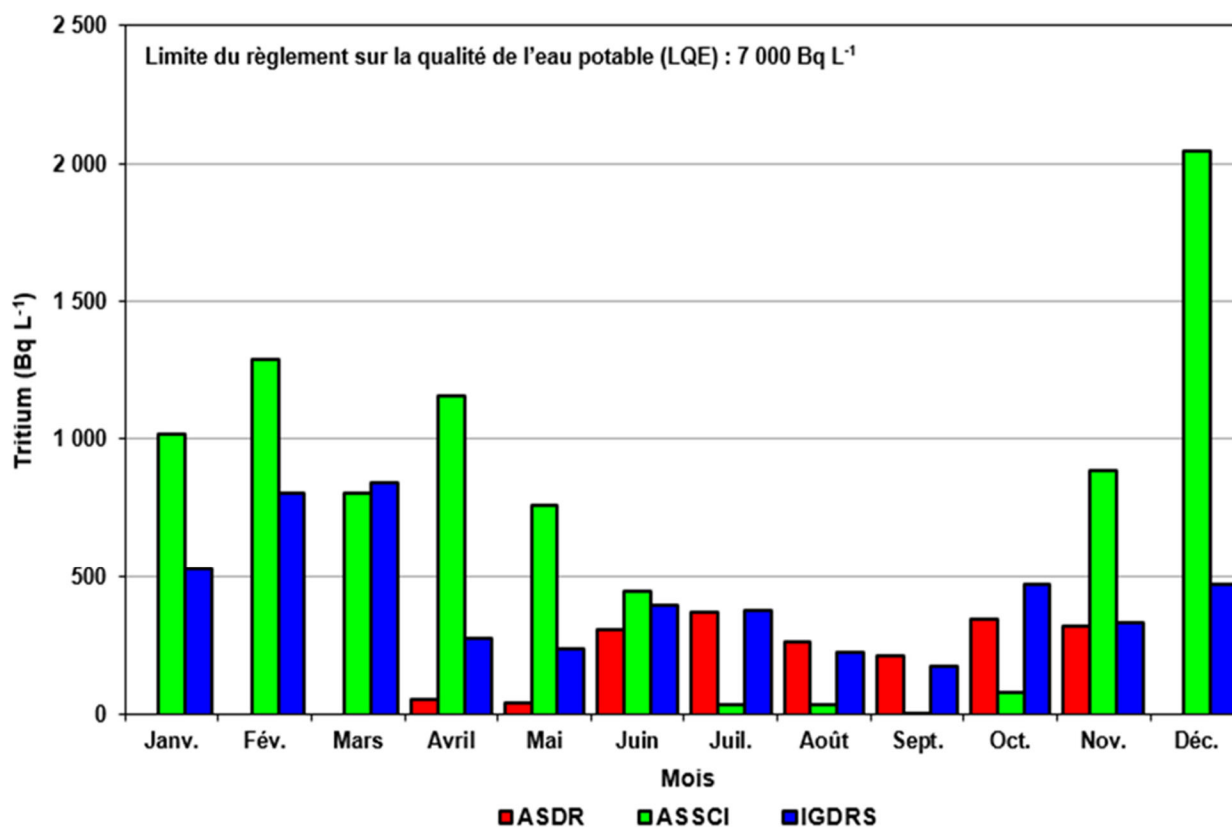
- une moyenne des résultats des prélèvements des points S-16 et S-17 pour la série identifiée ASDR ;

- le résultat des prélèvements du seul point S-1 pour la série identifiée ASSCI ;
- une moyenne des résultats des prélèvements à l'échantillonneur automatique et à la vanne guillotine (1520-V1) de la digue pour la série identifiée IGDRS.

L'emplacement précis de chacun de ces points est illustré sur la carte A-1 de l'annexe A. Pour cette matrice, l'absence de certaines données est attribuable au fait que des points d'échantillonnage étaient secs ou gelés au moment du prélèvement.

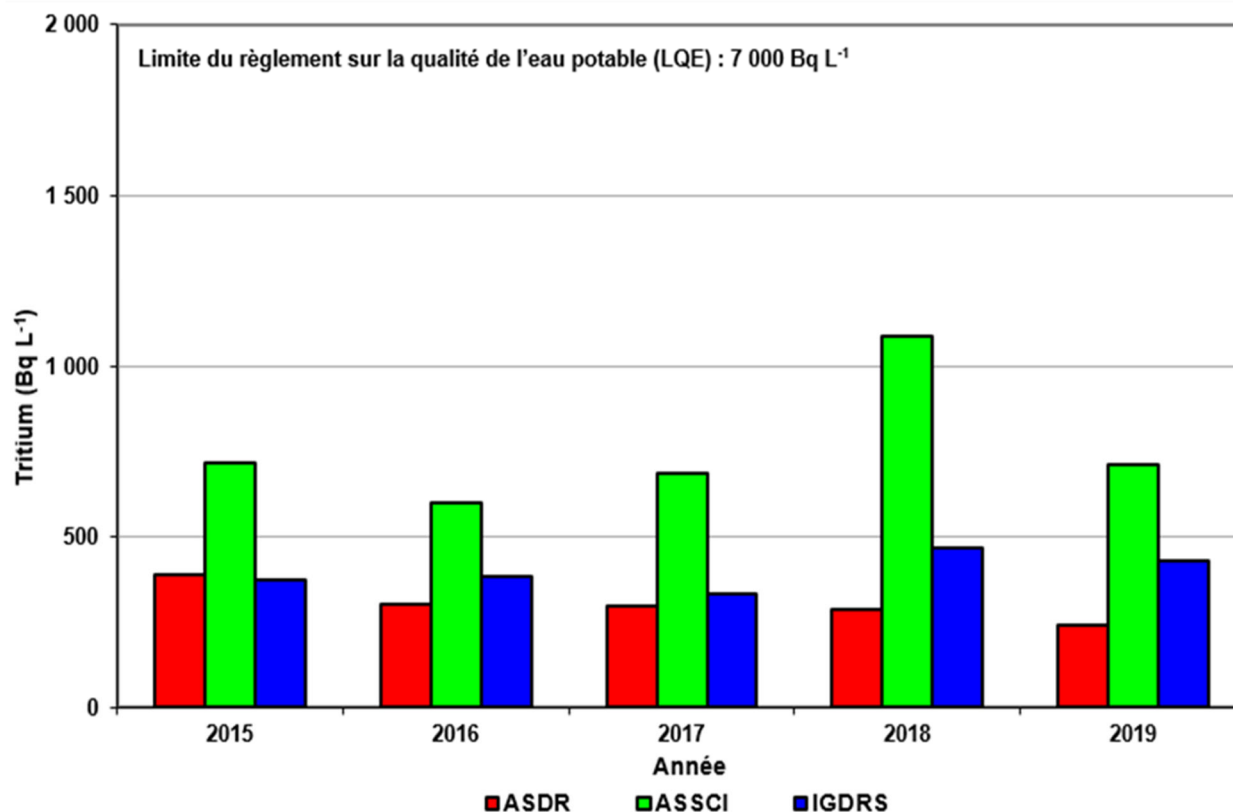
La figure 8-30 illustre les moyennes mensuelles de l'activité en tritium dans l'eau de surface mesurée aux points d'échantillonnage précités. En 2019, les valeurs ont varié de 5 Bq L⁻¹ (ASSCI en septembre) à 2 045 Bq L⁻¹ (ASSCI en décembre). Afin de relativiser cette valeur maximale, rappelons que la concentration limite de tritium édictée au règlement provincial sur la qualité de l'eau potable est fixée à 7 000 Bq L⁻¹.

Figure 8-30 : Moyenne mensuelle de l'activité en tritium dans l'eau de surface autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS pour l'année 2019



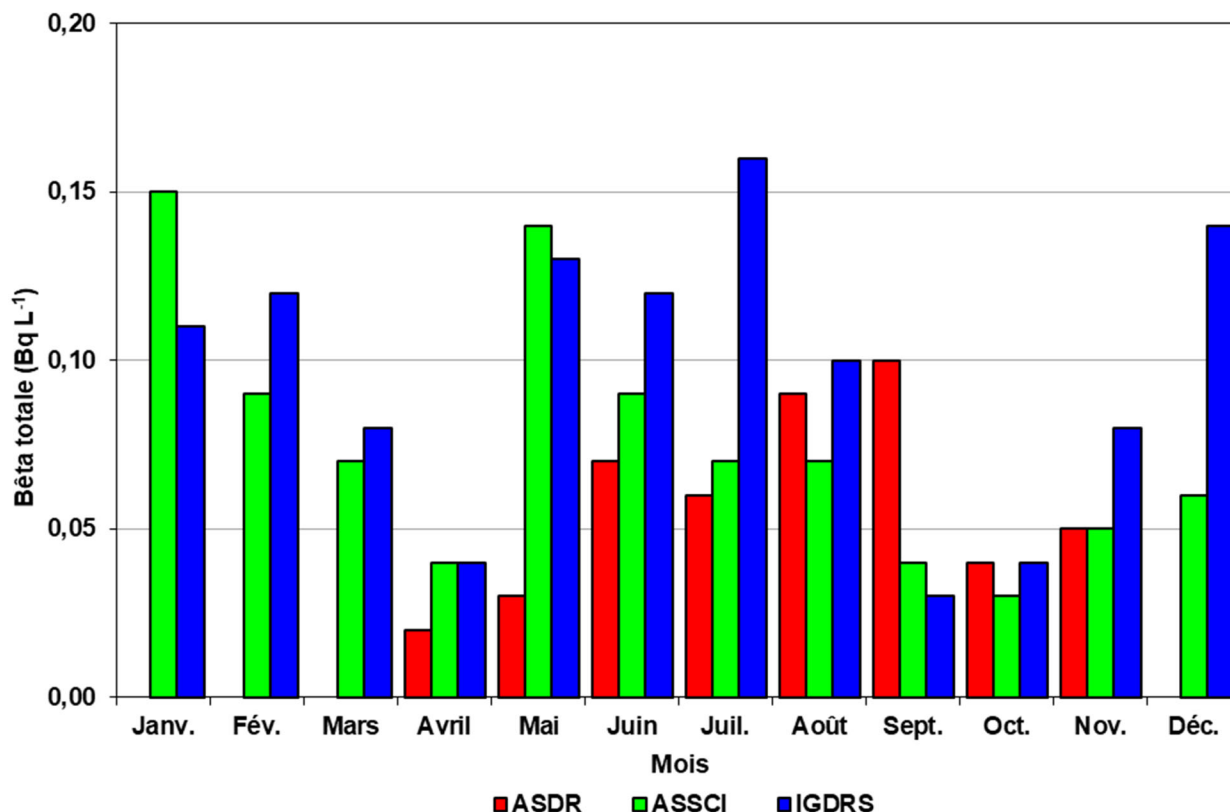
Les valeurs annuelles moyennes de l'activité en tritium des eaux de surface à l'ASDR, à l'IGDRS et à l'ASSCI paraissent à la figure 8-31. Comparativement à l'année précédente, les données de l'année 2019 indiquent des baisses de 8,6 % pour l'IGDRS, de 15,5 % pour l'ASDR et de 34,2 % pour l'ASSCI.

Figure 8-31 : Moyenne annuelle de l'activité en tritium dans l'eau de surface autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS pour la période 2015-2019



Les mesures mensuelles moyennes de l'activité bêta totale obtenues dans l'eau de surface à l'ASDR, à l'ASSCI et à l'IGDRS sont présentées à la figure 8-32. En 2019, la valeur maximale mesurée a été de 0,16 Bq L⁻¹ (IGDRS en juillet). Considérant la valeur de leur coefficient de partage respectif, la majorité des radionucléides habituellement présents ont une plus grande affinité avec les particules de sol et, par conséquent, n'ont pas tendance à demeurer dans l'eau de surface. Il s'agit d'une des raisons faisant en sorte que les valeurs d'activité bêta totale y soient généralement moindres que dans d'autres matrices aqueuses, en l'absence de condition anormale d'exploitation ou d'événement qui aurait pu être source de dispersion de radioactivité.

Figure 8-32 : Moyenne mensuelle de l'activité bêta totale dans l'eau de surface autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS pour l'année 2019



Le suivi des eaux de surface intègre également le prélèvement d'échantillons destinés à mesurer la teneur en tritium dans l'eau du fleuve Saint-Laurent. La carte A-7 de l'annexe A illustre l'emplacement des points d'échantillonnage en aval (B et C) du canal de rejet des installations de Gentilly-2. Le point d'échantillonnage en amont (A) du canal de rejet, échantillon réputé représenter le bruit de fond lié à la radioactivité d'origines naturelle et anthropique au fleuve Saint-Laurent, a été abandonné à la suite de l'adaptation du PSRE en juillet 2017. Le caractère stable de même que l'historique des concentrations mesurées pendant plusieurs années faisaient en sorte que ce point ne soit plus requis à cette étape du déclassement des installations de Gentilly-2.

Au cours de l'année 2019, des échantillons ont ainsi été prélevés en mai, juillet, septembre et octobre, aux points en aval du canal de rejet (B et C). Sur l'ensemble des huit échantillons analysés, deux montraient une teneur en tritium égale ou supérieure à la LD ($< 6 \text{ Bq L}^{-1}$), soit celui prélevé au point B, en juillet (6 Bq L^{-1}) et celui prélevé en octobre ($1\,093 \text{ Bq L}^{-1}$). La concentration mesurée au point B est notamment conditionnée par le temps écoulé entre le début du dernier rejet de réservoir des eaux radioactives et le moment d'échantillonnage. Quant à lui, le carbone-14 n'a été détecté dans aucun des huit échantillons analysés. Par ailleurs, les analyses de spectrométrie

gamma ont permis de quantifier du potassium-40 à deux reprises au point C soit en septembre ($4,3 \text{ Bq kg}^{-1}$) et en octobre ($5,6 \text{ Bq kg}^{-1}$).

8.3.2 Eaux d'infiltration

Les eaux d'infiltration prélevées se situent dans la zone saturée, à même la portion meuble du sol, qu'elle soit composée de remblais ou de sol naturel. Puisque la mobilité des eaux dans ces sols est souvent plus élevée, les teneurs en tritium qui y sont mesurées sont plus étroitement liées à celles des eaux de surface. Tel qu'il a été discuté précédemment, les conditions climatiques peuvent aussi influencer les concentrations de tritium dans les eaux d'infiltration, tout comme les taux de rejets atmosphériques de l'installation nucléaire de Gentilly-2. Les résultats d'analyses radiologiques en tritium et en activité bêta totale dans les eaux d'infiltration autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS sont présentés aux figures 8-33, 8-34 et 8-35.

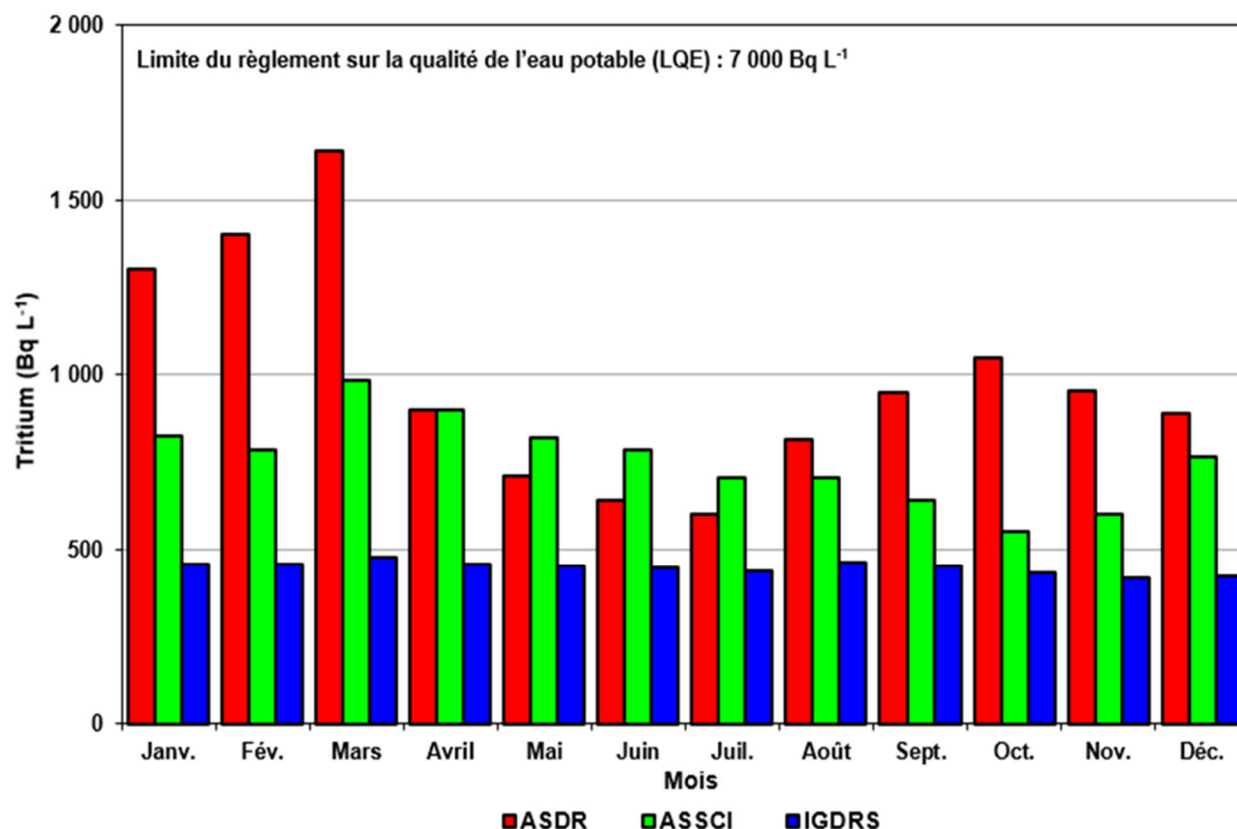
Les résultats illustrés représentent :

- une moyenne des mesures relevées aux points I-14, I-15, I-16 et I-17 pour la série identifiée ASDR ;
- une moyenne des mesures relevées aux points I-1 et I-4 ainsi qu'à l'horizon C des points P-9 et P-10 pour la série identifiée ASSCI ;
- une moyenne des mesures relevées à l'horizon C des points P-1, P-5, P-6, P-7, P-11, P-12, P-X et P-Y pour la série identifiée IGDRS.

L'emplacement de ces points d'échantillonnage est illustré à la carte A-1 de l'annexe A.

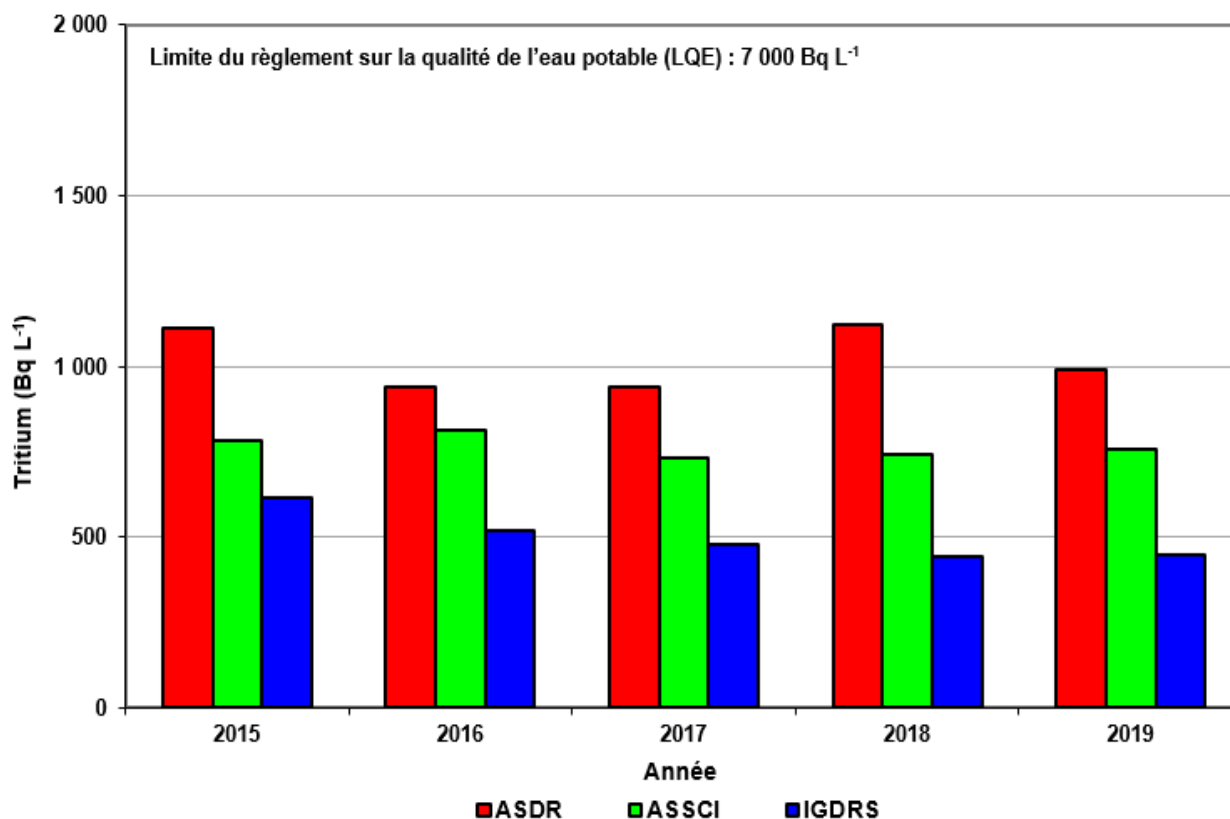
La figure 8-33 porte plus précisément sur les moyennes mensuelles de l'activité en tritium mesurée aux différents points d'échantillonnage de l'ASDR, de l'IGDRS et de l'ASSCI. En 2019, toutes les valeurs ont varié de 416 Bq L^{-1} (IGDRS en novembre) à $1\,640 \text{ Bq L}^{-1}$ (ASDR en mars). Les valeurs moyennes maximales des deux autres installations étaient de 985 Bq L^{-1} (ASSCI en mars) et 477 Bq L^{-1} (IGDRS en mars). Pour toutes les valeurs discutées dans le cadre de cette figure, la plage et les périodes de l'année où les valeurs ont respectivement été observées sont pratiquement identiques à celles rapportées aux années précédentes, confirmant ainsi les mêmes mécanismes saisonniers responsables de l'accroissement sporadique en tritium.

Figure 8-33 : Moyenne mensuelle de l'activité en tritium dans l'eau d'infiltration autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS pour l'année 2019



La figure 8-34 présente, pour la période 2015-2019, les moyennes annuelles de l'activité en tritium dans l'eau d'infiltration à proximité de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS. En comparant les valeurs moyennes de l'année 2019 à celles de 2018, on constate que les variations sont faibles. Pour l'IGDRS et l'ASSCI, elles consistent en une hausse, respectivement de 1,4 % et 1,5 % alors que pour l'ASDR, il s'agit plutôt d'une diminution de 11,9 %.

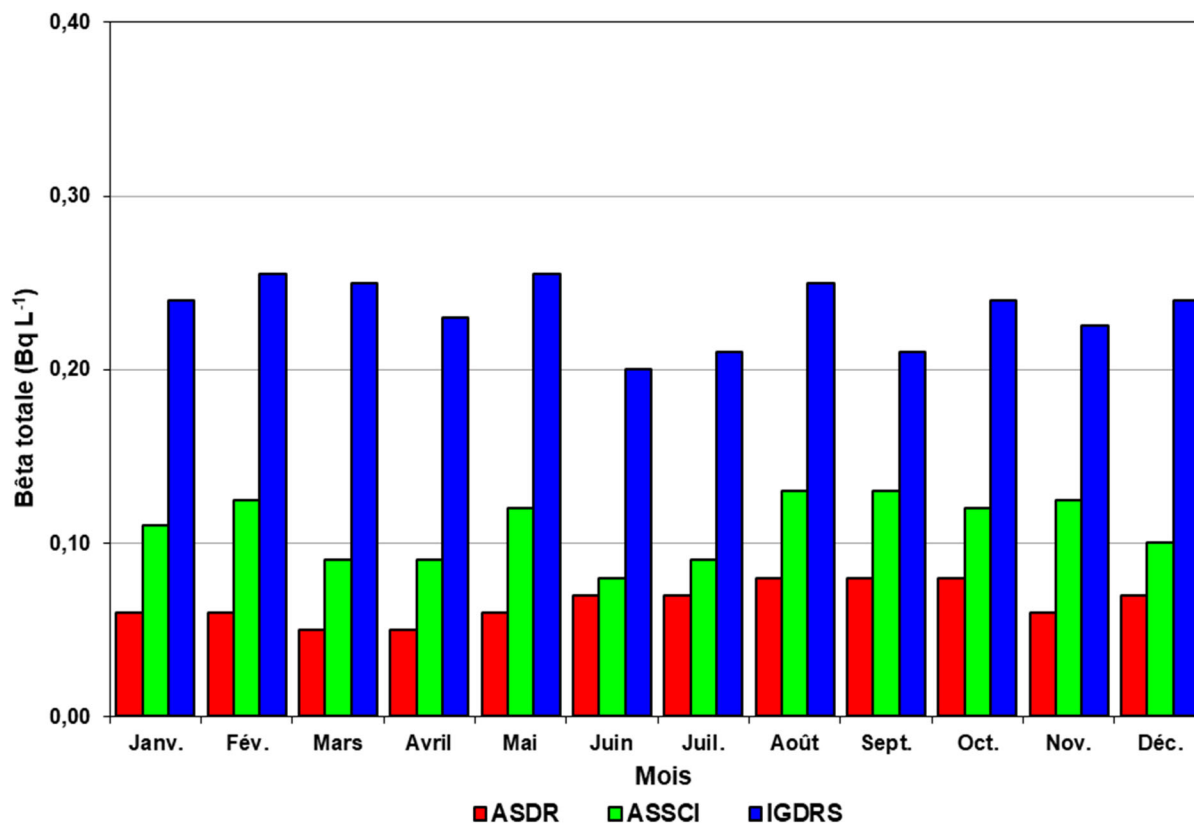
Figure 8-34 : Moyenne annuelle de l'activité en tritium dans l'eau d'infiltration autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS pour la période 2015-2019



La surveillance de l'activité bêta totale de l'eau d'infiltration prélevée à proximité des installations de Gentilly-2 est réalisée sur la base d'échantillons composites. L'évolution des concentrations mensuelles, tirées de ces échantillons, est illustrée à la figure 8-35 pour l'ASDR, l'ASSCI et l'IGDRS.

Toutes les valeurs de l'activité bêta totale quantifiée en 2019 dans l'eau d'infiltration étaient inférieures ou égales à 0,26 Bq L⁻¹. Toutes ont donc aussi été inférieures à la concentration (1,0 Bq L⁻¹) déclenchant des analyses supplémentaires, dont celles de spectrométrie gamma nécessaires à l'identification des radionucléides en présence.

Figure 8-35 : Moyenne mensuelle de l'activité bêta totale dans l'eau d'infiltration autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS pour l'année 2019



8.3.3 Eaux souterraines

Le volet des eaux souterraines de la prochaine section aborde plus spécifiquement les eaux prélevées dans le roc profond ainsi que celles situées à l'interface du roc et des dépôts-meubles. Au site des installations de Gentilly-2, ces eaux sont généralement atteintes à des profondeurs variant entre cinq et huit mètres. Ces eaux ont une mobilité plus faible que les eaux d'infiltration, expliquant notamment que les valeurs d'activité en tritium y sont moins élevées. Les résultats d'analyses radiologiques en tritium et en activité bêta totale dans les eaux souterraines hors du site et autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS sont présentés aux figures 8-36, 8-37 et 8-38.

Les résultats illustrés représentent :

- une moyenne des mesures relevées aux points A'-5, E-5 et EP-2 à l'extérieur de la zone d'exclusion pour la série identifiée « hors site » ;
- une moyenne des mesures relevées aux points A-1, D-1 et D'-1 pour la série identifiée ASDR ;

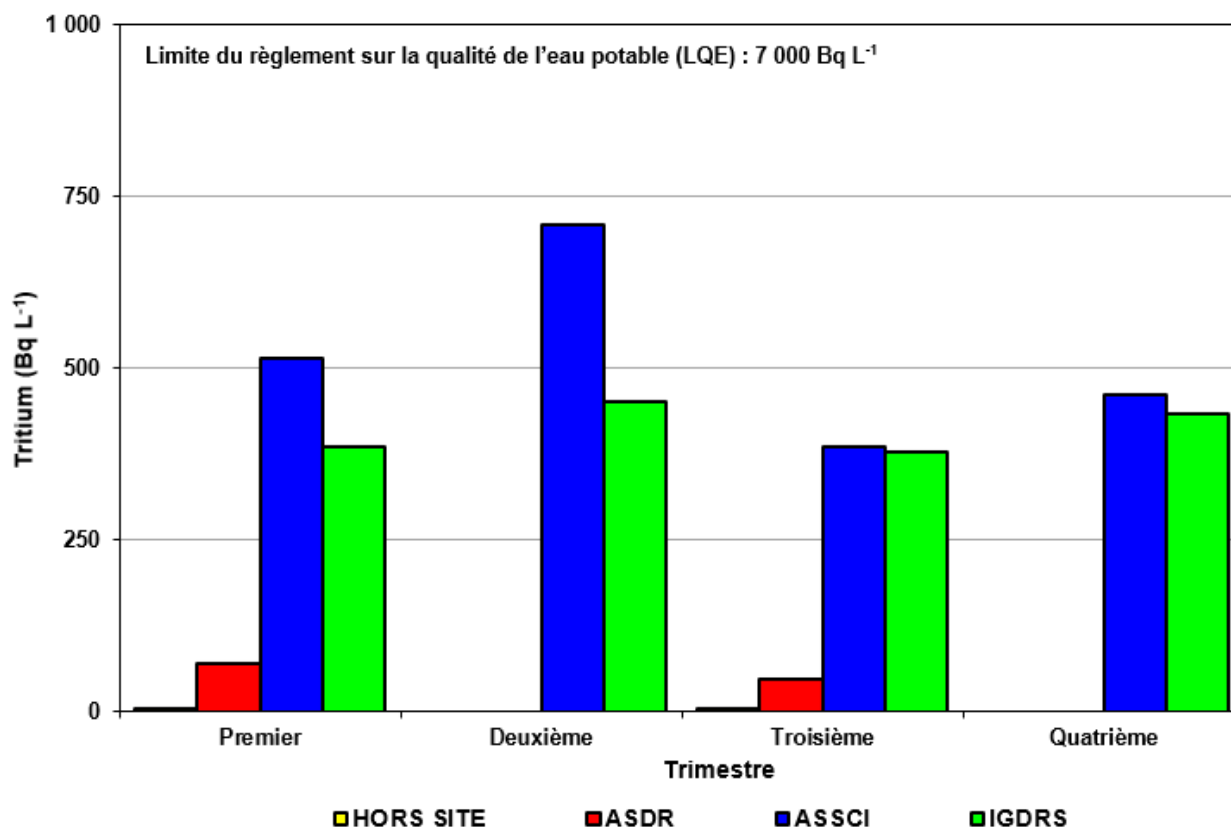
- une moyenne des mesures relevées au point A-2 ainsi qu'aux horizons A et B des points P-8, P-9 et P-10 pour la série identifiée ASSCI ;
- une moyenne des mesures relevées aux horizons A et B des points P-1, P-5, P-6, P-7, P-11, P-12, P-X et P-Y pour la série identifiée IGDRS.

Les cartes A-1 et A-4 de l'annexe A présentent l'emplacement précis de ces points.

Les résultats des analyses semestrielles faites en 2019, déterminant la concentration en tritium dans les eaux souterraines prélevées hors du site (figure 8-36), sont tous inférieurs à la LD (5 Bq L⁻¹). Ils confirment l'absence d'une quelconque influence des rejets de l'installation nucléaire de Gentilly-2 sur les eaux des nappes phréatiques au-delà de la zone d'exclusion.

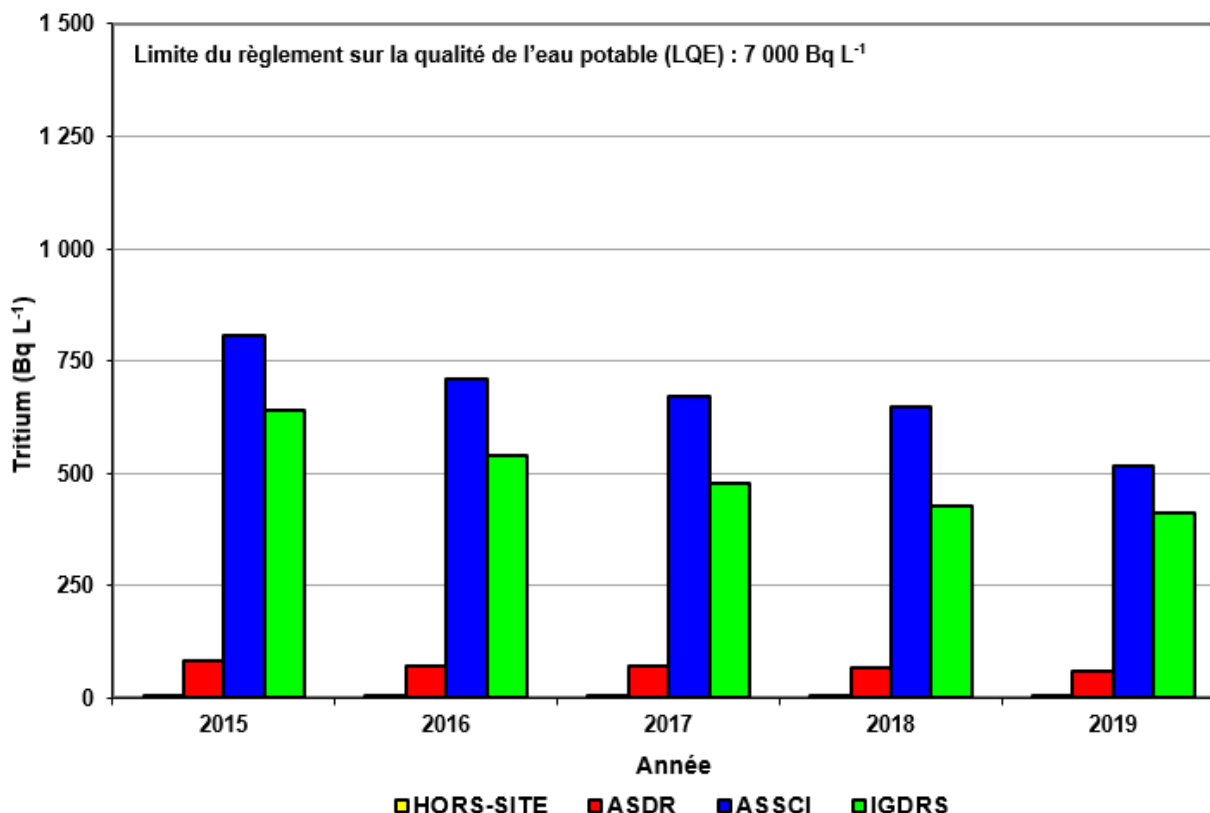
En ce qui concerne les concentrations de tritium dans l'eau souterraine de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS, les valeurs moyennes les plus élevées de l'année 2019 ont à nouveau été mesurées à l'ASSCI, où la valeur maximale de 708 Bq L⁻¹ fut quantifiée au second trimestre.

Figure 8-36 : Moyenne trimestrielle de l'activité en tritium dans l'eau souterraine de l'ASDR, de l'ASSCI, de l'IGDRS et hors site pour l'année 2019



La figure 8-37 présente, pour la période 2015-2019, les moyennes annuelles de l'activité en tritium dans l'eau souterraine à proximité de l'ASDR, de l'ASSCI, de l'IGDRS et hors du site. En comparant les valeurs moyennes annuelles de l'année 2019 à celles de l'année précédente, on observe des diminutions de l'ordre de 12,1 %, 20,4 % et 3,0 % respectivement autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS.

Figure 8-37 : Moyenne annuelle de l'activité en tritium dans l'eau souterraine autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS et hors site pour la période 2015-2019

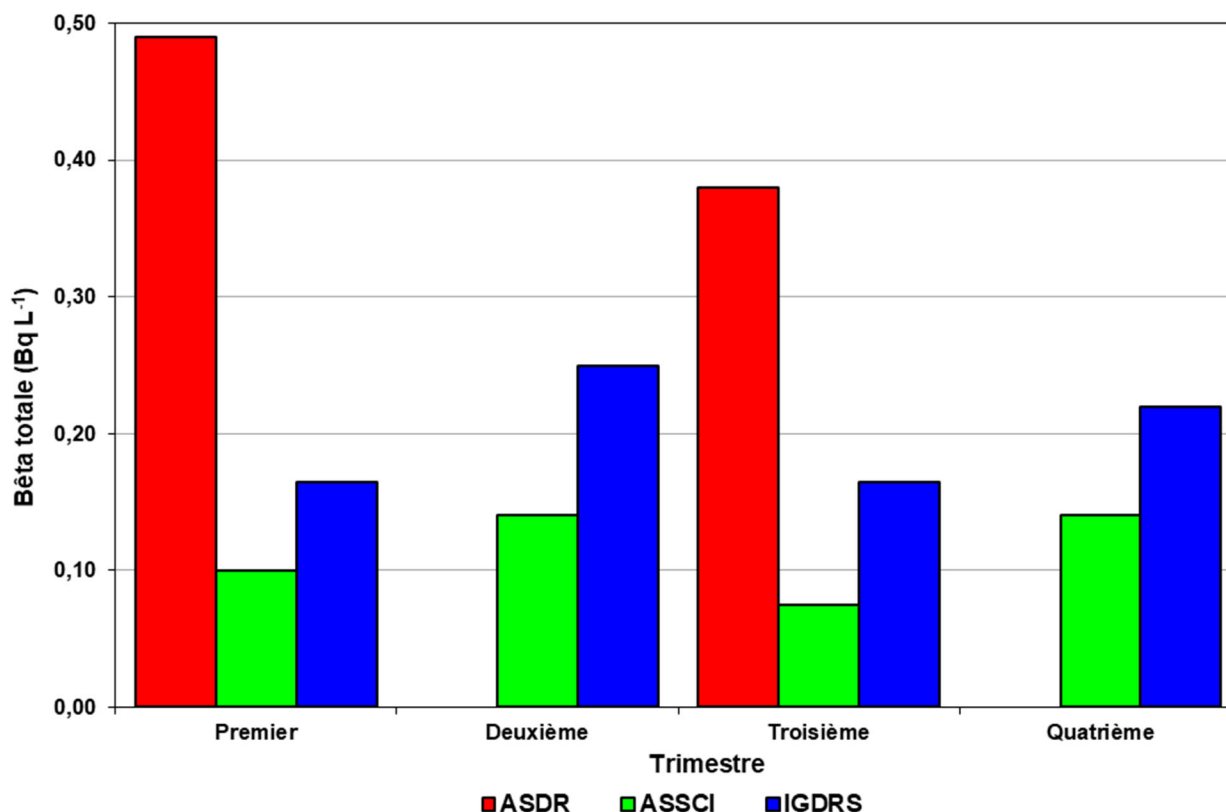


Le suivi radiologique de l'activité bêta totale de l'eau souterraine prélevée autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS est également réalisé à partir d'échantillons composites. Les moyennes trimestrielles sont présentées à la figure 8-38. Toutes les valeurs recueillies au cours de l'année 2019 sont égales ou inférieures à une activité de 0,25 Bq L⁻¹, à l'exception des échantillons provenant de l'ASDR dont la moyenne au 1^{er} trimestre est de 0,49 Bq L⁻¹ et au 3^e trimestre de 0,38 Bq L⁻¹. Ces résultats ont atteint le critère déclencheur (0,35 Bq L⁻¹) pour les eaux souterraines, engendrant des analyses supplémentaires de spectrométrie gamma nécessaires à l'identification des radionucléides en présence sur des échantillons unitaires pendant au moins trois mois.

Les analyses supplémentaires ont permis d'identifier les radionucléides en cause, soit le potassium-40, le bismuth-214 et le plomb-214. Le potassium-40 est un radionucléide

d'origine naturelle alors que pour les deux autres, il s'agit de produits de filiation de la chaîne de désintégration de l'uranium-238.

Figure 8-38 : Moyenne trimestrielle de l'activité bêta totale dans l'eau souterraine autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS pour l'année 2019



8.3.4 Eau potable

En respect des modalités de l'actuel PSRE de Gentilly-2, l'eau potable a été prélevée trimestriellement à quatre points d'échantillonnage fixes. Ces points sont tous situés dans la région avoisinant les installations de Gentilly-2. Des échantillons sont ainsi prélevés dans le système de distribution d'eau potable de la ville de Trois-Rivières, de celui du secteur Gentilly de la ville de Bécancour et de celui de la municipalité de Champlain, ainsi que dans un puits artésien d'une ferme de la rive sud du fleuve (secteur de Gentilly). En 2019, les résultats d'analyse de tritium des quatre points d'échantillonnage ont tous été inférieurs au seuil de détection de la méthode analytique, variant de 3 à 6 Bq L⁻¹. Ces résultats sont très largement inférieurs à la concentration limite de tritium édictée au règlement provincial sur la qualité de l'eau potable (7 000 Bq L⁻¹).

8.4 Surveillance des sols et des sédiments

Cette section présente les résultats de la surveillance des sols arables de trois fermes de la région et des sédiments dynamiques prélevés dans le fleuve Saint-Laurent.

8.4.1 Sols arables

Le PSRE prévoit que la dispersion radiologique dans les sols arables sera évaluée en effectuant des prélèvements dans les champs de trois fermes (Fermes n^{os} 1, 2 et 3) situées dans la région (carte A-4 de l'annexe A). Deux fermes sont situées sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent (Fermes n^{os} 1 et 2) et l'autre, sur la rive nord (Ferme n^o 3).

Les échantillons de sol ont été prélevés le 6 mai 2019 aux trois fermes. La présence de béryllium-7, de potassium-40 et de césium-137 y a été détectée. Leur activité maximale est présentée au tableau 8-1.

Tableau 8-1 : Radioactivité maximale mesurée dans les échantillons de sols arables prélevés aux trois fermes collaborant au PSRE pour l'année 2019

Radionucléide	Activité maximale mesurée (LD) (Bq kg ⁻¹)	Ferme
⁷ Be	4,2 (0,7)	n ^o 3
⁴⁰ K	756 (22)	n ^o 2
¹³⁷ Cs	4,4 (0,2)	n ^o 3 et n ^o 1

Le béryllium-7 dans les sols est d'origine cosmique alors que le potassium-40 est un des radionucléides qui sont les plus fréquemment rencontrés dans les roches, à des teneurs naturelles variant entre 70 et 1 500 Bq kg⁻¹ (Eisenbud et Gesell, 1997). À cette concentration, la présence du césium-137 peut, quant à elle, être attribuable à des essais nucléaires passés et à d'autres événements tels que celui de Tchernobyl. Ces radionucléides sont détectés année après année et les résultats obtenus en 2019 sont comparables à ceux obtenus au cours des années antérieures.

8.4.2 Sédiments dynamiques

Les modifications apportées en 2017 au PSRE sont entrées en vigueur au début du second semestre de 2017. Avant leur mise en application, les sédiments dynamiques étaient récoltés à une station située à l'embouchure du canal de rejet (station B), à une autre située à environ deux kilomètres en aval, dans l'anse à Lemarier (station C), ainsi qu'à une station témoin (station A) située en amont du canal de rejet. Compte tenu de l'important historique de données et du fait que les concentrations mesurées à la station A variaient peu d'une année à l'autre, le PSRE révisé en 2017 prévoit que, dorénavant, les échantillons de sédiments dynamiques seront prélevés seulement aux stations B et C, celles-ci étant susceptibles d'être affectées par les effluents liquides radioactifs de l'installation nucléaire de Gentilly-2.

En 2019, des échantillons de sédiments ont été prélevés les 15 juillet et 9 septembre aux stations B et C. Un échantillonnage était également prévu aux stations B et C le 26 novembre, mais les trappes à sédiments ont été emportées par des glaces et aucun échantillon n'a pu y être récupéré. L'emplacement des stations est illustré à la carte A-7 de l'annexe A. L'activité maximale de chacun des radionucléides mesurés est présentée au tableau 8-2.

Tableau 8-2 : Radioactivité maximale mesurée dans les échantillons de sédiments dynamiques du fleuve Saint-Laurent près de l'installation nucléaire de Gentilly-2 pour l'année 2019

Radionucléide	Activité maximale mesurée (LD) (Bq kg ⁻¹)	
	B	C
⁷ Be	164 (5)	130 (4)
⁴⁰ K	995 (29)	844 (24)
⁶⁰ Co	3,3 (0,2)	2,7 (0,1)
⁵⁴ Mn	< 1,1	< 0,48
⁹⁴ Nb	< 1,0	< 0,43
⁹⁵ Nb	< 1,3	< 0,63
⁹⁵ Zr	< 2,1	< 0,92
¹²⁴ Sb	< 1,3	< 0,55
¹²⁵ Sb	< 2,9	< 1,2
¹³⁷ Cs	10,3 (0,4)	5,9 (0,2)
¹⁵³ Gd	< 2,6	< 1,2
²³⁵ U	5,3 (0,3)	1,8 (0,8)
²³⁸ U	86 (5)	61 (3)

De façon semblable aux années passées, du béryllium-7, du potassium-40, du cobalt-60, du césium-137, de l'uranium-235 et de l'uranium-238 ont été détectés dans les sédiments des deux stations.

Tous ces radionucléides ont été détectés à des concentrations plus élevées à la station B qu'à la station C. L'activité des autres radionucléides analysés dans les sédiments des deux stations était, quant à elle, inférieure au seuil de détection des appareils de laboratoire utilisés. À de telles concentrations, ces résultats suggèrent une faible influence de l'installation nucléaire de Gentilly-2 sur la concentration de ces radionucléides dans les sédiments dynamiques du fleuve.

Des valeurs d'activité de césium-137, d'uranium-235 et d'uranium-238 mesurées dans les sols de certaines régions du Canada (Sheppard et coll., 2011) sont présentées ici à des fins de comparaison. Dans le cas du césium-137, les valeurs rapportées pour le Bouclier canadien varient de 3,8 à 60 Bq kg⁻¹ et, pour le sud de l'Ontario, de 0,5 à 25 Bq kg⁻¹. En ce qui concerne l'uranium-235, une valeur de 0,42 Bq kg⁻¹ a été mesurée dans le Bouclier canadien et des valeurs variant de 0,98 à 1,1 Bq kg⁻¹ ont été mesurées dans le sud de l'Ontario. Pour ce qui est de l'uranium-238, une activité de

9,1 Bq kg⁻¹ a été rapportée pour le Bouclier canadien et des activités variant de 21 à 25 Bq kg⁻¹ ont été rapportées pour le sud de l'Ontario.

8.5 Surveillance de la faune et de la flore

Le PSRE de Gentilly-2 prévoit aussi mesurer l'impact de la dispersion des effluents liquides et gazeux sur la faune aquatique et la flore aquatique et terrestre. Les résultats de cette surveillance sont présentés dans les sous-sections suivantes. Depuis 2017, les concentrations de carbone-14 sont présentées en proportion du poids frais (PF) alors qu'auparavant, elles étaient présentées en proportion de la fraction de carbone. Les coefficients de conversion retenus sont ceux du Groupe CSA ou de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), soit : 0,08796 kg-C kg⁻¹ PF pour la chair et les coquilles des mollusques; 0,12175 kg-C kg⁻¹ PF pour la chair des poissons (Groupe CSA, 2014); 0,048 kg-C kg⁻¹ PF pour les plantes aquatiques; 0,100 kg-C kg⁻¹ PF pour les plantes fourragères; 0,030 kg-C kg⁻¹ PF pour les légumes-feuilles (choux); 0,046 kg-C kg⁻¹ PF pour les légumes racines (carotte); et 0,062 kg-C kg⁻¹ PF pour les fruits (pomme et tomate) (IRSN, 2018).

8.5.1 Plantes fourragères

Des échantillons de plantes fourragères ont été prélevés au cours du mois de juin aux mêmes trois fermes que celles retenues pour le programme de la surveillance du sol arable (Fermes n^{os} 1, 2 et 3 ; carte A-4 de l'annexe A).

Des concentrations de tritium de 7, 3 et 13 Bq kg⁻¹ (poids sec) ont été mesurées dans les échantillons prélevés aux Fermes n^{os} 1, 2 et 3, respectivement.

Du potassium-40, du béryllium-7 et du carbone-14 ont aussi été mesurés dans le fourrage des trois fermes. Les valeurs maximales ont été de 714 Bq kg⁻¹ pour le potassium-40 (Ferme n^o 2), de 210 Bq kg⁻¹ pour le béryllium-7 (Ferme n^o 3) et de 21,7 Bq kg⁻¹ PF pour le carbone-14 (Ferme n^o 2). Quant au césium-137, les concentrations étaient inférieures aux LD (de 0,39 à 0,58 Bq kg⁻¹) dans tous les échantillons.

Ces résultats sont comparables à ceux obtenus les années précédentes. Soulignons par ailleurs que les concentrations de carbone-14 mesurées dans les plantes fourragères des trois fermes sont semblables à la valeur du bruit de fond naturel qui est de 220 Bq kg-C⁻¹, soit 22,0 Bq kg⁻¹ PF (Eisenbud et Gesell, 1997).

8.5.2 Plantes aquatiques

Afin de surveiller la présence de radionucléides, le PSRE prévoit l'échantillonnage de plantes aquatiques prélevées dans le fleuve Saint-Laurent. À l'actuelle version du PSRE, les plantes aquatiques sont prélevées dans la zone PA2, celle-ci étant susceptible d'être affectée par les effluents liquides radioactifs de l'installation de Gentilly-2.

L'emplacement de cette zone est illustré à la carte A-7 de l'annexe A. Les résultats de l'échantillonnage réalisé le 8 octobre 2019 sont présentés au tableau 8-3.

Tableau 8-3 : Radioactivité mesurée dans les plantes aquatiques récoltées dans le fleuve Saint-Laurent à la station PA2 en 2019

Radionucléide	Activité (LD) (Bq kg ⁻¹)
⁴⁰ K	544 (16)
⁶⁰ Co	3,6 (0,2)
⁹⁵ Nb	< 0,53
¹³⁷ Cs	1,4 (0,2)
¹³¹ I	< 0,75
¹⁴ C	18 (3) Bq kg ⁻¹ PF

En 2019, le niobium-95 et l'iode 131 dans les plantes aquatiques étaient en concentrations inférieures aux LD, alors que le césium-137, le cobalt-60, le potassium-40 et le carbone-14 étaient tous mesurés à une concentration plus élevée que la LD.

Le césium-137 et le cobalt-60 sont deux radionucléides liés à la production électronucléaire et les concentrations mesurées dans les plantes aquatiques en 2019 témoignent d'un cône de dispersion des effluents liquides radioactifs qui englobe ce site de prélèvement.

En 2019, la concentration de potassium-40 était de 544 Bq kg⁻¹, donc moindre qu'en 2018 où la concentration mesurée y avait été de 561 Bq kg⁻¹. Le potassium-40 retrouvé dans les plantes aquatiques s'explique par sa présence naturelle dans le sol (Barbeau, 2009).

En ce qui concerne le carbone-14, sa concentration dans les plantes aquatiques récoltées en 2019 à la station PA2 était de 18 Bq kg⁻¹ PF, donc moindre qu'en 2018 alors que la concentration mesurée avait été de 21 Bq kg⁻¹ PF. Une interprétation plus détaillée des concentrations de carbone-14 mesurées en 2019 dans la faune et la flore aquatiques à proximité des installations de Gentilly-2 est présentée au soutien de l'analyse des résultats de la section 8.5.4.

8.5.3 Mollusques

Le PSRE prévoit la récolte annuelle de mollusques afin d'analyser distinctement l'activité radiologique dans leur chair et dans leur coquille. La zone de récolte est située en aval du canal de rejet, à environ deux kilomètres de l'installation nucléaire de Gentilly-2, dans l'anse à Lemarier (carte A-7 de l'annexe A). Les résultats d'analyse de l'échantillonnage réalisé le 28 mai 2019 sont présentés au tableau 8-4.

Tableau 8-4 : Radioactivité mesurée dans la coquille et la chair de mollusques récoltés dans le fleuve Saint-Laurent près de l'installation nucléaire de Gentilly-2 pour l'année 2019

Radionucléide	Activité (LD) (Bq kg ⁻¹)	
	Coquille	Chair
⁴⁰ K	2,4 (0,4)	10,2 (0,7)
⁶⁰ Co	< 0,08	0,28 (0,03)
⁹⁵ Nb	< 0,08	< 0,13
¹³⁷ Cs	< 0,08	< 0,14
¹³¹ I	< 0,11	< 0,14
¹⁴ C	181 (27) Bq kg ⁻¹ PF	168 (25) Bq kg ⁻¹ PF

De façon semblable aux années précédentes, aucune concentration de niobium-95, de césium-137 ou d'iode-131 n'a été détectée dans les coquilles et dans la chair des mollusques alors que le cobalt-60 n'a été détecté que dans la chair. Une concentration de potassium-40 a été mesurée dans la chair et les coquilles. Alors que ce radionucléide n'avait pas été détecté dans les coquilles l'année précédente, sa concentration dans la chair a été mesurée à une valeur semblable à celle mesurée en 2018. Le cobalt-60 est lié aux rejets radioactifs liquides de l'installation nucléaire de Gentilly-2 alors que le potassium-40 est d'origine naturelle.

Les concentrations de carbone-14 mesurées en 2019 dans les coquilles et la chair des mollusques étaient respectivement de 181 et 168 Bq kg⁻¹ PF, donc plus élevée pour les coquilles et plus faible pour la chair qu'en 2018 alors que les teneurs mesurées avaient été de 113 Bq kg⁻¹ PF et de 268 Bq kg⁻¹ PF.

8.5.4 Poissons

À la suite de l'examen des concentrations de carbone-14 mesurées en 2016 dans la chair des poissons, Hydro-Québec avait réévalué la pertinence de l'emplacement de leur zone de prélèvement qui était située dans le canal de rejet. Il a donc été proposé dans le PSRE adapté de 2017 que dorénavant, la radioactivité dans la chair des poissons soit mesurée dans des poissons capturés à différentes périodes dans une zone située à l'anse à Lemarier, un secteur fréquenté par la population pour la pêche (carte A-7 de l'annexe A). L'anse à Lemarier est l'endroit le plus proche du point de rejet où on peut pratiquer la pêche, notamment sur la glace, depuis la mise à l'arrêt du réacteur. On suppose que les plus grands consommateurs de poisson d'eau douce y prennent toutes leurs prises.

En 2019, des pêches au filet maillant ont été réalisées les 8 mai, 5 juin, 16 juillet, 6 août, 10 septembre et 9 octobre à l'anse à Lemarier. Au total, sept espèces différentes de poissons ont été capturées. Lorsqu'au cours d'une même campagne d'échantillonnage plus d'un individu d'une même espèce était capturé, les analyses ont été réalisées sur un échantillon composite formé des tissus de tous les individus de l'espèce. Le

tableau 8-5 présente les espèces pêchées de même que les concentrations des radionucléides mesurées dans ces poissons.

Tableau 8-5 : Espèces de poissons pêchés à l'anse à Lemarier et concentrations des radionucléides mesurées en 2019

Mois	Nom commun	Nom scientifique	Nombre capturé	Activité (LD)			
				Bq kg ⁻¹			Bq kg ⁻¹ PF
				⁴⁰ K	³ H	¹³⁷ Cs	¹⁴ C
Mai	Chevalier rouge	<i>Moxostoma macrolepidotum</i>	2	152 (5)	< 2,8	< 0,57	60 (9)
Juin	Grand brochet	<i>Esox lucius</i>	3	120 (3)	< 2,8	0,21 (0,04)	497 (75)
	Esturgeon jaune	<i>Acipenser fulvescens</i>	2	118 (3)	< 2,7	0,21 (0,06)	348 (52)
Juillet	Esturgeon jaune	<i>Acipenser fulvescens</i>	4	140 (5)	< 4,4	< 0,31	110 (17)
	Chevalier rouge	<i>Moxostoma macrolepidotum</i>	2	114 (3)	3,5 (2)	< 0,19	86 (13)
	Barbue de rivière	<i>Ictalurus punctatus</i>	1	153 (6)	< 4,4	1,06 (0,23)	42 (6)
Août	Esturgeon jaune	<i>Acipenser fulvescens</i>	1	116 (4)	< 4,4	0,26 (0,06)	41 (6)
	Chevalier rouge	<i>Moxostoma macrolepidotum</i>	1	131 (5)	< 4,3	< 0,80	216 (33)
	Chevalier jaune	<i>Moxostoma valenciennesi</i>	1	172 (5)	2,9 (1,8)	< 0,49	583 (87)
	Barbue de rivière	<i>Ictalurus punctatus</i>	4	155 (5)	4,2 (2,0)	0,42 (0,07)	148 (22)
	Inconnu	<i>Inconnu</i>	1	173 (6)	4,9 (2,0)	0,31 (0,06)	289 (43)
Septembre	Grand brochet	<i>Esox lucius</i>	1	122 (3)	5,7 (2,0)	0,48 (0,07)	224 (34)
	Chevalier rouge	<i>Moxostoma macrolepidotum</i>	1	147 (5)	4,1 (1,9)	< 0,19	229 (34)
	Doré jaune	<i>Sander vitreus</i>	1	158 (8)	< 2,8	< 1,6	293 (44)
	Barbue de rivière	<i>Ictalurus punctatus</i>	1	136 (5)	3,1 (1,9)	< 0,54	185 (28)
Octobre	Chevalier jaune	<i>Moxostoma valenciennesi</i>	1	128 (4)	13 (2)	< 0,5	127 (19)
	Doré jaune	<i>Sander vitreus</i>	1	119 (4)	< 3,2	0,7 (0,2)	25 (4)
Moyenne				138	4,3	0,52	206
Écart-type				20	2,4	0,37	159
Note : Lorsque la concentration était inférieure à la LD, la moyenne a été calculée en utilisant une valeur équivalente à la LD.							

Le césium-137 a été détecté dans huit des 17 échantillons analysés, à des concentrations égales ou inférieures à 1,06 Bq kg⁻¹, pour une moyenne de 0,52 Bq kg⁻¹. Le tritium a lui aussi été détecté dans huit des 17 échantillons, à des concentrations variant de 2,9 Bq kg⁻¹ à 13 Bq kg⁻¹, pour une moyenne de 4,3 Bq kg⁻¹. En 2018, le césium-137 avait été détecté dans quatre des 21 échantillons analysés, à des concentrations égales ou inférieures à 1,92 Bq kg⁻¹ (moyenne de 1,4 Bq kg⁻¹) alors que le tritium avait été

détecté dans 16 des 21 échantillons, à une concentration égale ou inférieure à 123 Bq kg⁻¹ (moyenne de 18,8 Bq kg⁻¹).

Du potassium-40 et du carbone-14 ont été mesurés dans tous les échantillons. La concentration moyenne du potassium-40 en 2019 était de 138 Bq kg⁻¹, soit légèrement supérieure à celle de l'année précédente, qui était de 114 Bq kg⁻¹. À cette concentration, sa présence est uniquement liée à une origine naturelle.

En 2019, les concentrations de carbone-14 variaient de 25 Bq kg⁻¹_{PF} à 583 Bq kg⁻¹_{PF}, pour une concentration moyenne de 206 Bq kg⁻¹_{PF}. En 2018, les concentrations de carbone-14 avaient varié de 26 Bq kg⁻¹_{PF} à 2 692 Bq kg⁻¹_{PF} et la concentration moyenne était de 772 Bq kg⁻¹_{PF}.

Les concentrations élevées de carbone-14 mesurées dans la chair de certains poissons pêchés en 2018 pouvaient s'expliquer par l'activité importante qui avait été quantifiée aux effluents liquides radioactifs pendant l'année 2017. En 2018 et 2019, les sommations annuelles de carbone-14 rejeté aux effluents liquides étaient respectivement de 1,71E+08 Bq et 1,90E+08 Bq, donc nettement plus faibles que celles de l'année 2017. Les concentrations en carbone-14 mesurées dans les poissons en 2019 étaient moindres qu'en 2018.

Ces résultats pourraient s'expliquer par l'utilisation et le recyclage du carbone-14 qui a été émis aux effluents liquides depuis 2014. Ce carbone radioactif, rejeté sous forme inorganique, peut suivre différentes voies (figure 8-39) :

- une large partie pourra être dispersée par le courant du fleuve Saint-Laurent et se retrouver rapidement en aval des installations de Gentilly-2;
- une autre partie pourra s'échapper vers l'atmosphère via les échanges gazeux;
- une autre partie pourra être intégrée dans le réseau alimentaire :
 - en étant utilisée par les producteurs primaires (ex. : phytoplancton, végétation aquatique), lors de la photosynthèse, puis transférée aux autres niveaux trophiques, soit les consommateurs primaires (ex. : insectes et mollusques), puis aux consommateurs secondaires et tertiaires (ex. : poissons);
 - via le réseau microbien (ex. : bactéries, protozoaires, algues unicellulaires); le carbone-14 contenu dans la matière organique, composée notamment des organismes aquatiques morts, est utilisé par le réseau microbien puis est :
 - directement transféré aux consommateurs de niveaux trophiques supérieurs; ou
 - rejeté dans le milieu sous forme inorganique (¹⁴CO₂) via la respiration microbienne; une partie de ce carbone pourrait réintégrer la chaîne alimentaire en passant par les producteurs primaires, via la photosynthèse.

Le flux du carbone-14 dans le réseau alimentaire implique un transfert entre les niveaux trophiques. Le temps de son intégration dans les producteurs primaires, soit le premier niveau trophique, est rapide, tel que le révèle la forte relation observée entre les

concentrations annuelles de carbone-14 quantifiées de 2014 à 2019 aux effluents liquides et celles mesurées dans la végétation aquatique de l'anse à Lemarier (figure 8-40). Son transfert subséquent d'un niveau trophique à l'autre nécessite le temps que les activités de prédation aient lieu. Il y a, pour cette raison, un décalage dans le temps entre le moment de l'apport de carbone-14 dans le milieu et sa concentration dans les tissus des organismes des niveaux trophiques supérieurs tels les mollusques et les poissons.

Une étude expérimentale réalisée dans un lac du nord de l'Ontario (nommé « lac 226 ») a permis de suivre l'évolution du carbone-14 après son injection dans le milieu aquatique (BIOMOVS II, 1996). En 1978, du carbone-14 inorganique a été injecté à quatre reprises, de juin à août, dans le secteur nord du lac (lac 226N) et à une occasion, en juillet, dans le secteur sud (lac 226S). Au total, environ quatre fois plus de carbone-14 a été injecté dans le secteur nord que dans le secteur sud. Les sections nord et sud étaient volontairement isolées par un rideau limitant les échanges entre les deux. Des poissons (grand corégone) ont été pêchés régulièrement, jusqu'en 1983 dans la partie sud et jusqu'en 1993 dans la partie nord, et les concentrations de carbone-14 ont été mesurées dans leurs tissus.

Dans les deux secteurs du lac, c'est en 1979 que les concentrations de carbone-14 les plus élevées dans les poissons ont été mesurées, soit l'année suivant l'injection de carbone-14 dans le lac (figure 8-41). Une grande variabilité entre les individus était observée, certains poissons ayant des concentrations nettement plus élevées.

Malgré une diminution de concentrations de carbone-14 dans les poissons les années suivantes, des concentrations élevées étaient encore mesurées en 1982 chez les poissons du secteur nord. Quatre ans après l'injection de carbone-14 dans le lac, la concentration moyenne (moyenne géométrique) de carbone-14 dans les poissons était encore environ de 50 % de ce qu'elle était en 1979. Ce n'est qu'en 1985 que la concentration moyenne est revenue à une valeur proche de celle de l'année de l'injection (1978).

Dans le secteur sud, qui avait reçu une moins grande quantité de carbone-14, la diminution des concentrations de carbone-14 dans les poissons fut plus rapide, avec une concentration moyenne en 1983 réduite d'environ 70 % par rapport à ce qu'elle était en 1979.

À la lumière des résultats obtenus au lac 226, il est plausible de mesurer encore des concentrations relativement élevées de carbone-14 dans la chair de certains poissons de l'anse à Lemarier pendant quelques années, et ce, même s'il n'y aura dorénavant plus d'apport important de carbone-14 aux effluents liquides radioactifs des installations de Gentilly-2. Il est toutefois difficile de faire des prédictions compte tenu de la grande différence entre les deux systèmes. En effet, l'étude présentée dans BIOMOVS II s'est déroulée dans un lac alors que le site de Gentilly-2 est situé en bordure d'un fleuve.

Figure 8-39 : Représentation simplifiée du flux de carbone-14 dans le milieu aquatique à proximité des installations de Gentilly-2

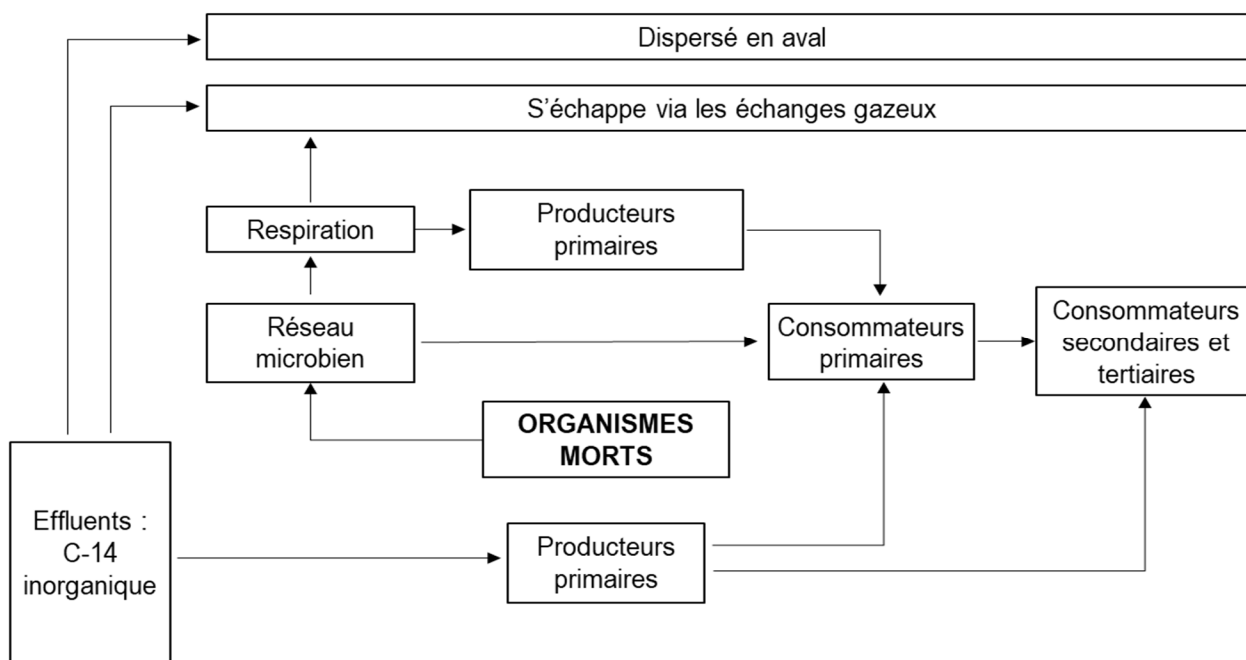


Figure 8-40 : Relation entre les concentrations de carbone-14 aux effluents liquides et dans les plantes aquatiques récoltées dans l'anse à Lemarier pour la période 2014-2019

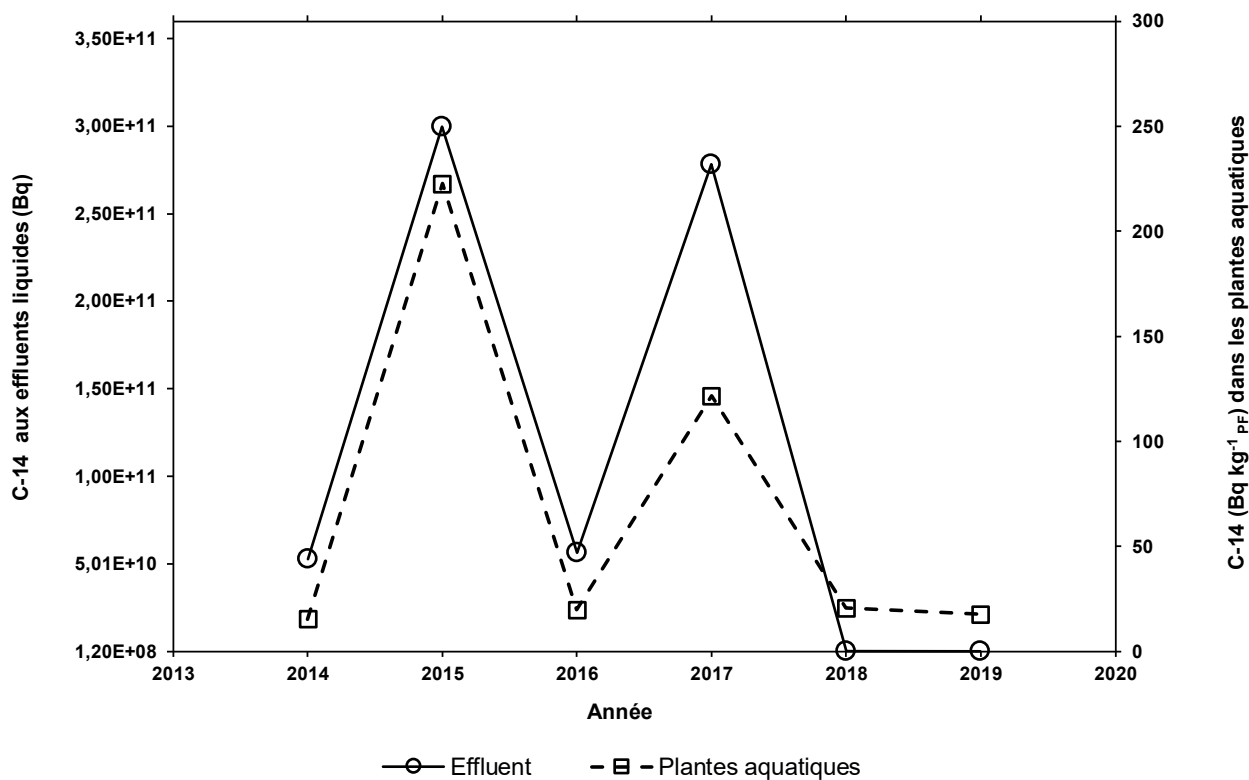
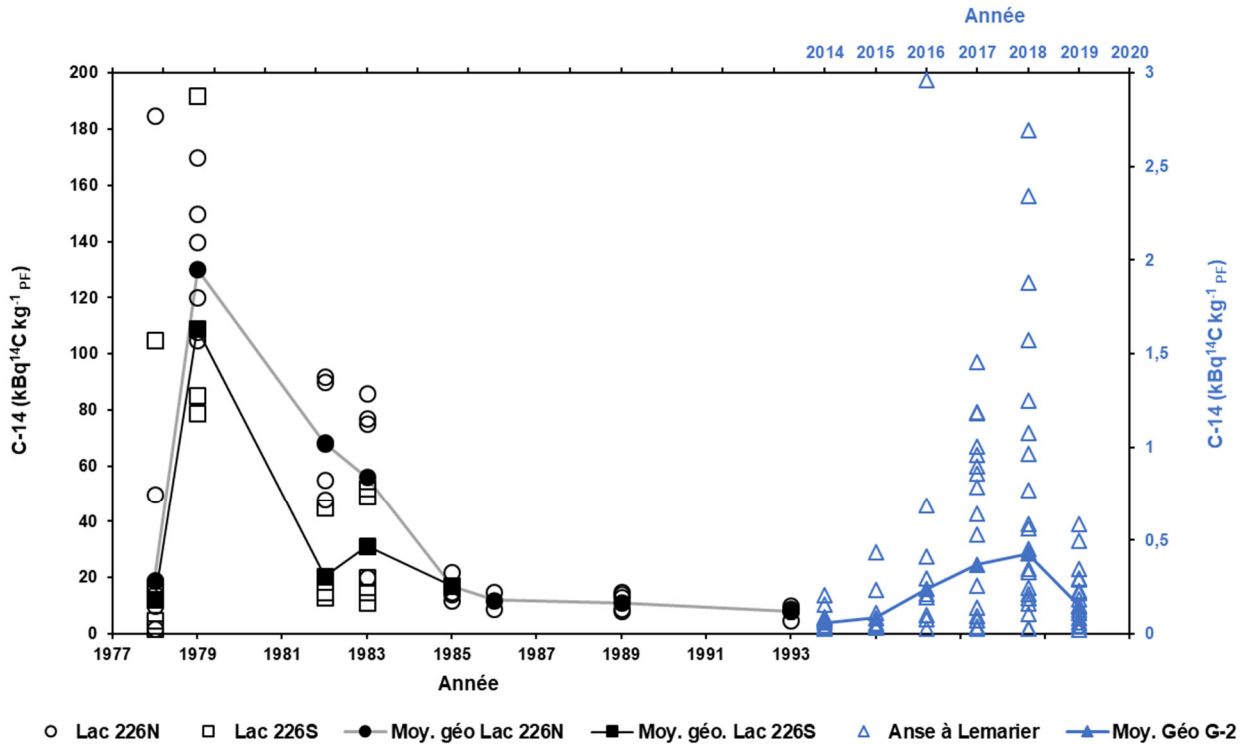


Figure 8-41 : Évolution temporelle du carbone-14 dans les poissons du lac 226 (1978 à 1993) et de l'anse à Lemarier (2014 à 2019)



Note : La figure illustrant les résultats obtenus au lac 226 a été reproduite de BIOMOVs II, 1996.

8.6 Surveillance des produits comestibles

Le PSRE prévoit l'analyse de différents produits de consommation humaine. Ces produits comestibles locaux sont sélectionnés selon leur disponibilité auprès des habitants des municipalités limitrophes aux installations de Gentilly-2. À l'instar de l'année précédente, ils comprennent des légumes (Bécancour, secteur de Bécancour), des fruits (Bécancour, secteur de Sainte-Geztrude, au sud-ouest des installations de Gentilly-2), de l'eau d'érable et du sirop d'érable (Bécancour, secteur de Bécancour). Auparavant, le lait de vache provenait des Fermes n^{os} 1, 2 et 3 (carte A-4 de l'annexe A). La Ferme n^o 1 a toutefois cessé sa production laitière en novembre 2015. Depuis, le lait de vache provient uniquement des Fermes n^{os} 2 et 3.

Pour les analyses de tritium, des échantillons composés sont préparés et analysés mensuellement pour chacune des fermes. Dans le cas des émetteurs gamma, l'analyse se fait sur un échantillon composé en provenance des deux fermes, préparé mensuellement.

Les analyses radiologiques des fruits (pommes et tomates) et légumes (carottes et choux) sont réalisées sur des échantillons composés d'un nombre de spécimens permettant d'atteindre le poids minimal requis à leur réalisation, soit environ une vingtaine de kilogrammes. Quant à l'eau d'érable et le sirop d'érable, les analyses sont réalisées sur un seul échantillon.

En 2019, du tritium n'a été détecté que dans un des 24 échantillons composés de lait, soit l'échantillon prélevé en mars à la Ferme n° 3, à une concentration de 16 Bq L^{-1} . Dans les 24 échantillons de lait analysés, aucune concentration d'iode-131 ou de césium-137 n'a été détectée ($\text{LD} < 0,12 \text{ Bq L}^{-1}$).

En 2019, les choux et les carottes ont été échantillonnés le 4 septembre, et les tomates et les pommes le 16 septembre. Aucune concentration de césium-137 ou de cobalt-60 n'a été détectée dans ces fruits et légumes. Les LD étaient inférieures à $0,42 \text{ Bq kg}^{-1}$ pour le césium-137 et à $0,58 \text{ Bq kg}^{-1}$ pour le cobalt-60. Le tritium a été détecté seulement dans les choux à une concentration de 5 Bq kg^{-1} . Des concentrations de carbone-14 ont été mesurées dans tous les fruits et légumes, les valeurs variant de $6,9 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ PF}$ (choux) à $13,5 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ PF}$ (pommes).

Certains autres radionucléides, non associés aux rejets de l'installation nucléaire de Gentilly-2, ont aussi été détectés, soit du béryllium-7 dans les tomates ($8,0 \text{ Bq kg}^{-1}$), et les pommes ($5,5 \text{ Bq kg}^{-1}$), ainsi que du potassium-40 dans tous les fruits et légumes, à des concentrations variant de 408 Bq kg^{-1} (pommes) à $1\,670 \text{ Bq kg}^{-1}$ (tomates).

Un échantillon d'eau d'érable et un de sirop d'érable ont été récoltés le 4 avril 2019. Le tritium a été mesuré dans l'eau d'érable, le césium-137 et le potassium-40 dans le sirop d'érable. Dans l'eau d'érable, la concentration de tritium était de 5 Bq L^{-1} . Dans le sirop d'érable, des concentrations de $2,8 \text{ Bq kg}^{-1}$ de césium-137 et de 82 Bq kg^{-1} de potassium-40 ont été mesurées.

Dans l'ensemble, les concentrations de radioactivité mesurées en 2019 dans les produits comestibles sont semblables à celles mesurées les années précédentes.

8.7 Données météorologiques

En décembre 2019, Hydro-Québec complétait la dernière étape de la mise en retrait de son équipement météorologique en provoquant la chute de la tour au sol et en procédant à son démantèlement. L'année précédente, une telle position avait été prise quant à la pérennité de l'équipement, considérant l'adaptation nécessaire de l'organisation et du site selon le plan directeur de la préparation à la période de stockage sous surveillance des installations de Gentilly-2.

Conséquemment, Hydro-Québec avait aussi retenu l'alternative que représentait une tour instrumentée du MELCC, située à Bécancour, pour pallier l'absence de données au site de Gentilly-2. La tour du MELCC est également située en rive sud du fleuve Saint-Laurent, à un peu plus de sept kilomètres de distance aérienne du site de

Gentilly-2. Cette possibilité avait été préalablement évaluée dans le cadre d'une substitution de données de dispersion atmosphérique visant une estimation de doses de rayonnements à la population, et documentée au rapport *Évaluation de la qualité et de l'intégration des données météorologiques de Bécancour sur l'estimation des doses à la population autour des installations nucléaires de Gentilly* (ISR, 2018). Les conclusions de ce rapport confirmaient que les données de la tour météo de Bécancour pouvaient effectivement être mises à profit en lieu et place de celles de la tour d'Hydro-Québec au site de Gentilly-2. Par ailleurs, afin de s'assurer de l'obtention des données du MELCC pour une période équivalente à celle de son permis fédéral de déclassement, Hydro-Québec a reconfirmé sa participation lors du renouvellement de l'entente pentapartite sur le *Programme de surveillance de qualité de l'air à station de Bécancour*.

La figure 8-42 schématise, pour l'année 2019, les relevés d'origine et de vitesse des vents à Bécancour faits par l'entremise de la tour météorologique appartenant au MELCC (carte A-4 de l'annexe A). La batterie d'instrumentation de cette tour est située à une hauteur de 10 mètres. L'ensemble des données brutes de la tour du MELCC a été rendu disponible par le *Réseau météorologique coopératif du Québec* (RMCQ).

La figure 8-43 reprend quant à elle toutes les données colligées au cours des années 2013 à 2017, relevées exclusivement à l'ancienne tour d'Hydro-Québec située à même le site des installations de Gentilly-2 (carte A-1 de l'annexe A). Les instruments de mesure desquels étaient tirées ces données se trouvaient pour leur part à une hauteur de 37 mètres, équivalente à celle de la cheminée de l'installation nucléaire, constituant toujours le principal point d'émissions radioactives atmosphériques de Gentilly-2.

Bien qu'elles soient distantes de plus de sept kilomètres l'une de l'autre, la rose de l'origine des vents de l'année 2019 (Bécancour) et celle recensant toutes les données de la période 2013-2017 (Gentilly-2) présentent des patrons similaires. Parmi les différences les plus marquées, il y a certes celle du dénombrement des vents calmes, catégorisés par une vitesse inférieure à 2 km h^{-1} . Alors qu'à la tour du MELCC de Bécancour, ils sont recensés à 12 %, les mêmes valeurs mesurées historiquement à Gentilly-2 étaient de moins de 2 %. Comme la hauteur du gréement d'instrumentation est moindre à la tour de Bécancour, et que la rugosité des sols au pourtour y est possiblement plus élevée, il est normal que l'occurrence des vents calmes y soit plus grande, à exposition égale. Aussi, pour la provenance des vents dominants qui avaient été recensés entre 2013 et 2017 au site Gentilly-2, soit celle du sud-ouest, ils étaient dénombrés à environ 16,4 %. En 2019, les mêmes observations à la tour du MELCC se révèlent plutôt à environ 10,1 %. La provenance du sud-sud-ouest a même montré une occurrence supérieure, à 10,8 %.

En ce qui a trait aux trois origines des vents aptes à disperser les émissions atmosphériques de l'installation nucléaire de Gentilly-2 en direction de la Ferme n° 1, celle étant la plus rapprochée du site, elles ont toutes été sommées, à Bécancour en 2019, à une valeur identique à l'année précédente. Toutes vitesses confondues, les vents en provenance du nord, du nord-nord-ouest et du nord-ouest ont été de l'ordre de 20 %.

Finalement, les taux d'indisponibilité des données, pour cause de verglas ou d'un quelconque défaut de signal, ont été en 2019 à la tour instrumentée du MELCC à Bécancour de seulement 0,4 % pour les intrants de vitesse et nul (0,0 %) pour ceux de direction, ce qui témoigne d'une très grande fiabilité instrumentale.

L'analyse des deux roses d'origine des vents, annuelle pour 2019 et récapitulative de la période 2013-2017, confirme encore une fois le statut des vents dominants à ceux suivant un couloir calqué sur l'axe d'écoulement d'air de la vallée du Saint-Laurent à la hauteur de Bécancour et de ses environs.

Figure 8-42 : Rose de l'origine des vents au site instrumenté du MELCC à Bécancour pour l'année 2019

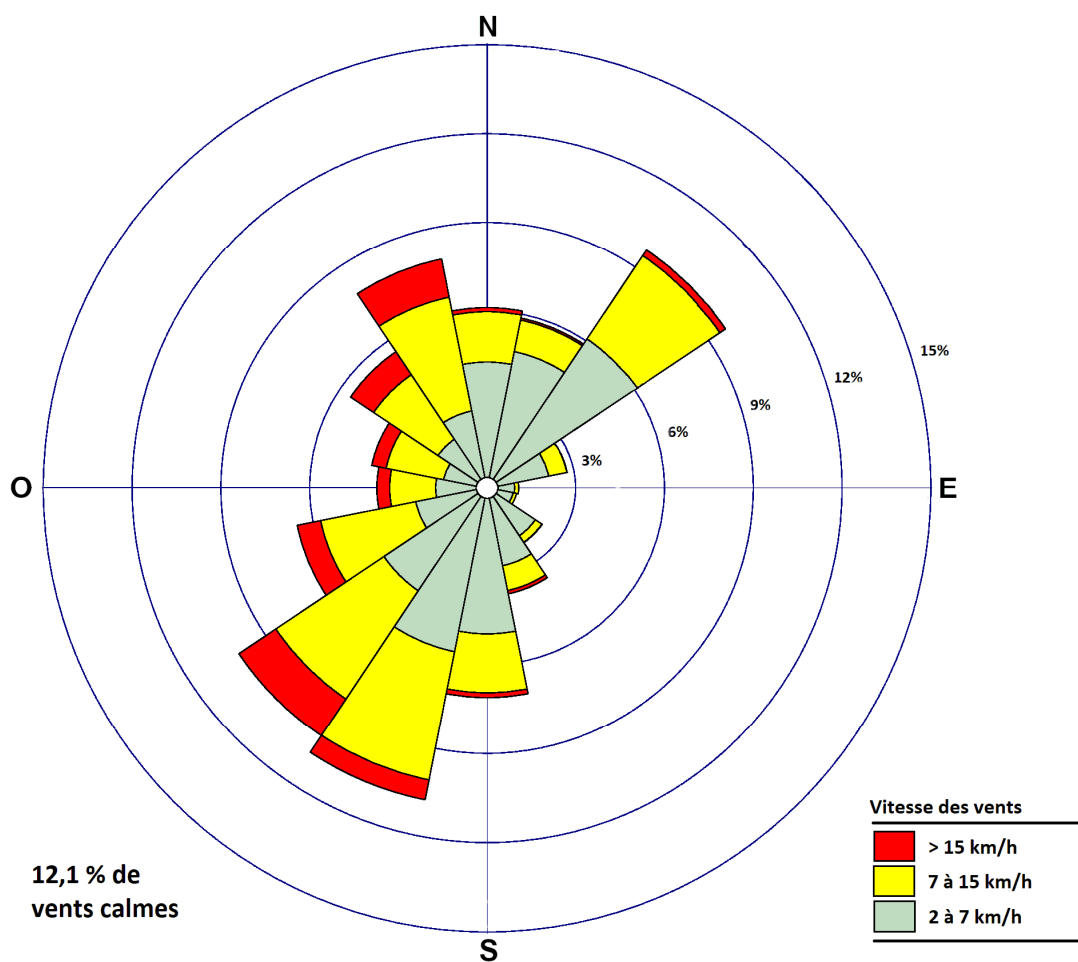
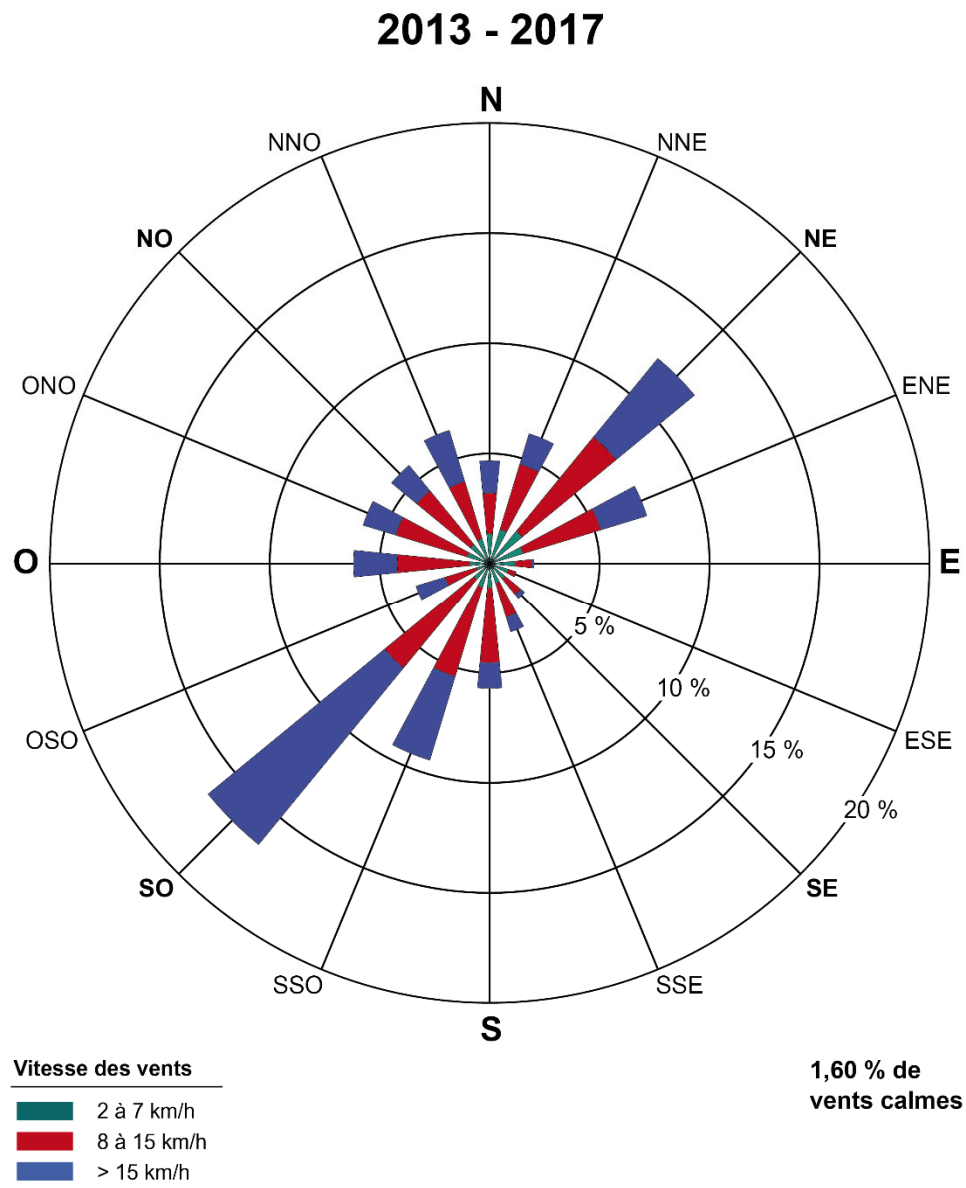


Figure 8-43 : Rose de l'origine des vents au site des installations de Gentilly-2 pour la période 2013-2017



8.8 Facteurs de dispersion atmosphérique

Dans le but de valider les différents scénarios de dispersion atmosphérique en regard de l'impact que pourraient avoir les rejets radioactifs des installations de Gentilly-2, Hydro-Québec procède aussi à une évaluation annuelle des coefficients réels de dispersion pour un regroupement de SCR localisées aux environs du site.

La concentration (C) d'un radionucléide ainsi diffusé dans l'air ambiant, à une certaine distance d'un point d'émissions atmosphériques, tel que la cheminée principale, est calculée par une relation sous la forme :

$$C = K_a \cdot Q$$

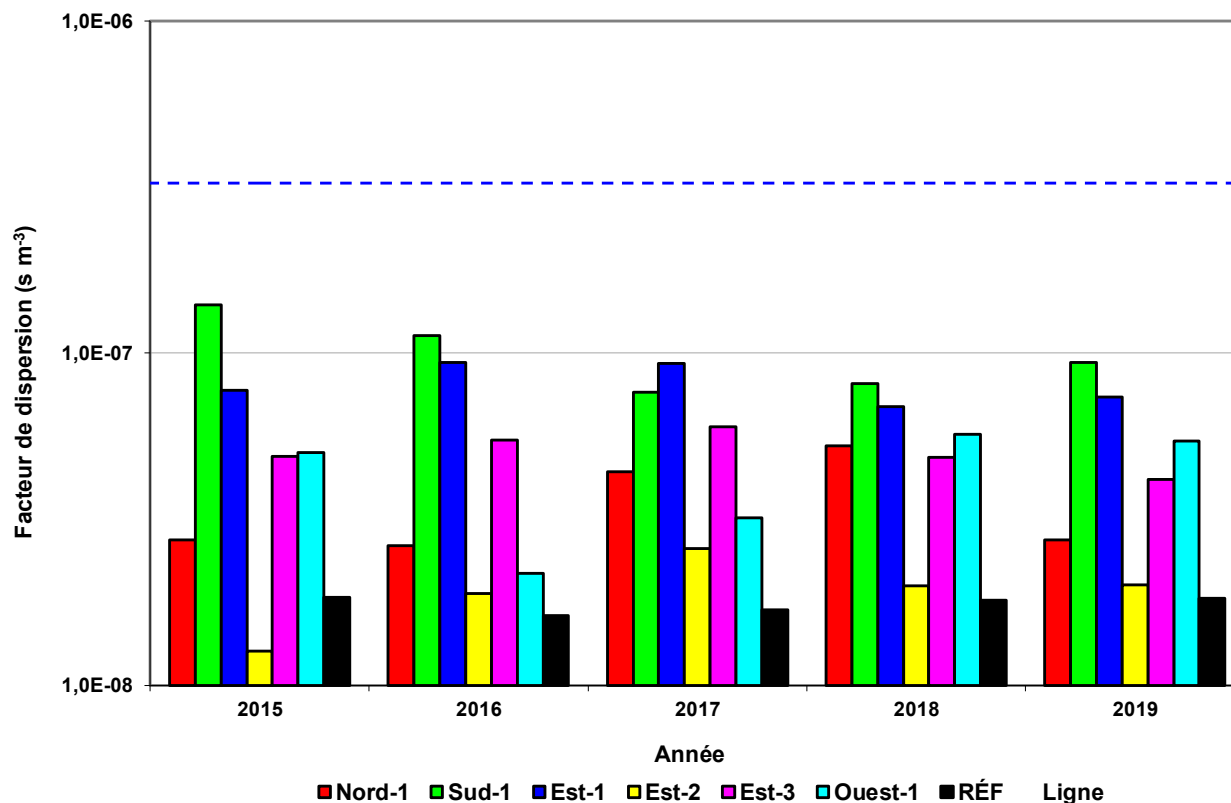
où Q représente le taux de relâche (Bq s^{-1}) et K_a le coefficient de dispersion (s m^{-3}).

La figure 8-44 présente, pour les années 2015 à 2019, les différents coefficients de dispersion estimés pour chacune des sept SCR situées dans un rayon variant de 2 à 15 km des installations de Gentilly-2, rayon dont le point central est la cheminée principale (carte A-4 de l'annexe A). Les coefficients de dispersion intègrent non seulement le taux de relâche à la cheminée principale, mais également toutes les valeurs de concentration de tritium atmosphérique quantifiées à ces sept stations.

En 2019, la valeur la plus élevée du coefficient de dispersion, pour toutes les SCR de ce regroupement, fut de $9,38 \times 10^{-8} \text{ s m}^{-3}$, associée au point Sud-1. Ce point est aussi celui d'où sont prélevés plusieurs échantillons environnementaux dont les valeurs d'analyses sont ensuite intégrées aux différentes voies d'exposition pour l'un des principaux groupes pour lesquels une estimation de dose annuelle de rayonnements est faite, dose conséquente du déclassement et de l'opération des systèmes de Gentilly-2. Les individus de ce groupe résident réellement à la Ferme n° 1, qui se situe au même emplacement que le point Sud-1 (carte A-4 de l'annexe A). D'une année à l'autre, c'est ce point qui culmine lors de l'identification des taux annuels de dispersion les plus faibles. En ce sens, l'année 2017 avait représenté une rare exception à cette règle.

Bien que le facteur de dispersion du point Sud-1 ait été estimé à $8,10 \times 10^{-8} \text{ s m}^{-3}$ au cours de la dernière année, c'est plutôt une valeur de $3,26 \times 10^{-7} \text{ s m}^{-3}$ qui fut intégrée à la plus récente modélisation soutenant les calculs des LOD de rejets gazeux de Gentilly-2 (Hydro-Québec, 2017b) dont les limites ont été mises en application en juillet 2017. Ces calculs de LOD avaient par ailleurs été effectués par l'entremise du même progiciel IMPACT (*Integrated Model for the Probabilistic Assessment of Contaminant Transport*). Cette valeur dérivée du calcul de concentrations fait par IMPACT étant plus élevée, son utilisation amène une marge de sûreté puisqu'elle n'a pas été réellement mesurée dans le passé, comme en fait foi la figure 8-44. À ce compte, elle suppose une moindre dispersion des rejets gazeux que celle qui s'avère réellement en un point. Afin de bien distinguer cette valeur conservatrice, une bande pointillée bleue a été ajoutée à la figure 8-44. Elle indique distinctement le coefficient de dispersion intégré aux calculs des LOD gazeuses appliquées depuis juillet 2017, en comparaison des facteurs de dispersion historiquement évalués aux SCR.

Figure 8-44 : Facteurs moyens de dispersion du tritium atmosphérique des relâches des installations de Gentilly-2 pour la période 2015-2019



9 Estimation de la dose de rayonnements aux membres représentatifs de la population

Comme exigé au document d'application de la réglementation REGDOC 3.1.1 intitulé *Rapports à soumettre par les exploitants de centrales nucléaires, exigences relatives à la production de rapports*, une dose annuelle de rayonnements est estimée pour les membres de plusieurs groupes de population présents aux abords de l'installation nucléaire de Gentilly-2. Cette dose résulte de la radioactivité émise lors des activités d'opération de systèmes et de déclassément toujours menées par Hydro-Québec. En 2019, toutes ces doses ont été estimées au moyen de la paramétrisation du modèle mathématique IMPACT 5.5.2 (*Integrated Model for the Probabilistic Assessment of Contaminant Transport*), un progiciel permettant l'application des coefficients de conversion de doses stipulés à la plus récente version de la norme N288.1-14 (Groupe CSA, 2014). La nouvelle base de données de la version 5.5.2 du progiciel a été rendue disponible en avril 2018, faisant suite à trois différentes mises à jour de la norme CSA, en partie liées à des changements de facteurs de bioaccumulation de radioactivité dans le biote ainsi qu'à ceux relatifs aux transferts entre les organismes.

En plus de considérer la dispersion environnementale des émissions radioactives quantifiées à la surveillance des rejets de l'installation nucléaire de Gentilly-2, le progiciel IMPACT intègre également plusieurs voies d'exposition humaine, réelles ou réalistement possibles. Certaines voies sont soutenues par le modèle d'écoulement hydraulique SMS (*Surface Water Modeling System*). Aussi, cet outil incorpore une panoplie d'intrants liés aux habitudes de consommation propres à divers groupes de population de même que l'ensemble des données météorologiques acquises de la tour du MELCC à Bécancour en 2019. Finalement, dans le but de caler adéquatement le modèle, de nombreuses valeurs provenant directement de l'application des modalités du PSRE de l'année 2019 y sont imposées, en fonction de la localisation des sites de prélèvements. Cette méthodologie est approuvée par la CCSN et est appliquée de façon identique par les exploitants des autres centrales nucléaires canadiennes.

9.1 Groupes récepteurs

La méthode dite « rétrospective », basée sur l'utilisation du modèle IMPACT 5.5.2, permet ainsi la détermination de la dose de rayonnements d'un groupe d'individus récepteurs servant de référence et jugé représentatif de la fraction de la population la plus exposée aux émissions radioactives de l'installation nucléaire de Gentilly-2. Pour ce faire, plusieurs groupes récepteurs ont été retenus pour la modélisation, dont les habitants d'une ferme, comme celles situées à proximité de Gentilly-2 (point Sud-1) ou en rive nord du fleuve Saint-Laurent (point Nord-1), ou encore à l'est des installations (point Est-2).

Des groupes évoquent plutôt des travailleurs, comme ceux du PIPB (point SCR-4), de la centrale de Bécancour (carte A-7) ou du site de Laprade, à proximité du secteur Gentilly. D'autres encore sont constitués de résidents de plusieurs localités avoisinant le site de Gentilly-2. Enfin, un dernier groupe est nommé chasseurs-pêcheurs, présumés résidents du secteur Bécancour. Ce groupe est réputé consommer une plus grande quantité de viandes sauvages et de poissons récoltés à proximité de Gentilly-2.

9.2 Doses par voies d'exposition

Comparée à d'autres méthodes possibles d'estimation de dose de rayonnements, celle impliquant l'utilisation d'un modèle paramétré du progiciel IMPACT 5.5.2 a comme particularité d'intégrer toutes les fractions de dose, même minimales, découlant de l'exposition à tous les radionucléides susceptibles d'être émis dans l'environnement, et ceux quantifiés aux effluents radioactifs des installations de Gentilly-2.

En 2019, l'outil de modélisation a donc été paramétré en incorporant la totalité des émissions de radionucléides et des mesures environnementales en dispersion dans l'air, l'eau, les sols ainsi que dans certains produits de consommation humaine. Une mise à jour antérieure du progiciel, rendue disponible en début d'année 2017, permettait finalement la prise en compte des mesures de radioactivité quantifiées dans la faune aquatique. Cette amélioration au modèle a fait en sorte qu'un changement du groupe récepteur le plus exposé soit survenu, pour les installations de Gentilly-2.

Ainsi, en 2019, la valeur de la dose annuelle associée aux membres représentatifs de la fraction la plus exposée de la population découlant des activités toujours menées aux installations de Gentilly-2 est estimée à 3 μSv (Calian, 2020). Cette valeur maximale de dose représente toujours moins d'un pour cent de la limite de dose efficace légale au Canada. Elle fut rendue par le modèle IMPACT 5.5.2, et ce, pour une personne d'âge adulte issue d'un groupe récepteur composé des chasseurs-pêcheurs fréquentant les sites accessibles autour des installations de Gentilly-2.

Afin de mener à bien tout le processus d'estimation de doses de rayonnements à la population, incluant la dispersion atmosphérique de radioactivité, un prétraitement a dû être réalisé pour catégoriser les classes de stabilité de l'atmosphère. En l'absence de variables spécifiques liées au gradient de température vertical et à l'écart-type de la direction du vent dans le jeu de données météorologiques du MELCC (Bécancour), la stabilité atmosphérique a préalablement été dérivée à la fois de la vitesse du vent, du rayonnement solaire horaire moyen le jour et de la radiation nette la nuit.

Par le passé, il a été prouvé que cette méthode dérivée implique une marge de sécurité puisque la distribution de fréquences des classes de stabilité sous-estimait les réelles occurrences en classes atmosphériques instables (classes de Pasquill A-B-C) et qu'à l'inverse, elle surestimait celles des classes atmosphériques neutres ou stables (classes de Pasquill D-E-F). Un prétraitement de la sorte tend à hausser les concentrations de radioactivité en un point spécifique, influençant aussi à la hausse l'estimation de dose.

Le tableau 9-1 présente les fractions de dose, par voie d'exposition et par radionucléide, du groupe de population le plus exposé (chasseurs-pêcheurs). Au cours des dernières années, l'abandon des activités de production laitière à la Ferme n° 1 et l'évolution des concentrations de radioactivité aux rejets de l'installation nucléaire avaient contribué à un changement du groupe le plus exposé. Pour tous les autres groupes récepteurs pour lesquels une estimation de dose annuelle de rayonnements a été réalisée en 2019, les valeurs résultantes étaient toutes de l'ordre de 1 µSv.

Tableau 9-1 : Dose annuelle de rayonnements aux membres du groupe le plus représentatif de la population en 2019 (modèle IMPACT 5.5.2)

Individu	Voie d'exposition	Dose modélisée (Sv a ⁻¹)			Dose totale ^a (µSv a ⁻¹)
		HTO	¹⁴ C	Bêta totale	
Adulte	Immersion – air	0,00E+00	6,81E-15	6,58E-15	
	Inhalation	5,59E-08	8,36E-12	2,46E-13	
	Dépôt – sol	0,00E+00	0,00E+00	5,23E-10	
	Ingestion - animaux terrestres	5,94E-09	1,30E-09	4,11E-13	
	Ingestion - plantes terrestres	1,06E-08	3,47E-10	1,01E-13	
	Ingestion - animaux aquatiques	2,22E-09	1,82E-06	1,22E-07	
	Total	7,47E-08	1,82E-06	1,22E-07	2,02
Enfant 10 ans	Immersion – air	0,00E+00	6,81E-15	6,58E-15	
	Inhalation	6,54E-08	1,17E-11	3,75E-13	
	Dépôt – sol	0,00E+00	0,00E+00	5,23E-10	
	Ingestion - animaux terrestres	3,63E-09	8,18E-10	6,10E-13	
	Ingestion - plantes terrestres	7,88E-09	2,84E-10	1,41E-13	
	Ingestion - animaux aquatiques	1,88E-09	1,65E-06	6,16E-08	
	Total	7,87E-08	1,65E-06	6,21E-08	1,79
Enfant 1 an	Immersion – air	0,00E+00	6,81E-15	8,56E-15	
	Inhalation	4,87E-08	8,63E-12	3,56E-13	
	Dépôt – sol	0,00E+00	0,00E+00	6,80E-10	
	Ingestion - animaux terrestres	5,68E-09	1,21E-09	1,11E-12	
	Ingestion - plantes terrestres	6,65E-09	2,09E-10	1,34E-13	
	Ingestion - animaux aquatiques	1,37E-09	1,14E-06	2,56E-08	
	Total	6,24E-08	1,14E-06	2,63E-08	1,23
a : En raison du niveau de précision associé à l'estimation de la dose totale, la valeur publiée aux autres sections du présent document a été arrondie à l'entier supérieur. Seules les valeurs de cette colonne montrent le degré de précision rendu aux calculs IMPACT 5.5.2.					

Suivant une suggestion de la CCSN, le tableau 9-2 précise de façon plus explicite les ratios témoignant des voies d'exposition prépondérantes ainsi que des radionucléides

contributeurs aux fractions de doses de l'individu pour lequel la valeur de dose annuelle est la plus élevée de tous ceux ciblés à l'exercice d'estimation de 2019.

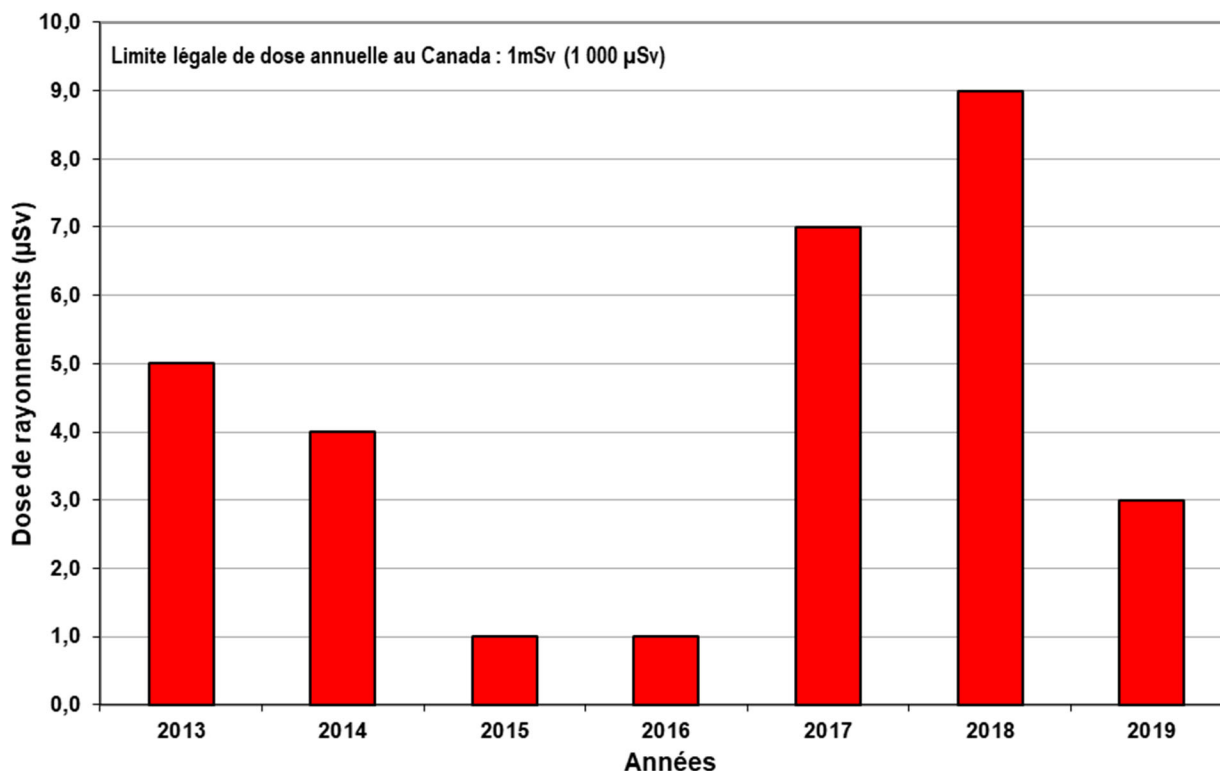
Tableau 9-2 : Exposition prépondérante liée au membre de la population pour lequel la dose est la plus élevée en 2019

Individu	Voie d'exposition prépondérante	Dose modélisée (Sv a ⁻¹)			Dose totale ^a (μSv a ⁻¹)
		HTO	¹⁴ C	Bêta totale	
Adulte	Inhalation	5,59E-08	-	-	2,02
	Ingestion - animaux aquatiques	-	1,82E-06	1,22E-07	
	Ratios de la dose totale	2,78 %	90,15 %	6,04 %	98,97 %
a : En raison du niveau de précision associé à l'estimation de la dose totale, la valeur publiée aux autres sections du présent document a été arrondie à l'entier supérieur. Seules les valeurs de cette colonne montrent le degré de précision rendu aux calculs IMPACT 5.5.2.					

9.3 Historique de dose

La figure 9-1 présente l'historique des doses annuelles de rayonnements induites à la population, estimées pour la période couvrant les années 2013 à 2019, soit l'entièreté de celles où les installations de Gentilly-2 ont été en phase de déclassement nucléaire.

Figure 9-1 : Dose annuelle de rayonnements estimée pour un membre représentatif de la population liée à l'exploitation des installations de Gentilly-2 pour la période 2013-2019

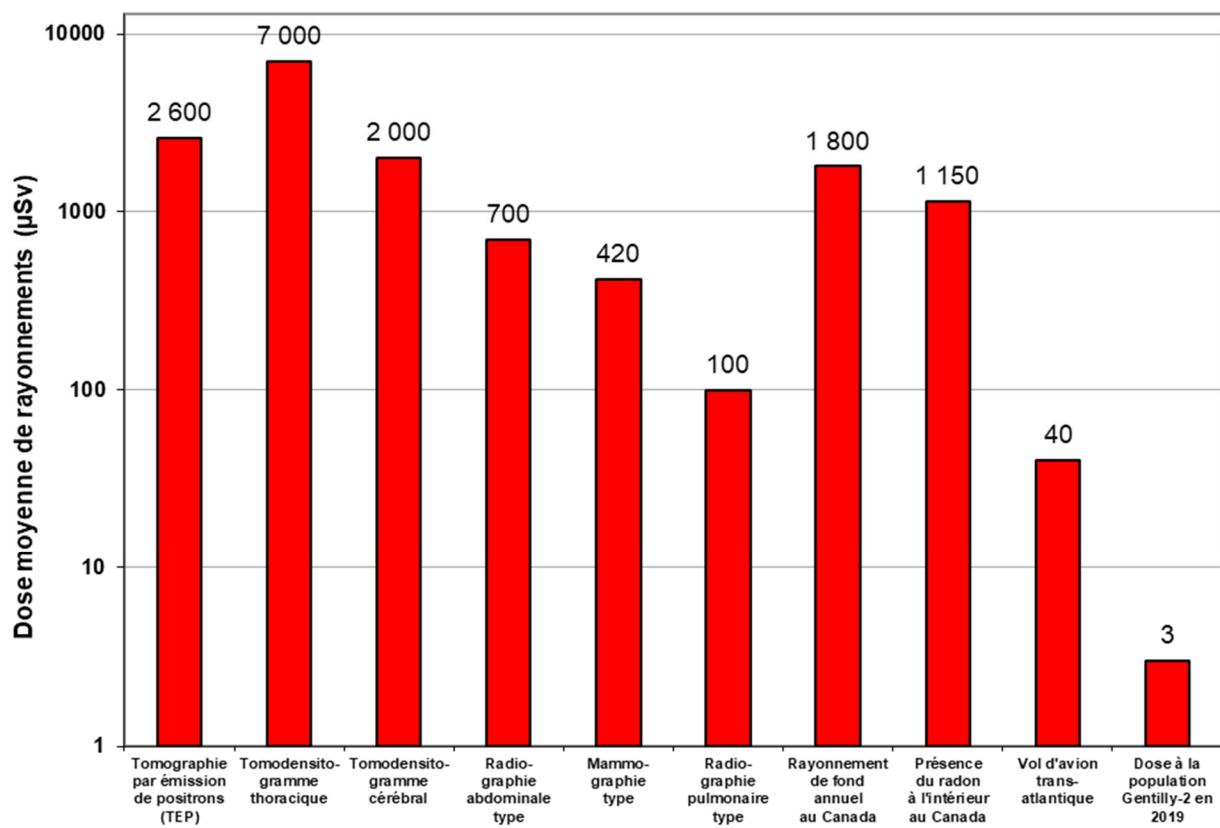


La dose annuelle de rayonnements induite à la population, estimée pour l'année 2019, correspond à moins d'un pour cent de la limite de dose efficace pour le public établie par la CCSN à 1 mSv (1 000 μ Sv). Par ailleurs, cette dose correspond à une fraction plus faible encore de la dose annuelle moyenne reçue par un individu de la population canadienne, mais résultant d'expositions (irradiation externe gamma et inhalation) à des sources naturelles qui elle s'établit à environ 1 800 μ Sv (CCSN, 2015b).

Cette valeur de dose annuelle de rayonnements à la population estimée pour l'année 2019 est principalement tributaire des concentrations de radioactivité plus élevées dans quelques matrices environnementales suivies au PSRE. Ces valeurs plus élevées, documentées au cours des dernières années, impliquent surtout la concentration de carbone-14 dans la chair du poisson, et ce, malgré une importante diminution des émissions aux effluents liquides et gazeux depuis 2018 faisant suite à l'achèvement d'étapes importantes liées à la préparation de la période de stockage sous surveillance des installations de Gentilly-2. Bien que la diminution des concentrations relevées en 2019 dans la chair du poisson en comparaison de l'année précédente soit évidente, il est constaté qu'elle est asynchrone avec celle des émissions à la source, comme discuté en détail à la précédente section 8.5.4.

La figure 9-2, quant à elle, met en perspective la dose annuelle à la population liée aux activités en cours aux installations de Gentilly-2 en 2019 par rapport à d'autres doses typiquement reçues lors d'examens ou de traitements médicaux, ou encore aux doses découlant d'une exposition à la radioactivité naturellement présente (CCSN, 2016).

Figure 9-2 : Comparaison de doses de rayonnements typiques pouvant affecter la population canadienne



10 Programme d'intercomparaison du laboratoire et omissions aux plans

10.1 Intercomparaison du laboratoire

Un exercice d'intercomparaison comprenant diverses matrices environnementales a de nouveau été complété par le laboratoire de radioécologie d'Hydro-Québec, au cours de l'année 2019.

Cet exercice 2019 a été coordonné par le groupe *Environmental Resource Associates* (ERA) et est identifié MRAD-31 (ERA, 2019). Cette intercomparaison portait spécifiquement sur des filtres d'air et des échantillons de sol, de végétaux et aqueux.

Les tableaux D-1A à D-1D de l'annexe D présentent les résultats de cette intercomparaison. Lors de cet exercice, un seul des 36 résultats soumis par le laboratoire n'était pas compris dans l'intervalle attendu. Ce résultat, mesuré dans un échantillon de sol, est celui de l'uranium-238 dont la valeur soumise et les limites acceptables étaient : $2\,649\text{ pCi kg}^{-1}$ ($534 - 1\,310\text{ pCi kg}^{-1}$).

Les principes qui ont servi à rationaliser et uniformiser le traitement et l'expression des résultats de toutes les mesures radiologiques qui sont générées aux laboratoires de radioprotection et de radioécologie sont décrits dans la norme N288.4-10 du Groupe CSA (Groupe CSA, 2010). Les conventions appliquées sont résumées à l'annexe C.

10.2 Omissions aux plans de surveillance environnementale

Au cours d'une année complète de réalisation, il arrive que certains des échantillons prévus aux plans de surveillance de l'environnement ne puissent être prélevés, ou que des analyses ne puissent être complétées, et ce pour diverses raisons. Hydro-Québec collige toutes ces omissions dans un système d'information interne. Les points qui suivent font une revue de ces omissions pour l'année 2019.

- Janvier 2019 : l'analyse du tritium pour le suivi des émissions atmosphériques secondaires n'a pu être réalisée pour une période de quatre jours au Centre de récupération de matières contaminées (CRMC) puisqu'il n'y avait pas d'échantillon disponible dans un des barboteurs.
- Avril 2019 : le résultat de la mesure d'ambiance gamma pour le DTL IGDRS-14 du 1^{er} trimestre n'a pu être produit puisque les cristaux de fluorure de calcium n'ont pas été installés au point d'échantillonnage.
- Mai 2019 : le débit d'échantillonnage de l'échantillonneur automatique à l'IGDRS était trop élevé. Un échantillon instantané a donc été prélevé au moment de la constatation et a été analysé.

- Mai 2019 : l'analyse du carbone-14 pour le suivi des émissions atmosphériques secondaires n'a pu être réalisée pour une période de quatre jours au CRMC puisque deux barboteurs n'avaient pas été réinstallés.
- Juillet 2019 : le débit d'échantillonnage de l'échantillonneur automatique à l'IGDRS était trop élevé. Il n'y a donc pas eu d'échantillonnage pour ce mois.
- Octobre 2019 : la mesure de rayonnement externe aux clôtures de l'ASSCI n'est pas disponible pour le 3^e trimestre en raison d'une perte d'intégrité des données. Les résultats de ce trimestre, spécifiques à cette installation, ont donc tous été refusés de la spécialiste responsable du contrôle de la qualité du laboratoire. Des démarches supplémentaires ont été menées pour éviter la récurrence d'un tel événement.
- Novembre 2019 : en raison de la présence de glace dans le canal de rejet, l'embarcation permettant de récupérer les échantillons de sédiments n'a pu être mise à l'eau. Lors d'une tentative ultérieure, il a été constaté que les trappes à sédiments avaient été emportées par les glaces.

11 Conclusion

Le rapport annuel *Résultats de la surveillance de l'environnement des installations de Gentilly-2* (G2-RT-2020-00518-001) présente l'ensemble des données issues des deux plans de surveillance environnementale appliqués au cours de l'année 2019 au site des installations de Gentilly-2. Ces résultats regroupent à la fois les résultats d'analyses radiologiques et physicochimiques liées à tous les rejets à la source, puis à leur dispersion dans l'environnement. Le rapport présente aussi des constats relatifs aux autres engagements réglementaires applicables aux installations de Gentilly-2.

Tout au cours de l'année 2019, aucune limite opérationnelle dérivée ni aucun seuil d'intervention figurant au *Manuel de conditions de permis* délivré par la CCSN n'a été atteint. Ces limites et seuils ont trait à la radioactivité présente aux effluents et obligent tout détenteur de permis de la CCSN à des notifications et à des actions immédiates à la suite de l'atteinte d'une ou l'autre de ces valeurs prédéterminées. Quant aux résultats de surveillance environnementale propre à la dispersion dans les milieux récepteurs, les causes des dépassements de normes, de critères ou de cibles ont pu être expliquées, et les variations les plus significatives ont pu être analysées et comprises. Par ailleurs, une surveillance environnementale rigoureuse de toutes les installations de Gentilly-2 sera maintenue, conformément aux attentes des principaux organismes de réglementation. Les deux plans qui l'encadrent sont adaptés périodiquement afin de mieux refléter les conditions qu'impliquent actuellement plusieurs activités de déclasserement, en période de préparation à la phase de stockage sous surveillance. Hydro-Québec considère la surveillance comme un gage de protection de la population et de l'environnement.

Pour l'ensemble des paramètres physicochimiques prévus au PSE en vigueur en 2019, seules deux séries de résultats d'analyses ont dépassé un critère ou une cible. D'abord, pour la série liée aux prélèvements d'eaux souterraines au site des installations de Gentilly-2, des concentrations de cuivre et de chlorures ont été quantifiées à des valeurs supérieures aux critères stipulés à la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*. Cette situation est récurrente et a aussi fait l'objet de discussions au cours des années antérieures. La nature spécifique du socle rocheux en présence dans la province géologique de la plate-forme du Saint-Laurent amène une eau souterraine profonde riche en minéraux. Aussi, deux dépassements d'une cible établie au PSE, cette fois relative à une concentration minimale en oxygène dissous, ont été consécutivement constatés à l'effluent final de l'installation de traitement des eaux usées sanitaires en fin de la saison estivale. Un retour à la conformité a été documenté dès le mois suivant.

En ce qui a trait à la surveillance des effluents radioactifs de l'installation nucléaire, la diminution drastique d'activité en carbone-14, constatée dès le début de l'année 2018, s'est maintenue en 2019. Elle marquait particulièrement les effluents liquides. Ce

changement au profil des rejets avait suivi le complément des travaux de récupération et de transfert des résines usées échangeuses d'ions des systèmes nucléaires en 2017.

Tout comme lors de l'année précédente, les valeurs maximales d'activité radiologique recensées au cours de l'année 2019 sont toutes deux associées au tritium. Pour les rejets liquides, le ratio le plus élevé a été atteint en mars, à 0,02 % LOD (mensuelle) alors que pour les rejets gazeux, le ratio le plus élevé a été atteint à la quarantième semaine, à 0,07 % LOD (hebdomadaire). Ces valeurs sont similaires à celles de l'année précédente, mais marquent un contraste avec l'année 2017 où elles étaient sensiblement plus élevées.

En 2019, les rejets radioactifs gazeux et liquides ont donc encore été tous en deçà d'une valeur équivalente à 1 % des LOD respectives, hebdomadaires ou mensuelles. Cette valeur seuil est celle d'un objectif interne d'exploitation à Hydro-Québec.

La reprise des travaux de décontamination de matériel absorbant généré durant les années d'exploitation de la centrale nucléaire de Gentilly-2, ainsi que la gestion du contenu de quelques barils de liquide à faible concentration d'eau lourde à son centre de décontamination, ont modulé les principales variations observées en 2019.

En ce qui a trait à l'activité radiologique quantifiée dans les matrices environnementales échantillonnées au PSRE, elle fut à la baisse dans plusieurs d'entre elles au cours de l'année 2019. Les baisses furent plus marquées pour les valeurs liées aux échantillons de type aquatique, notamment pour l'activité de carbone-14 dans la chair des poissons. Cette diminution était anticipée selon un modèle fourni dans une étude scientifique documentant l'évolution de l'activité dans cette matrice biotique à la suite d'une injection volontaire de carbone-14 dans un milieu lacustre. Ce modèle révélait une hausse des concentrations dans la chair du poisson suivant l'apport dans le milieu récepteur, puis une diminution progressive sur plusieurs années. Le maintien des modalités de surveillances environnementales du PSRE permettra à Hydro-Québec de vérifier cette hypothèse dans un milieu radioécologique dynamique, eu égard à la période biologique du carbone-14 dans les fractions aquatiques animales. Un retour à des valeurs se rapprochant des concentrations équivalentes au bruit de fond, telles que mesurées avant l'année 2014, est toujours envisagé dans les prochaines années.

Une estimation de la dose annuelle de rayonnements à la population, induite par les activités toujours en cours aux installations de Gentilly-2, a de nouveau été réalisée par la modulation des paramètres d'entrée du progiciel IMPACT 5.5.2 (avril 2018). En 2019, la dose annuelle de rayonnements reçue aux abords du site de Gentilly-2 par les membres représentatifs de la population la plus exposée a été estimée à 3 μ Sv.

Cette valeur de dose estimée de l'année 2019 marque une diminution substantielle en comparaison de l'année précédente. Les plus récentes valeurs de concentration de radioactivité dans la chair du poisson n'y sont pas étrangères. Cette dose estimée correspond toujours à moins d'un pour cent de la dose maximale admissible pour un membre de la population, fixée par la CCSN à 1 mSv (1 000 μ Sv). Elle est négligeable

lorsque comparée à la dose moyenne de 1 800 μSv provenant d'expositions à des sources naturelles au Canada (CCSN, 2015b) ou à d'autres sources d'expositions, comme celles d'examens ou de traitements médicaux.

En 2019, l'analyse des quelques centaines de valeurs issues des prélèvements stipulés aux modalités des deux plans de surveillance de l'environnement aux installations de Gentilly-2 révèle que l'impact sur l'environnement et sur la population avoisinante des activités de déclasséement nucléaire ou d'opération de systèmes est négligeable, voire imperceptible, hors de la zone d'exclusion de près d'un kilomètre de rayon.

Ces conclusions d'Hydro-Québec avaient déjà été corroborées de façon indépendante par la CCSN qui, dans le cadre de son *Programme indépendant de surveillance environnementale* (PISE), avait procédé en 2015, 2016 et 2018 à l'analyse d'une multitude d'échantillons de matrices environnementales au pourtour du site des installations de Gentilly-2. À chacune de ces occasions, les conclusions de cet organisme réglementaire étaient que : « ...le public et l'environnement à proximité de Bécancour et de l'installation de Gentilly-2 sont protégés et qu'il n'y a pas d'incidence probable sur la santé. Ces résultats sont compatibles avec les résultats présentés par Hydro-Québec confirmant que le programme de protection de l'environnement du titulaire de permis préserve la santé des personnes et protège l'environnement ». La CCSN avait finalement documenté que la radioactivité mesurée était inférieure à leurs niveaux de référence, et ce, tout en ayant intégré des hypothèses prudentes à la détermination de ces niveaux. Tous ces résultats sont entièrement disponibles à la section dédiée au PISE (rubrique *Ressources*) du site internet officiel de la CCSN (Gouvernement du Canada).

12 Références

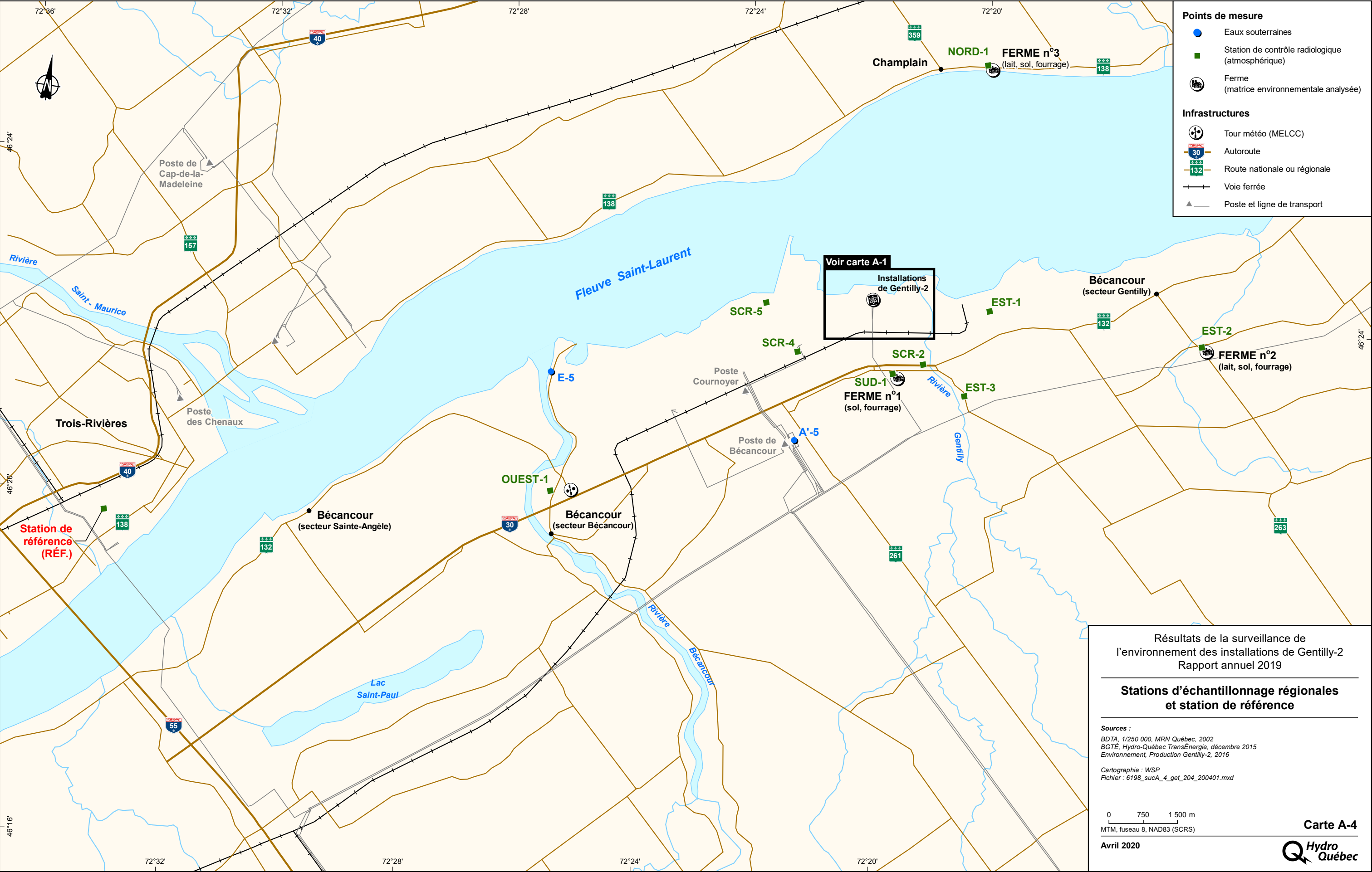
- ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION (ACNOR). 2010. *Environmental Monitoring Programs at Class Nuclear Facilities and Uranium Mines and Mills*. N288.4-10. 132 p.
- BARBEAU, C. 2009. *Impact des activités de Gentilly-2 sur l'environnement*. Volume 1. Rapport présenté à Hydro-Québec. 112 p.
- BEAULIEU, M. 2019. *Guide d'intervention – Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés*. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. ISBN 978-2-550-83515-8. 219 p.
- BIOMOVS II. 1996. *Validation Test for Carbon-14 Migration and Accumulation in a Canadian Shield Lake*. Technical report No. 14. 32 p. et annexes.
- CALIAN. 2020. *Calcul de la dose de rayonnement aux membres représentatifs de la population autour des installations de Gentilly-2, année 2019*. Rapport Calian HYDROQ-0012-01 Révision 1.0. 50 p.
- COMMISSION CANADIENNE DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE (CCSN). 2016. *Imagerie médicale et radiothérapie*. En ligne : <http://nuclearsafety.gc.ca/fra/resources/infographics/mir/index.cfm>. Consulté en mars 2019.
- COMMISSION CANADIENNE DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE (CCSN). 2015a. *Catégories et sources de rayonnement*. En ligne : <http://www.cnscccsn.gc.ca/fra/resources/radiation/introduction-to-radiation/types-and-sources-of-radiation.cfm>. Consulté en mars 2019.
- COMMISSION CANADIENNE DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE (CCSN). 2015b. *Doses de rayonnement*. En ligne : <http://www.cnscccsn.gc.ca/fra/resources/radiation/introduction-to-radiation/radiation-doses.cfm>. Consulté en mars 2019.
- EISENBUD, M. et T. GESELL. 1997. *Environmental Radioactivity from Natural, Industrial, and Military Sources* (4^e éd.). Academic Press. 656 p.
- ENVIRONMENTAL RESOURCE ASSOCIATES (ERA). 2019. *MRAD-31 - Final Report. MraDTM Proficiency Testing*. Rapport émis le 2019-11-19. 12 p.
- GROUPE CSA. 2014. *Guide de calcul des limites opérationnelles dérivées de matières radioactives dans les effluents gazeux et liquides durant l'exploitation normale des installations nucléaires*. N288.1-14. 376 p.
- GROUPE CSA. 2010. *Programmes de surveillance de l'environnement aux installations nucléaires de catégorie I et aux mines et usines de concentration d'uranium*. N288.4-10. 118 p.
- HYDRO-QUÉBEC. 2018. *Plan de surveillance de l'environnement de Gentilly-2 – État de stockage sûr (en piscine) – Révision 4*. 48 p.
- HYDRO-QUÉBEC. 2017a. *Plan de surveillance radiologique de l'environnement – Installations de Gentilly-2 en état de stockage sûr – Révision 1*. 23 p.

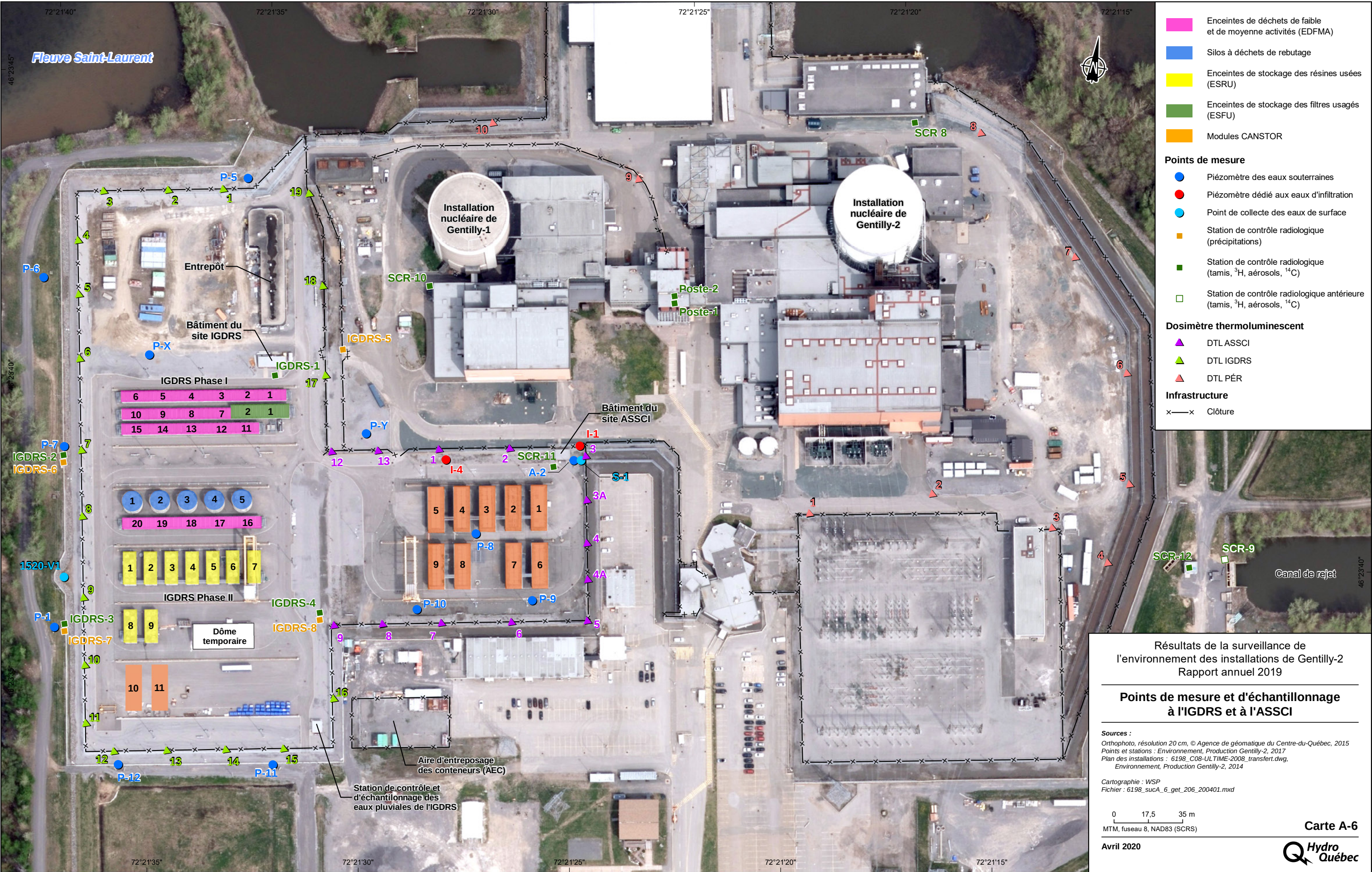
- HYDRO-QUÉBEC. 2017b. *G2-RT-2015-16000-011 – Révision 3 – Limites opérationnelles dérivées conformes à la norme ACNOR N288.1-14*. 84 p.
- HYDRO-QUÉBEC. 1997. *Assurance et contrôle de la qualité au laboratoire de radioprotection*. Rapport IREQ-97-224.
- INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE (IRSN). 2018. *Fiches radionucléides*. En ligne : http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/fiches-radionucleides/environnement/Documents/VF-Carbone%20C14%20-v2010_final.pdf. Consulté en mars 2019.
- INTERNATIONAL SAFETY RESEARCH (ISR). 2018. *Évaluation de la qualité et de l'intégration des données météorologiques de Bécancour sur l'estimation de doses à la population autour des installations nucléaires de Gentilly*. Rapport ISR 8035-01 - Révision 3.0. 51 p.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS (MDDEP). 2011. *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : cahier 3 – Échantillonnage des eaux souterraines*. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 60 p.
- NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS (NCRP). 1985. *Carbon-14 in the Environment*. NCRP Report N° 81.
- SHEPPARD, S.C., M.I. SHEPPARD et B. SANIPELLI. 2011. *Review of Environmental Radioactivity in Canada*. NWMO TR-2011. ECOMatters Inc. 105 p.

A Cartes et schéma

- Carte A-1 : Zone d'exclusion – Points de mesures et d'échantillonnage dans un rayon de 1 km
- Carte A-2 : Schéma du drainage pluvial et de surface au site des installations de Gentilly-2
- Carte A-3 : Points d'échantillonnage du suivi des eaux souterraines, de l'IGDRS et de l'ASDR
- Carte A-4 : Stations d'échantillonnage régionales et station de référence
- Carte A-5 : Points de mesure et d'échantillonnage autour de l'ASDR
- Carte A-6 : Points de mesure et d'échantillonnage à l'IGDRS et à l'ASSCI
- Carte A-7 : Points d'échantillonnage aquatique
- Figure A-1 : Schéma type d'un aménagement piézométrique







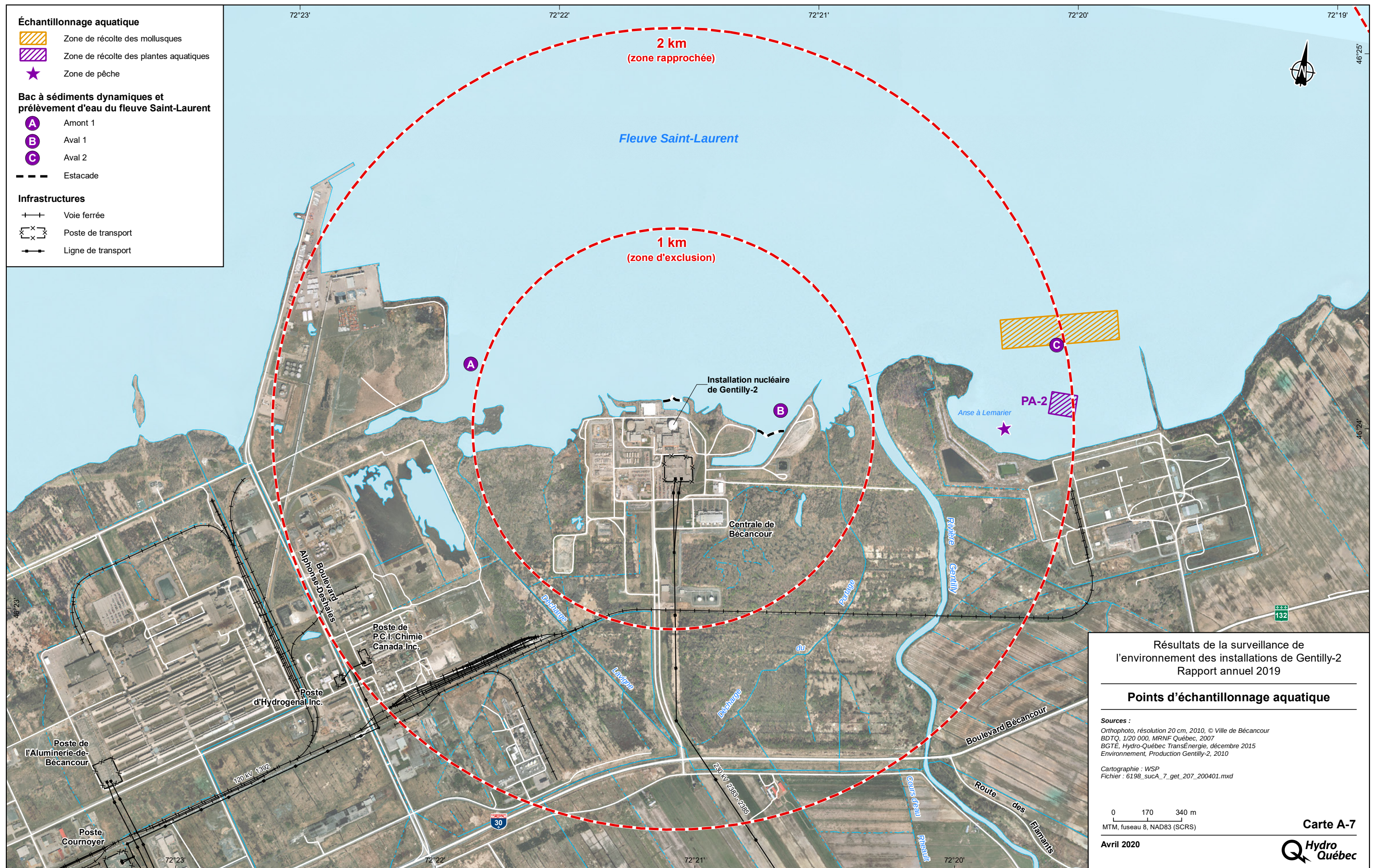
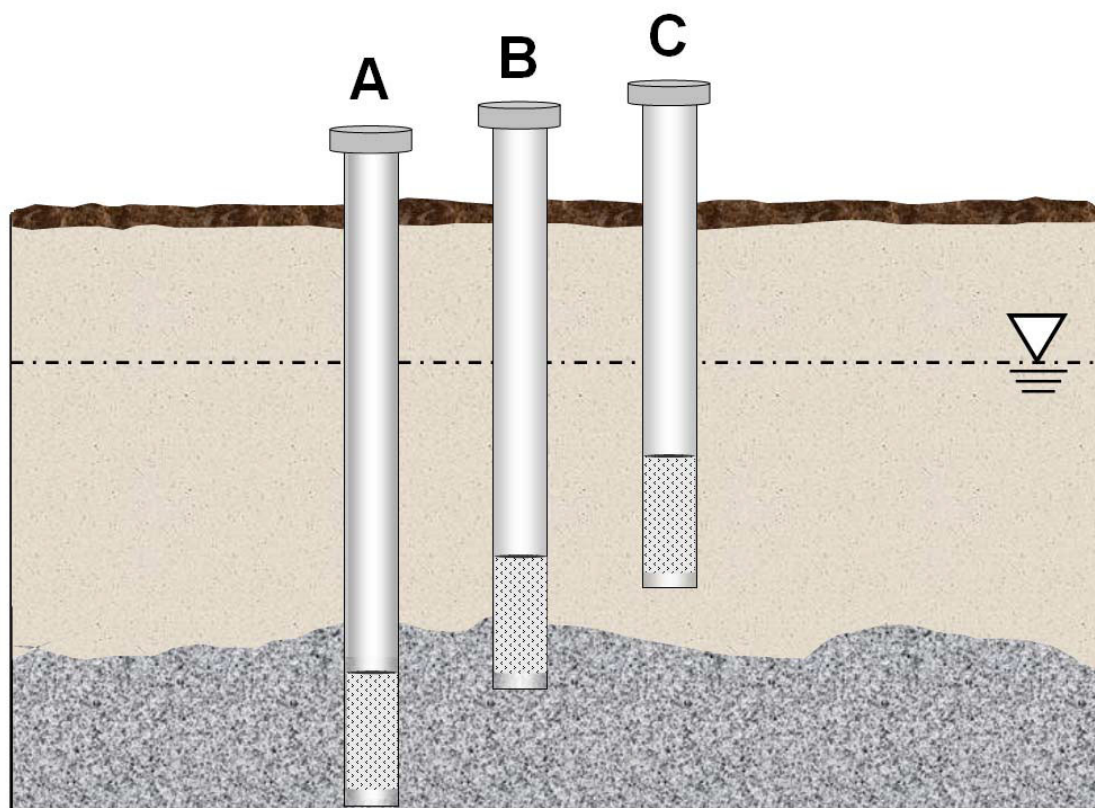


Figure A-1 : Schéma type d'un aménagement piézométrique



B PSE, PSRE et modalités d'échantillonnage et d'analyses

- B-1 Plan de surveillance de l'environnement (PSE) de Gentilly-2
- B-2 Plan de surveillance radiologique de l'environnement (PSRE) de Gentilly-2
- B-3 Modalités d'échantillonnage et d'analyses

Tableau B-1A : Plan de surveillance de l'environnement de l'année 2019 – Points de rejet

Point de rejet	Source	Paramètre	Mesure/Fréquence
EFFLUENT PROCÉDÉ Rejet intermittent via la conduite submergée dans le canal de rejet vers le fleuve	Rejet des effluents de récupération des eaux radioactives (79210) incluant le CRMC (78181) Lieu de prélèvement : Contenu d'un réservoir 7921 après agitation	HP C ₁₀ -C ₅₀	Instantanée (1/mois)
		Métaux extractibles totaux (Al, Cr, Cu, Pb, Zn)	
		pH	
		Toxicité aiguë	Instantanée (4/année)
AFFLUENT FINAL TRAITEMENT DES EAUX SANITAIRES Étang aéré (71730)	Eaux domestiques Lieu de prélèvement : Étang aéré	Débit (Q)	Journalière
		Coliformes fécaux ¹	Six (6) échantillons par année 3 jours consécutifs en janvier ou février et juillet ou août
		DBO ₅	
		DCO	
EFFLUENT FINAL TRAITEMENT DES EAUX SANITAIRES Rejet au fleuve Saint-Laurent (71730)	Eaux domestiques Lieu de prélèvement : Étang aéré	DBO ₅	Composé sur 24 h (fréquence 10 minutes) (1/mois)
		Phosphore total ¹	
		Coliformes fécaux ¹	
		H & G totales	
		Oxygène dissous (O ₂) ²	Instantanée (1/mois)
		Lentilles	Annuelle (automne)
		Boue	
SÉPARATEUR EAU-HUILE Sous-station électrique (MCH-1)	• Transformateur principal • Transformateurs auxiliaires La responsabilité du suivi et de l'entretien du séparateur eau-huile est partagée avec une autre division d'Hydro-Québec (TransÉnergie).	Hydrocarbures	Annuelle (épaisseur d'huile)

¹ Les analyses seront effectuées pour les mois de mai à octobre inclusivement.

² Le suivi de l'oxygène dissous est réalisé à tous les mois en période estivale lorsque deux (2) aérateurs au lieu de quatre (4) sont en fonction. Si le niveau d'oxygène dissous devenait inférieur à 2 ppm, les aérateurs devront être remis en fonction.

Tableau B-1A : Plan de surveillance de l'environnement de l'année 2019 – Points de rejet (suite)

Point de rejet	Source	Paramètre	Mesure/Fréquence
EFFLUENT FINAL PLUVIAL MCH-1 (15200) Canal de rejet (débit moyen : 74 m ³ /j)	- Séparateur eau-huile - Drainage souterrain – Bâtiments ESR et RUC - Drainage de toit - Bâtiment turbine (sauf partie nord-ouest) - Drainage extérieur sud-ouest - Puisard Bâtiment SF6 - Puisard Bâtiment RUC Lieu de prélèvement : Puisard MCH-1	HP C ₁₀ -C ₅₀	Instantanée (2/année) Fonte de la neige et automne
		MES	
		Cr	
		Pb	
		Fe	
		Chlorures	
EFFLUENT FINAL PLUVIAL MCH-2 (15200) Canal d'amenée (débit moyen : 644 m ³ /j)	- Drainage de toit - Bâtiments turbine partie nord-ouest, administratif, réacteur - Drainage extérieur nord-ouest - Puisard bâtiment administratif - Drainage non radioactif Lieu de prélèvement : Puisard MCH-2	HP C ₁₀ -C ₅₀	
		MES	
		Cr	
		Pb	
		Fe	
		Chlorures	
EFFLUENT FINAL PLUVIAL MCH-3 (15200) Canal de rejet (débit moyen : 349 m ³ /j)	- Drainage extérieur zone sud - Drainage non radioactif Lieu de prélèvement : Puisard MCH-3	HP C ₁₀ -C ₅₀	
		MES	
		Cr	
		Pb	
		Fe	
		Chlorures	
EFFLUENT FINAL PLUVIAL (IGDRS)	Échantillonnage automatisé	pH	Mensuel
		Conductivité	
		COT-CIT	

Tableau B-1B : Plan de surveillance de l'environnement de l'année 2019 – Eaux usées et eau potable

Rejet	Description de l'équipement de mesure	Vérification	
		Type	Fréquence
Effluent final de procédé (USI 79210)	Volume rejeté par réservoir	Volume rejeté par réservoir inscrit au journal des effluents disponible à la SCE ou au laboratoire de radioprotection.	s. o.
Affluent final traitement des eaux sanitaires	Mesure du débit Enregistreur d'événements	Le débit est estimé à partir du débit des pompes qui est fixe, d'un enregistreur d'événements et d'un logiciel.	1/jour
Effluent final traitement des eaux sanitaires	Équipement installé par une firme externe lors de la campagne de caractérisation	s. o.	s. o.
Distribution eau potable – Ville de Bécancour	Compteur d'eau Diamètre de la tuyauterie : 8 po	Le compteur d'eau appartient à la municipalité de Bécancour.	4/année (lecture du compteur)
Effluent final de procédé (USI 79210)	Volume rejeté par réservoir	Volume rejeté par réservoir inscrit au journal des effluents disponible à la SCE ou au laboratoire de radioprotection.	s. o.

Tableau B-1C : Plan de surveillance de l'environnement de l'année 2019 – Eaux souterraines

Lieu de prélèvement	Description	Paramètre ¹	Fréquence
P5	Piézomètres au nord de l'IGDRS près du fleuve	Conductivité ² HP C ₁₀ -C ₅₀ Métaux : Cd, Pb, Zn, Cr, Cu, Fe Anions : chlorure, sulfate pH Niveau d'eau (piézométrique)	2/année (instantanée) (printemps et automne)
P7	Piézomètres situés à proximité du fossé ouest de l'IGDRS		
P22	Piézomètres au sud de l'ASDR		
P31	Piézomètres à l'ouest de l'ASDR		
P36	Piézomètres au nord de l'ASDR		
PX PY	Piézomètres en périphérie de l'IGDRS		

¹ Le niveau piézométrique, la conductivité et le pH sont mesurés sur place (Voir : Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales – Cahier 3 – Échantillonnage des eaux souterraines).

² Sur une augmentation soudaine de la conductivité, une analyse approfondie des métaux (majeurs) et des anions sera réalisée. Les paramètres seront alors déterminés avec les représentants du MELCC.

Tableau B-2 : Plan de surveillance radiologique de l'environnement de l'année 2019

Item	Volet	Total	Matrice	Fréquence	Paramètre mesuré et nombre total d'échantillons prévus pour l'année					
					DTL	H-3	C-14	β total	Spectro γ	α total
1	Limites administratives : zone d'exclusion	112	Précipitations	Mensuelle	-	-	-	36	-	36
			Ambiance gamma	Trimestrielle	40	-	-	-	-	-
2	Ambiance gamma : zone éloignée, zone d'exclusion, ASDR, IGDRS, ASSCI	224	Ambiance gamma	Trimestrielle	188	-	-	-	-	-
				Semestrielle	36	-	-	-	-	-
3	Atmosphérique : zone éloignée, zone d'exclusion, ASDR, IGDRS	624	Tamis moléculaires	Mensuelle	-	288	-	-	-	-
			Solution KOH	Mensuelle	-	-	168	-	-	-
			Filtres d'aérosols	Mensuelle	-	-	-	168	-	-
4	Biotique et édaphique : fleuve Saint-Laurent, anse à Lemarier, fermes	59	Poissons	Mensuelle	-	6	6	-	6	-
			Plantes aquatiques	Annuelle	-	-	1	-	1	-
			Plantes fourragères	Annuelle	-	3	3	-	3	-
			Sédiments dynamiques	Quadrimestrielle	-	-	6	-	6	-
			Mollusques	Annuelle	-	-	2	-	2	-
			Sols arables	Annuelle	-	-	-	-	3	-
			Sols/dépôts	Annuelle	-	-	-	-	2	-
5	Produit de consommation : municipalité, fermes, producteurs locaux	66	Eau potable	Trimestrielle	-	16	-	-	-	-
			Lait frais	Mensuelle	-	24	-	-	12	-
			Eau d'érable	Annuelle	-	1	-	-	-	-
			Sirop d'érable	Annuelle	-	-	-	-	1	-
			Fruits et légumes	Annuelle	-	4	4	-	4	-

Tableau B-2 : Plan de surveillance radiologique de l'environnement de l'année 2019 (suite)

Item	Volet	Total	Matrice	Fréquence	Paramètre mesuré et nombre total d'échantillons prévus pour l'année					
					DTL	H-3	C-14	β total	Spectro γ	α total
6	Eaux souterraines : zone éloignée, ASDR, IGDRS, ASSCI	324	Horizon A	Semestrielle	-	36	-	8	a	-
			Horizon B	Trimestrielle	-	44	-	8	a	-
			Horizon C	Mensuelle	-	192	-	36	a	-
7	Eau de surface : ASDR, IGDRS, ASSCI	120	Eau surface	Mensuelle	-	60	-	60	a	-
8	Autres eaux : zone d'exclusion, fleuve Saint-Laurent, drainage pluvial, étang aéré	54	Fleuve Saint-Laurent (points B et C)	Quadrimestrielle	-	6	6	-	6	-
			Drainage pluvial (MCH-1 à 3)	Quadrimestrielle	-	9	9	-	9	-
			Étang aéré	Quadrimestrielle	-	3	3	-	3	-
9	Nappe captive : ASDR 4 piézomètres	24	Horizon A	Semestrielle à tous les ans	-	8	-	-	-	-
			Horizon B	Semestrielle à tous les ans	-	8	-	-	-	-
			Horizon C	Semestrielle à tous les ans	-	8	-	-	-	-
	Nappe captive : ASDR 10 piézomètres	60	Horizon A	Semestrielle aux trois ans	-	20	-	-	-	-
			Horizon B	Semestrielle aux trois ans	-	20	-	-	-	-
			Horizon C	Semestrielle aux trois ans	-	20	-	-	-	-

Tableau B-2 : Plan de surveillance radiologique de l'environnement de l'année 2019 (suite)

Item	Volet	Total	Matrice	Fréquence	Paramètre mesuré et nombre total d'échantillons prévus pour l'année					
					DTL	H-3	C-14	β total	Spectro γ	α total
10	Précipitations : zone d'exclusion, zone éloignée, IGDRS	264	Précipitations	Mensuelle	-	132	-	132	^a	-
11	Suivis internes : zone d'exclusion, zone éloignée, ASDR	132	Eau souterraine ASDR	Semestrielle	-	12	-		-	-
			Eau souterraine zone 2	Trimestrielle	-	24	-	24	^a	-
			Regards ASDR	Mensuelle	-	24	-	-	-	-
			Précipitations : dose	Mensuelle	-	24	-	24	^a	-
12	Seuil d'intervention : ASDR	8	Eau souterraine ASDR	Semestrielle	-	8	-	-	-	-
^a Au besoin sur déclencheur. Le déclencheur réfère à une valeur de β total spécifique à chaque matrice d'analyse.										

Tableau B-3A : Modalités d'échantillonnage et d'analyses : surveillance atmosphérique

Caractéristiques de la méthode	Échantillonnage et analyse
<i>Ambiance gamma</i>	
Dosimètres thermoluminescents (DTL)	Cristaux de fluorure de calcium dopés au dysprosium ($\text{CaF}_2[\text{Dy}]$). Cette technique permet d'obtenir un débit de dose moyen puisque les DTL sont laissés pour une longue période aux points d'échantillonnage.
Débitmètre d'ambiance gamma	Appareil servant à mesurer un débit de rayonnement en un point donné. Résultat immédiat obtenu par une lecture directe de l'appareil.
<i>Tritium atmosphérique</i>	
Tamis moléculaire	L'air est aspiré à l'aide d'une pompe dans une cellule contenant du tamis moléculaire. Le débit est contrôlé et modifié selon les saisons pour tenir compte de la variation d'humidité de l'air. Lors de l'échantillonnage, l'humidité de l'air est adsorbée sur le tamis moléculaire. Un intégrateur de volume permet de connaître le volume total d'air aspiré qui est utilisé pour les calculs d'activité volumique. L'échantillonnage est réalisé en continu sur une période d'un mois. La cellule est chauffée en laboratoire pour récupérer l'eau. L'eau recueillie est analysée par scintillation liquide.
<i>Carbone-14 atmosphérique</i>	
Méthode passive	Un bac de polyéthylène contenant de l'hydroxyde de potassium en solution est placé dans une station de contrôle. La solution basique permet de capter le CO_2 atmosphérique. Le bac est changé après un mois. L'échantillon est acidifié pour en extraire le CO_2 , qui est recueilli et concentré dans un cocktail scintillant ayant la propriété d'absorber le dioxyde de carbone. L'échantillon est analysé par scintillation liquide.
<i>Aérosols</i>	
L'analyse gamma est effectuée si l'activité β totale dépasse un certain seuil.	Les aérosols sont aspirés à l'aide d'une pompe et recueillis sur un filtre en fibre de verre. L'échantillonnage est fait en continu pendant un mois. Le débit d'échantillonnage est contrôlé. Le filtre est analysé à l'aide d'un compteur alpha bêta.

Tableau B-3B : Modalités d'échantillonnage et d'analyses : surveillance de la qualité de l'eau

Caractéristiques de la méthode	Échantillonnage et analyse
<i>Précipitations</i>	
Trois paramètres sont analysés dans les précipitations : • Tritium • Bêta totale • Gamma	Les précipitations sont recueillies à l'aide d'un montage d'une surface de 0,15 m². L'eau ou la neige recueillie est analysée par scintillation liquide. Toute l'eau (ou la neige) recueillie est évaporée sur une planchette pour être comptée à l'aide d'un compteur alpha bêta. La planchette est ensuite comptée par spectrométrie gamma sur GeHP (station de référence seulement).
<i>Eau potable</i>	
Tritium	L'eau potable est prélevée directement des robinets des résidences privées. L'eau recueillie est analysée par scintillation liquide.
<i>Eau de surface, d'infiltration et de la nappe phréatique</i>	
Trois paramètres sont analysés dans les précipitations : • Tritium • Bêta totale • Gamma	Des puits spécialement aménagés permettent de recueillir l'eau de surface, d'infiltration et de la nappe phréatique autour de l'ASSCI, de l'ASDR et à plusieurs autres endroits sur le site. De l'eau de surface est également prélevée à d'autres points de récolte, notamment dans le fleuve Saint-Laurent. L'eau recueillie est analysée par scintillation liquide. Un échantillon composite est évaporé sur une planchette et est analysé à l'aide d'un compteur alpha bêta. La planchette est analysée par spectrométrie gamma sur GeHP si l'activité bêta totale dépasse un certain seuil.

Tableau B-3C : Modalités d'échantillonnage et d'analyses : surveillance de la qualité des sols et des sédiments

Caractéristiques de la méthode	Échantillonnage et analyse
<i>Sol arable</i>	
Deux fois par année (généralement au printemps et à l'automne), des échantillons de sols sont prélevés dans les fermes qui font la culture de plantes fourragères. Deux paramètres sont analysés : • Tritium non lié (³H dans l'humidité du sol) • Gamma	Pour chaque séance d'échantillonnage, une dizaine de prélèvements de surface sont effectués. Ces prélèvements sont espacés de 4 à 5 m et la surface totale échantillonnée est d'environ 100 m². L'échantillon doit avoir un poids total d'environ 2 kg. Une extraction d'eau par lyophilisation est réalisée sur une fraction du sol frais. L'eau ainsi recueillie est analysée par scintillation liquide. Une fraction de l'échantillon de sol est séchée, puis placée dans un marinelli et analysée par spectrométrie gamma sur GeHP.
<i>Sédiments dynamiques</i>	
Les sédiments dynamiques sont les particules en suspension présentes dans l'eau du fleuve.	Les particules en suspension dans l'eau sont recueillies dans des bacs à sédimentation de 0,2 m² spécialement conçus à cet effet. Les sédiments sont accumulés pendant 4 à 6 semaines, trois fois par année. Les sédiments sont séchés et broyés. L'échantillon est mis dans un marinelli et analysé par spectrométrie gamma sur GeHP.

Tableau B-3D : Modalités d'échantillonnage et d'analyses : surveillance de la faune et de la flore

Caractéristiques de la méthode	Échantillonnage et analyse
<i>Poissons et mollusques</i>	
Les poissons et les mollusques sont pêchés à l'anse à Lemarier à environ 2 km en aval de l'installation nucléaire de Gentilly-2. Deux paramètres sont analysés : • Gamma • Carbone-14 organique	Les poissons sont pêchés à l'aide d'un filet. Les mollusques sont recueillis par dragage. Après avoir été mesurés et pesés, les poissons sont défaits en filets et réduits en purée. Une fraction de la chair est séchée pour faire l'analyse carbone-14. Une spectrométrie gamma sur GeHP est réalisée. Une combustion de l'échantillon préalablement séché est réalisée dans une bombe à oxygène. Le CO₂ formé lors de cette combustion est recueilli dans un cocktail scintillant. L'échantillon est ensuite analysé par scintillation liquide.
<i>Plantes fourragères</i>	
Les fermes échantillonnées sont celles qui participent au PSRE. Deux paramètres sont analysés : • Tritium non lié (³H dans l'eau des plantes) • Gamma	Les échantillons de fourrage sont prélevés annuellement en fin de saison lorsque les plantes sont prêtes pour l'ensilage. Une fraction de l'échantillon frais est utilisée pour faire une extraction d'eau par lyophilisation. L'eau est ensuite analysée par scintillation liquide. Une fraction de l'échantillon est séchée et broyée, puis placée dans un marinelli. Une spectrométrie gamma est réalisée sur GeHP.
<i>Plantes aquatiques</i>	
Les plantes aquatiques sont prélevées à l'anse à Lemarier en aval de l'installation nucléaire de Gentilly-2. Deux paramètres sont analysés : • Gamma • Carbone-14 organique	Les plantes aquatiques sont recueillies à la fin de l'été à l'aide d'un râteau. L'échantillon est séché, puis broyé. Une spectrométrie gamma est réalisée sur GeHP. Une combustion de l'échantillon préalablement séché est réalisée dans une bombe à oxygène. Le CO₂ formé lors de cette combustion est recueilli dans un cocktail scintillant. L'échantillon est ensuite analysé par scintillation liquide.

Tableau B-3E : Modalités d'échantillonnage et d'analyses : surveillance de la chaîne alimentaire

Caractéristiques de la méthode	Échantillonnage et analyse
<i>Légumes</i>	
Trois paramètres sont analysés : • Tritium non lié (³H dans l'eau des légumes) • Gamma • Carbone-14 organique	Les légumes ont été achetés chez des producteurs locaux. L'eau des légumes est extraite par lyophilisation, puis analysée par scintillation liquide. Les légumes sont séchés et broyés, puis une spectrométrie gamma sur GeHP est réalisée. Une combustion de l'échantillon préalablement séché est réalisée dans une bombe à oxygène. Le CO₂ formé lors de cette combustion est recueilli dans un cocktail scintillant. L'échantillon est ensuite analysé par scintillation liquide.
<i>Produits de l'érable</i>	
Les produits sont achetés à un producteur local.	Une spectrométrie gamma sur GeHP et une analyse par scintillation liquide sont réalisées.
<i>Lait</i>	
Deux paramètres sont analysés : • Tritium • Gamma	Les échantillons sont recueillis de façon hebdomadaire chez les producteurs. Le lait est analysé directement par scintillation liquide. Le lait est mis dans un marinelli et une spectrométrie sur GeHP est réalisée.

Tableau B-3F : Modalités d'échantillonnage et d'analyses : limites de détection des méthodes d'analyse

Méthode d'échantillonnage et d'analyse	Limite de détection (LD)
<i>Tritium</i>	
Tamis moléculaire – scintillation liquide	0,100 Bq m ⁻³
Scintillation liquide	6 Bq L ⁻¹
<i>Carbone-14</i>	
Échantillonnage passif – scintillation liquide	< 0,9 Bq g-C ⁻¹
Bombe à oxygène – scintillation liquide	< 0,9 Bq g-C ⁻¹
<i>Bêta totale</i>	
Filtres aérosols	9 x 10 ⁻⁵ Bq m ⁻³
Eau évaporée sur planchette	0,02 Bq L ⁻¹
Eau évaporée sur planchette (précipitations)	0,07 Bq m ⁻²
<i>Gamma</i> ¹	
Cartouches de charbon activé	2,4 x 10 ⁻² Bq cartouche ⁻¹
Sol et sédiments	0,3 Bq kg ⁻¹
Poissons et mollusques	2,6 Bq kg ⁻¹
Plantes fourragères et aquatiques	1,0 Bq kg ⁻¹
Légumes et sirop d'érable	0,3 Bq kg ⁻¹
Lait	0,1 Bq kg ⁻¹
1 Valeurs moyennes pour le Cs-137 (sauf pour les cartouches de charbon activé).	

C Aspect statistique des résultats

- Limite de détection

Les principes qui ont servi à rationaliser et uniformiser le traitement et l'expression des résultats de mesures radiologiques qui sont générés aux laboratoires de Radioprotection et de radioécologie et de Chimie sont décrits dans la norme N288.4-10 (Groupe CSA, 2010). En résumé, les conventions suivantes sont appliquées :

- La limite de détection (LD) est calculée de la façon suivante :

$$LD = 2,71 + 4,65 \sqrt{(BF)}$$

où BF est la valeur du bruit de fond

- Si le résultat net est supérieur à la LD ($N > LD$), la mesure permet de conclure à une détection et le résultat exprimé en coups est :

$$X = N \pm kSn$$

où kSn est la borne bilatérale de l'incertitude aléatoire de comptage attribuée à N

- Si le résultat net est inférieur à LD ($0 < N < LD$), la mesure ne permet pas de conclure à une détection et le résultat exprimé en coups est :

$$X < N$$

- À moins d'indication contraire, l'incertitude sur les mesures correspond à un niveau de confiance de 95 %.
- La LD constitue le niveau réel qui serait détecté lors de 95 % des mesures (Hydro-Québec, 1997).
- Les valeurs de la LD sont utilisées pour faire des moyennes si ces valeurs sont $< LD$.
- L'incertitude associée à une moyenne de résultats individuels est égale à la racine carrée de la sommation des carrés des erreurs relatives des résultats individuels.

D Programme d'intercomparaison

- Résultats du programme d'assurance qualité pour 2019
(filtres d'air, échantillons de sol, de végétaux et aqueux)

Tableau D-1A : Résultats du programme d'assurance qualité pour 2019 : intercomparaison ERA, filtres d'air (MRAD-31)

Analyses	Activité par filtre (pCi filtre ⁻¹)			
	G-2	ERA	Limites acceptées	G-2/ERA
α total	58,0	59,0	30,8 – 97,2	0,98
β total	67,0	57,6	34,9 – 87,0	1,16
²⁴¹ Am	32,0	32,0	22,8 – 42,7	1,00
¹³⁴ Cs	54,0	59,0	38,3 – 72,3	0,92
¹³⁷ Cs	524	437	359 – 573	1,20
⁶⁰ Co	66,0	58,4	49,6 – 74,2	1,13
⁵⁴ Mn	< 2,40	< 50,0	0,00 – 50	s. o.
²³⁸ U	32,0	27,3	20,6 – 32,6	1,17
⁶⁵ Zn	489	364	298 – 556	1,34
s. o. : Sans objet.				

Tableau D-1B : Résultats du programme d'assurance qualité pour 2019 : intercomparaison ERA, échantillons de sol (MRAD-31)

Analyses	Activité (pCi kg ⁻¹)			
	G-2	ERA	Limites acceptées	G-2/ERA
²²⁸ Ac	3 243	3 170	2 090 – 3 990	1,02
²⁴¹ Am	1 973	1 920	1 040 – 2 720	1,03
²¹² Bi	4 027	3 280	939 – 4 890	1,23
²¹⁴ Bi	1 392	1 330	638 – 1 980	1,05
¹³⁴ Cs	7 027	7 650	5 230 – 9 140	0,92
¹³⁷ Cs	1 351	1 230	930 – 1 560	1,10
⁶⁰ Co	4 189	3 710	2 920 – 4 580	1,13
²¹² Pb	3 459	3 350	2 340 – 4 240	1,03
²¹⁴ Pb	1 465	1 450	609 – 2 280	1,01
⁵⁴ Mn	< 19	< 1000	0,00 – 1 000	s. o.
⁴⁰ K	28 108	24 700	17 000 – 29 500	1,14
²³⁸ U	2 649	974	534 – 1 310	2,72
⁶⁵ Zn	3 297	2 690	2 150 – 3 670	1,23
s. o. : Sans objet.				
En gras : Valeur non comprise à l'intérieur des limites acceptées.				

Tableau D-1C : Résultats du programme d'assurance qualité pour 2019 : intercomparaison ERA, échantillons de végétaux (MRAD-31)

Analyses	Activité (pCi kg ⁻¹)			
	G-2	ERA	Limites acceptées	G-2/ERA
²⁴¹ Am	2 243	2 050	1 270 – 2 900	1,09
¹³⁴ Cs	1 919	2 210	1 470 – 2 940	0,87
¹³⁷ Cs	2 378	2 480	1 910 – 3 340	0,96
⁶⁰ Co	565	607	476 – 793	0,93
⁵⁴ Mn	< 46,0	< 300	0,00 – 300	s. o.
⁴⁰ K	38 378	39 300	29 500 – 49 800	0,98
²³⁸ U	3 135	3 135	2 320 – 4 110	1,00
⁶⁵ Zn	1 622	1 620	1 210 – 2 400	1,00
s. o. : Sans objet.				

Tableau D-1D : Résultats du programme d'assurance qualité pour 2019 : intercomparaison ERA, échantillons aqueux (MRAD-31)

Analyses	Activité (pCi L ⁻¹)			
	G-2	ERA	Limites acceptées	G-2/ERA
α total	64,0	124	45,3 – 171	0,52
β total	56,0	68,0	34,0 – 93,6	0,82
²⁴¹ Am	68,0	64,2	44,1 – 82,1	1,06
¹³⁴ Cs	1 730	1 960	1 480 – 2 160	0,88
¹³⁷ Cs	1 919	1 840	1 580 – 2 090	1,04
⁶⁰ Co	1 646	1 870	1 610 – 2 150	0,88
⁵⁴ Mn	< 13,0	< 100	0,00 – 100	s. o.
²³⁸ U	114	137	106 – 161	0,83
⁶⁵ Zn	1 568	1 370	1 220 – 1 730	1,14
³ H	21 162	22 300	16 800 – 27 100	0,95
s. o. : Sans objet.				