

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

Rapport annuel 2021

Rapport technique G2-RT-2022-00518-001

Version finale

Avril 2022

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

Document ☒ Public
☐ Non public
☐ Confidentiel

Rapport annuel 2021

Rapport technique G2-RT-2022-00518-001

Version finale

Avec la participation de WSP

Rédigé par :



Stéphan Chapdelaine

Environnement – Surveillance de Gentilly-2



Mélanie Garceau

Environnement – Surveillance de Gentilly-2

Approuvé par :



Annie Désilets

Cheffe Surveillance de Gentilly-2

Hydro-Québec



Patrice Desbiens

Directeur adjoint Installations de Gentilly-2 et services d'ateliers

Hydro-Québec

Hydro-Québec
Avril 2022

Sommaire

En vertu de la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires*, les activités qu'implique le déclassement d'une installation nucléaire sont réglementées 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 du suivi 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 toutes 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 qui, elles sont 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 physico-chimique et radiologique. Avant même leur déploiement, ils ont été entérinés 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 des installations. Selon les paramètres, ces analyses environnementales sont soit réalisées aux laboratoires d'Hydro-Québec ou soit par des laboratoires externes accrédités. Les différentes rubriques des plans de surveillance sont basées sur des aspects réglementés ou encore sur des constats issus d'études environnementales antérieures. Au gré de l'avancement de la préparation à la phase de stockage sous surveillance, leur adaptation permet notamment de retirer des éléments au fur et à mesure de la cessation de certaines activités au site de Gentilly-2 et du même coup de l'élimination des risques environnementaux associés.

Malgré la situation pandémique actuelle, l'année 2021 fut encore 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 l'inventaire de déchets radioactifs solides stockés au site. En 2021, pour les effluents gazeux, la valeur de la sommation annuelle de l'activité bêta totale aux aérosols fut en légère hausse alors que celles du tritium et du carbone-14 étaient en baisse marquée. À l'inverse, aux effluents liquides, la valeur de la sommation annuelle de l'activité bêta totale fut quant à elle en baisse marquée alors que celles du tritium et du carbone-14 étaient plutôt en hausse.

Par ailleurs, toutes les quantifications de radioactivité aux rejets de l'année 2021 sont demeurées en deçà d'une valeur équivalente à un dixième d'un 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 0,063 % LOD (tritium), sur une base hebdomadaire, alors que pour les rejets liquides, l'activité radiologique maximale fut plutôt équivalente à 0,041 % LOD (tritium), mais cette fois sur une base mensuelle.

En 2021, Hydro-Québec a aussi complété 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 concentrations de tritium qui elles pouvaient être liées aux activités de gestion de barils, ou encore de rinçage de réservoirs ou de conduites, ayant tous contenu de l'eau lourde auparavant. Des activités de transfert ou de traitement d'eau lourde, sous abris radiologiques ventilés, ont aussi eu un impact sur les rejets. Ces variations étaient anticipées, comme elles sont inhérentes aux processus menés à la préparation de la phase de stockage sous surveillance de Gentilly-2.

La consommation d'eau potable au site des installations de Gentilly-2 fut encore en baisse au cours de l'année 2021 par rapport à l'année précédente. La consommation d'eau de procédé fut quant à elle comparable. Finalement, l'estimation de dose annuelle de rayonnements induite aux membres représentatifs de la population la plus exposée, à proximité des installations de Gentilly-2, a été quantifiée à 1 μSv en 2021. Cette estimation correspond à un dixième d'un pour cent de la limite fixée par la CCSN pour une dose efficace délivrée à la population, soit une dose de 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 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 et services d'ateliers :

Patrice Desbiens	Directeur adjoint
Annie Désilets	Cheffe Surveillance
Alain Gosselin	Chef Maintenance

Hydro-Québec Communications, affaires gouvernementales et autochtones :

Cynthia Rivard	Conseillère Relations avec le milieu
Patrick Frigon	Chef Relations avec les autochtones
Francis Labbé	Conseiller stratégique – Communication d'entreprise

Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) :

Division des déchets et du déclassement

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

Adresse courriel générique	Contrôle industriel – bureaux de Nicolet
----------------------------	--

Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) :

Catalin Obreja	Agent de programme nucléaire
----------------	------------------------------

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 physico-chimique	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
4.4	Réhabilitation de digues.....	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	Rejets 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.....	8-11
8.2.3	Carbone-14	8-20
8.2.4	Aérosols.....	8-24
8.3	Surveillance de l'eau.....	8-27

8.3.1	Précipitations	8-28
8.3.2	Eaux d'infiltration.....	8-36
8.3.3	Eaux souterraines.....	8-39
8.3.4	Eau potable	8-42
8.4	Surveillance des sols et des sédiments	8-42
8.4.1	Sols arables	8-43
8.4.2	Sédiments dynamiques	8-43
8.5	Surveillance de la faune et de la flore	8-45
8.5.1	Plantes fourragères.....	8-45
8.5.2	Plantes aquatiques.....	8-45
8.5.3	Mollusques.....	8-46
8.5.4	Poissons	8-47
8.6	Surveillance des produits comestibles.....	8-52
8.7	Données météorologiques	8-53
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 2021	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 2021	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 2021	2-6
Tableau 2-4 :	Principales limites de rejets radioactifs liquides à l'installation nucléaire de Gentilly-2 en 2021	2-8
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 2021	2-12
Tableau 2-6 :	Activité des principaux radionucléides dans les systèmes de drainage pluvial des installations de Gentilly-2 pour l'année 2021	2-14
Tableau 3-1 :	Quantité de produits pétroliers consommés aux installations de Gentilly-2 pour la période 2018-2021	3-1
Tableau 3-2 :	Résultats d'analyses physico-chimiques des réservoirs de récupération des eaux radioactives de l'installation nucléaire de Gentilly-2 pour l'année 2021	3-3
Tableau 3-3 :	Résultats d'analyses physico-chimiques de l'effluent du système de traitement des eaux usées sanitaires des installations de Gentilly-2 pour l'année 2021	3-4
Tableau 3-4 :	Résultats d'analyses physico-chimiques de l'effluent des systèmes de drainage pluvial des installations de Gentilly-2 pour l'année 2021	3-4
Tableau 4-1 :	Résultats d'analyses physico-chimiques des eaux souterraines prélevées au pourtour des installations de déchets radioactifs de Gentilly-2 pour l'année 2021	4-2
Tableau 4-2 :	Mesures des niveaux piézométriques aux installations de Gentilly-2 pour l'année 2021	4-2
Tableau 4-3 :	Consommation de produits chimiques aux installations de Gentilly-2 pour l'année 2021	4-3
Tableau 6-1 :	Quantité de matières dangereuses résiduelles générées aux installations de Gentilly-2 pour l'année 2021	6-1

Tableau 6-2 :	Quantité de matières résiduelles recyclées ou éliminées aux installations de Gentilly-2 pour l'année 2021	6-2
Tableau 7-1 :	Quantité de produit liquide rejeté accidentellement dans l'environnement aux installations de Gentilly-2 pour l'année 2021	7-1
Tableau 8-1 :	Radioactivité maximale mesurée dans les échantillons de sols arables prélevés aux trois fermes collaborant au PSRE pour l'année 2021	8-43
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 2021	8-44
Tableau 8-3 :	Radioactivité mesurée dans les plantes aquatiques récoltées dans le fleuve Saint-Laurent à la station PA2 en 2021	8-46
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 2021	8-47
Tableau 8-5 :	Espèces de poissons pêchés à l'anse à Lemarier et concentrations des radionucléides mesurées en 2021	8-48
Tableau 9-1 :	Dose annuelle de rayonnements aux membres du groupe le plus représentatif de la population en 2021 (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 2021	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 2021	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 2021	2-4
Figure 2-4 :	Rejets radioactifs gazeux annuels de l'installation nucléaire de Gentilly-2 exprimés en % LOD pour la période 2001-2021	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 2021	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 2021	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 2021	2-11
Figure 2-8 :	Rejets radioactifs liquides annuels de l'installation nucléaire de Gentilly-2 exprimés en % LOD pour la période 2001-2021	2-13

Figure 5-1 :	Consommation d'eau de procédé aux installations de Gentilly-2 pour la période 2013-2021	5-1
Figure 5-2 :	Consommation d'eau potable aux installations de Gentilly-2 pour la période 2013-2021	5-2
Figure 6-1 :	Biomasse captée à la station de pompage des installations de Gentilly-2 pour la période 2013-2021	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 2021.....	8-3
Figure 8-2 :	Dose annuelle gamma aux stations de contrôle SCR-3, 6, 7, 8, 10, 11 et 12 (zone rapprochée) et à la station de référence pour la période 2017-2021	8-4
Figure 8-3 :	Ambiance gamma trimestrielle au périmètre sécurisé de l'installation pour l'année 2021	8-5
Figure 8-4 :	Dose annuelle gamma au périmètre sécurisé de l'installation pour la période 2017-2021	8-5
Figure 8-5 :	Ambiance gamma trimestrielle à la clôture de l'ASDR pour l'année 2021.....	8-6
Figure 8-6 :	Dose annuelle gamma à la clôture de l'ASDR pour la période 2017-2021	8-7
Figure 8-7 :	Ambiance gamma trimestrielle à la clôture de l'IGDRS pour l'année 2021.....	8-8
Figure 8-8 :	Dose annuelle gamma à la clôture de l'IGDRS pour la période 2017-2021	8-9
Figure 8-9 :	Ambiance gamma trimestrielle à la clôture de l'ASSCI pour l'année 2021.....	8-10
Figure 8-10 :	Dose annuelle gamma à la clôture de l'ASSCI pour la période 2017-2021	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 2021	8-12
Figure 8-12 :	Activité annuelle moyenne en tritium atmosphérique aux stations Poste-1, Poste-2, SCR-6 à SCR-8 et SCR-10 à SCR-12 (zone d'exclusion) pour la période 2017-2021	8-13
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 2021.....	8-14
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 2017-2021	8-15
Figure 8-15 :	Activité mensuelle en tritium atmosphérique à l'IGDRS pour l'année 2021.....	8-16
Figure 8-16 :	Activité annuelle moyenne de tritium atmosphérique à l'IGDRS pour la période 2017-2021	8-17

Figure 8-17 :	Activité mensuelle en tritium atmosphérique à l'ASDR pour l'année 2021	8-18
Figure 8-18 :	Activité annuelle moyenne de tritium atmosphérique à l'ASDR pour la période 2017-2021.....	8-19
Figure 8-19 :	Activité mensuelle en carbone-14 atmosphérique aux stations Sud-1, SCR-3 à SCR-5, SCR-7, SCR-8, SCR-12 (zone rapprochée) et à la station de référence pour l'année 2021	8-21
Figure 8-20 :	Activité annuelle moyenne en carbone-14 atmosphérique aux stations Sud-1, SCR-3 à SCR-5, SCR-7, SCR-8 et SCR-12 (zone rapprochée) et à la station de référence pour la période 2017-2021.....	8-22
Figure 8-21 :	Activité mensuelle en carbone-14 atmosphérique à l'IGDRS, à l'ASDR et à la station de référence pour l'année 2021	8-23
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 2017-2021	8-24
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 2021	8-25
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 2021.....	8-26
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 2021	8-26
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 2021	8-28
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 2021	8-30
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 2021	8-31
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 2021	8-32
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 2021	8-33
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 2017-2021	8-34
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 2021	8-35
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 2021	8-37

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 2017-2021	8-38
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 2021	8-39
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 2021	8-40
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 2017-2021	8-41
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 2021	8-42
Figure 8-39 :	Représentation simplifiée du flux de carbone-14 dans le milieu aquatique à proximité des installations de Gentilly-2	8-50
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 2014-2021	8-51
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 2021)	8-51
Figure 8-42 :	Rose de l'origine des vents au site instrumenté du MELCC à Bécancour pour l'année 2021	8-55
Figure 8-43 :	Rose de l'origine des vents au site des installations de Gentilly-2 pour la période 2013-2017	8-56
Figure 8-44 :	Facteurs moyens de dispersion du tritium atmosphérique des relâches des installations de Gentilly-2 pour la période 2017-2021	8-58
Figure 9-1 :	Dose annuelle de rayonnements estimée pour un membre représentatif de la population liée au déclassement des installations de Gentilly-2 pour la période 2013-2021	9-4
Figure 9-2 :	Comparaison de doses de rayonnements typiques pouvant affecter la population canadienne	9-5

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, réacteur de conception canadienne
CANSTOR	CANDU STOR age, module de stockage à sec du combustible irradié
CCSN	C ommission C anadienne de S ûreté N ucléaire
CRMC	C entre de R écupération des 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, organisme de certification
ÉRE	É valuation de R isques E nvironnementaux
ESR	E au de S ervice R ecirculée
ESRU	E nceinte de S tockage de R ésines U sées
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, progiciel de modélisation et de transfert environnemental
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
MFFP	M inistère des F orêts, de la F aune et des P arcs
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 OCUMENT, document d'application de la réglementation
RMCQ	R éseau M étéorologique C oopératif du Q uébec
RSNAR	R èglement sur les S ubstances N ucléaires et les A ppareils à R ayonnement
SCR	S tation de C ontrôle R adiologique
SMS	S urface W ater M odeling S ystem, modèle d'écoulement hydraulique
Spectro γ	Spectrométrie gamma
α total	Rayonnement alpha total
β total	Rayonnement bêta total

1 Introduction

En marge du déclassé des activités nucléaires autorisées en cours aux installations de Gentilly-2 à Bécancour, Hydro-Québec assume une surveillance environnementale au site même des installations, ainsi que dans les régions environnantes. Le rapport intitulé *Résultats de la surveillance de l'environnement des installations de Gentilly-2* (G2-RT-2022-00518-001) 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 2021, regroupant à la fois les résultats d'analyses physico-chimiques et radiologiques. Il collige aussi des intrants relatifs à d'autres engagements réglementaires auxquels Hydro-Québec doit toujours se soumettre.

Conformément aux prescriptions de l'actuelle version de son *Permis de déclassé d'un réacteur de puissance* (PDRP 10.00/2026), et du *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*.

En 2017, après avoir dûment transmis aux organismes réglementaires la version initiale 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 du document (Hydro-Québec, 2017a). Cette version adaptée considérait notamment l'abandon du lieu autorisé d'élimination des neiges usées et l'évolution du terme source statuant sur la nature, la quantité et la cinétique des rejets radioactifs de l'installation nucléaire en condition normale. En 2020, les versions 1.1 et 1.2 ont par la suite été produites et appliquées. Elles considéraient spécifiquement le retrait des déchets de plusieurs fosses de la plus ancienne installation de stockage de déchets. En avril 2021, la version 1.3 a aussi été produite et partagée à la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN). Cette dernière stipulait notamment la réduction de la surveillance du carbone-14 atmosphérique à certaines stations de contrôle. À la demande des spécialistes de la CCSN, en août 2021, les instruments de mesure étaient cependant remis en opération, de façon continue, et ce, jusqu'à nouvel ordre.

Les principaux objectifs du PSRE appliqué à Gentilly-2 en 2021 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 déclassé 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 et à la population que les impacts environnementaux sont connus, mesurés et en deçà des limites et seuils fixés au permis et à la réglementation en vigueur.

En 2018, Hydro-Québec transmettait aussi 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 physico-chimiques de l'environnement. Sa mise en application fut également en 2018.

Tous les changements de cette révision 4 du PSE avaient 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 permis la 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 2021 sont :

- d'effectuer le contrôle de la qualité physico-chimique des effluents liquides des installations de Gentilly-2 ;
- de s'assurer de la qualité physico-chimique des eaux de surface, d'infiltration et souterraines du site des installations de Gentilly-2 ;
- de démontrer aux organismes réglementaires et à la population que les impacts environnementaux liés à la qualité physico-chimique des rejets sont connus, mesurés et demeurent en deçà des cibles, 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 2021 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 physico-chimique 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 rejets 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 à proximité des installations de Gentilly-2 (chapitre 9). Enfin suivent les résultats de l'exercice d'intercomparaison 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 2021 (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 2021.

2.1 Effluents gazeux

En phase finale de préparation au stockage sous surveillance, l'installation nucléaire de Gentilly-2 demeure encore 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'énergie 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, spécifiquement associées aux effluents radiologiques, sont en partie exprimées en fonction des limites de rejets préalablement autorisées par la 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 ainsi 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 (1 000 µSv) par année. Les limites de rejet, spécifiques à chaque radionucléide, constituent les limites opérationnelles dérivées (LOD), valeurs distinctes qui figurent au permis de chacune des installations nucléaires canadiennes, en respect de la réglementation fédérale.

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 2021 pour les rejets gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2, ont toutes été déterminées en conformité à la norme N288.1-14 du Groupe CSA (*Guide de calcul des limites opérationnelles dérivées de matières radioactives dans les effluents gazeux et liquides durant l'exploitation normale des installations nucléaires*; Groupe CSA, 2014).

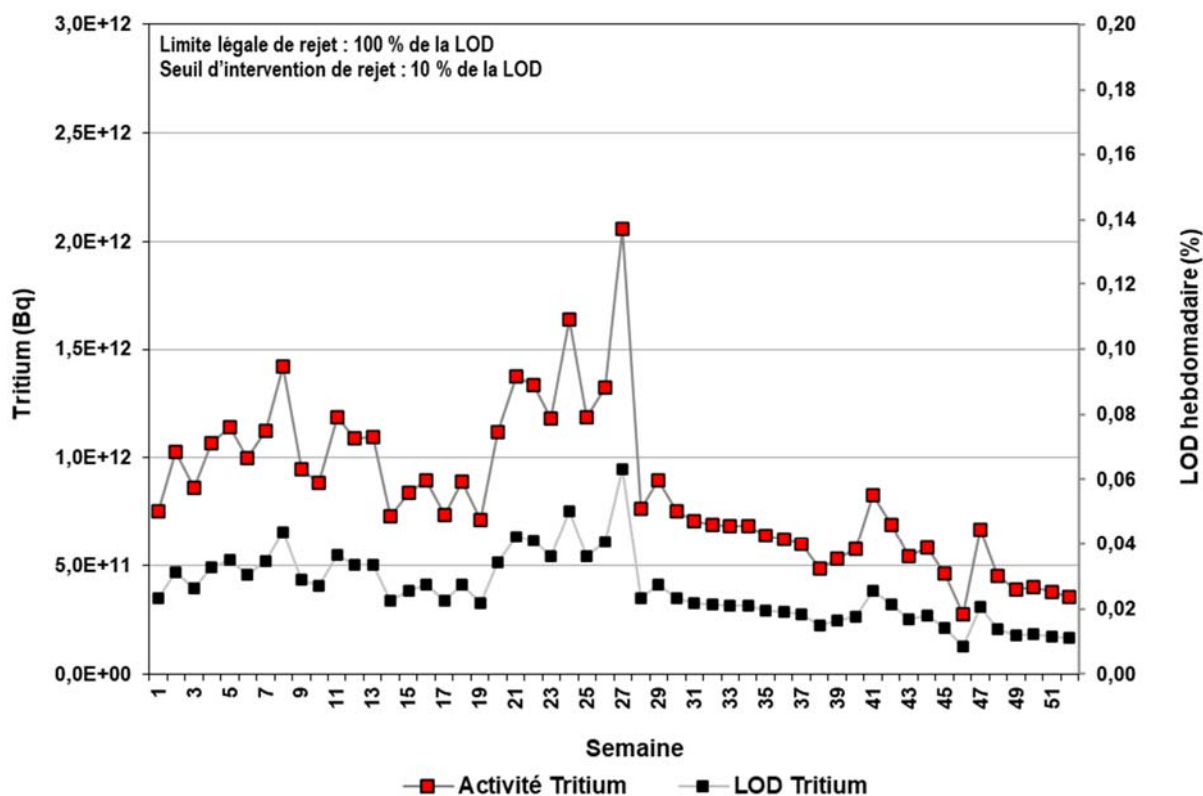
Les radionucléides les plus susceptibles d'être présents dans les émissions gazeuses à la cheminée principale, à la suite d'une interruption prolongée de l'exploitation d'un réacteur CANDU, sont détaillés au tableau 2-1. Les LOD correspondantes, propres à l'installation nucléaire de Gentilly-2, y figurent également. La longue absence d'un flux neutronique au cœur du réacteur, situation qui perdure depuis l'année 2012, amène une réduction significative des possibilités d'émissions pour certains radionucléides. À cet égard, 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 principale.

Tableau 2-1 : Principales limites de rejets radioactifs gazeux à l'installation nucléaire de Gentilly-2 en 2021

Radionucléides	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 2021. 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.

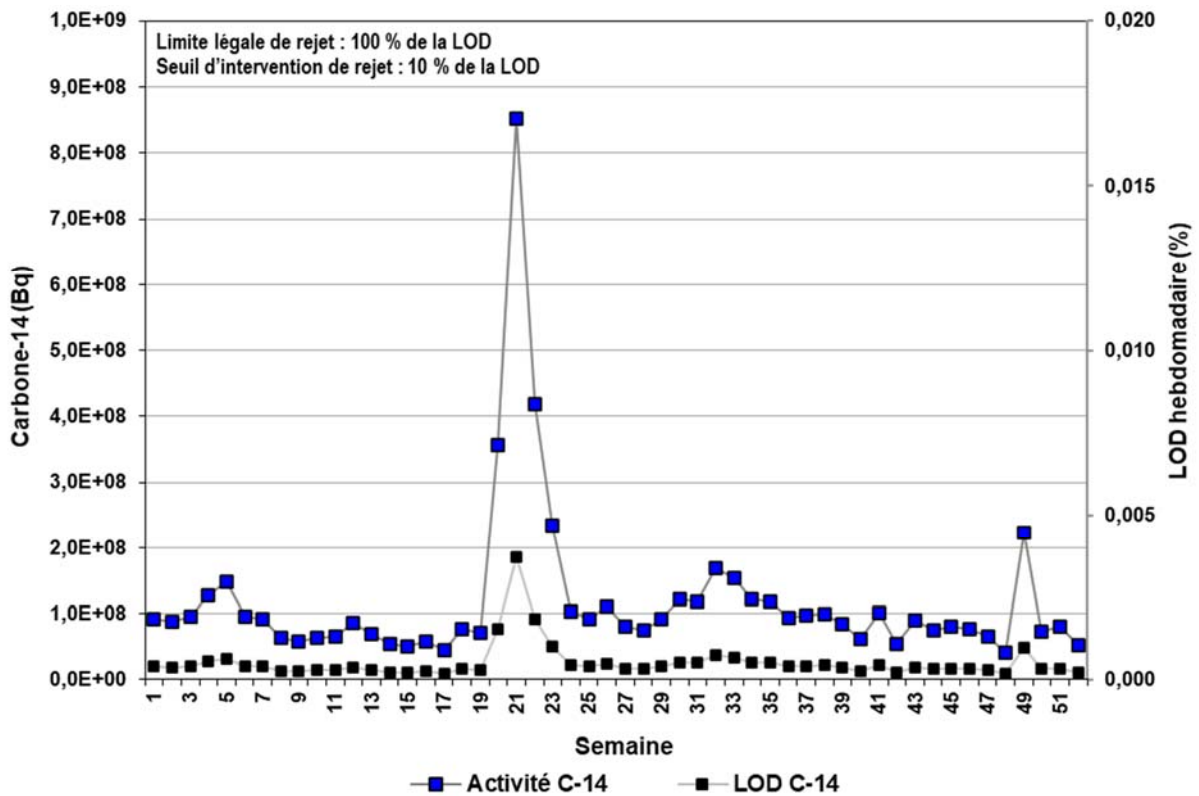
Figure 2-1 : Présence de tritium aux rejets gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2, exprimée en % LOD et en activité sur une base hebdomadaire pour l'année 2021



L'activité hebdomadaire maximale de tritium, équivalente à 0,063 % LOD, a été mesurée à la 27^e semaine de l'année 2021. Au premier trimestre de l'année 2021, les variations des taux d'émissions de tritium à la cheminée ont principalement été tributaires de l'ouverture de barils de chiffons contaminés au chantier de traitement.

Par la suite, c'est plutôt le fonctionnement du système d'évacuation d'air des abris de confinement servant à des manipulations d'eau lourde et à d'autres activités au centre de décontamination des installations de Gentilly-2 qui a fait varier les taux de rejets en tritium gazeux. Aussi, certaines conditions environnementales, relatives à la pression atmosphérique ou au taux d'humidité de l'air ambiant, peuvent être à la source de rejets momentanément plus élevés, émanant de systèmes nucléaires mis à l'arrêt, et placés dans des conditions d'ouverture à l'atmosphère.

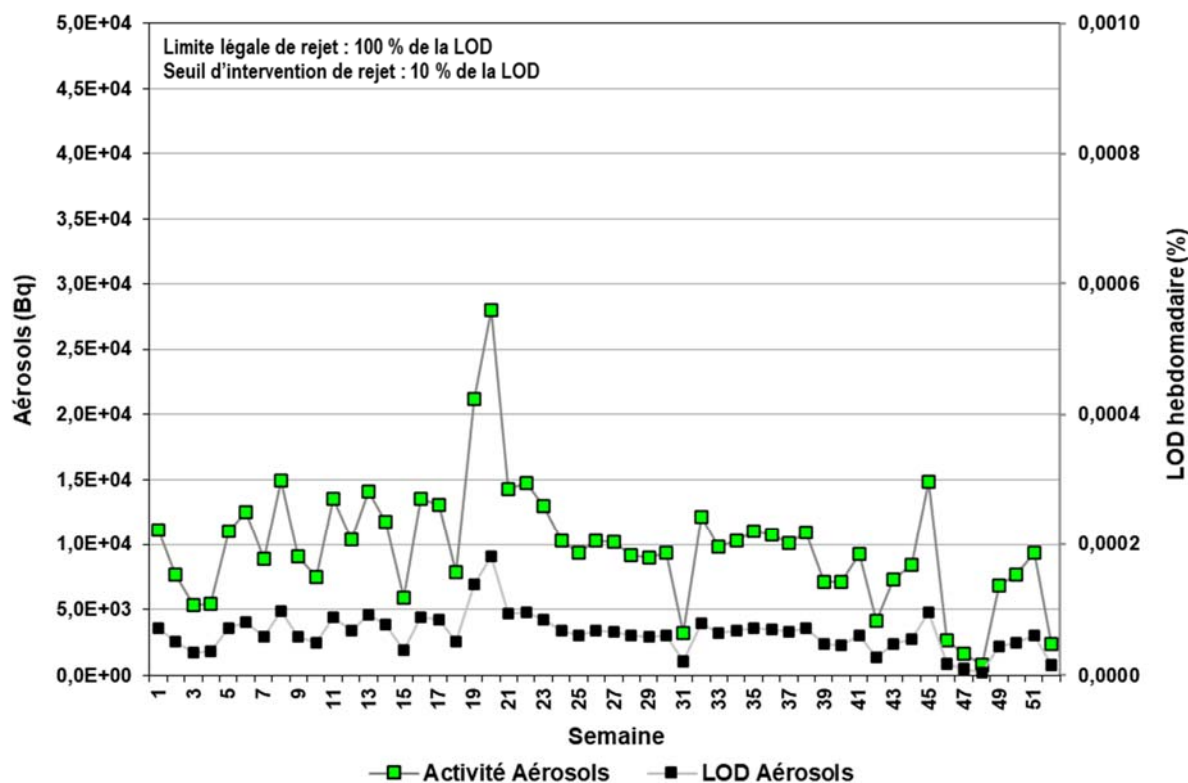
Figure 2-2 : Présence de carbone-14 aux rejets gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2, exprimée en % LOD et en activité sur une base hebdomadaire pour l'année 2021



La troisième et dernière phase de gestion des résines usées échangeuses d'ions ayant été achevée en 2017, cette importante source de carbone-14 n'était donc plus sujette à influencer les effluents radioactifs en 2021. L'activité de carbone-14 aux effluents gazeux de l'installation nucléaire de Gentilly-2 y a donc été très faible, comme il était anticipé. L'activité hebdomadaire maximale de carbone-14 observée en 2021 fut ainsi de 0,004 % LOD, et a été mesurée à la 21^e semaine.

Le profil des valeurs hebdomadaires d'émissions de carbone-14 relevées tout au long de l'année 2021 ne laisse plus présager de changements importants qui seraient causés par des activités toujours en cours ou par l'état actuel des systèmes en arrêt définitif.

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 2021



L'activité bêta totale mesurée aux aérosols filtrés a encore été minimale tout au long de l'année 2021. La sommation hebdomadaire maximale, qui fut égale à une valeur équivalente à près de deux dix-millièmes de pour cent LOD (0,00018 % LOD), fut mesurée à la 20^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 bien en deçà d'un ratio équivalent à un dixième d'un pour cent LOD (0,1 % LOD), et ce, tout au long de l'année 2021. Depuis plusieurs années, les deux principaux systèmes nucléaires (caloporteur et modérateur) sont drainés alors que les quantités d'eau lourde étaient toutes stockées sécuritairement, voire transférées hors du site pour la majorité.

Les tableaux 2-2 et 2-3 présentent, par semestre, les valeurs d'activité hebdomadaires pour les radionucléides ou indice de radioactivité d'intérêt aux rejets gazeux en 2021.

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 2021

Semaine	Tritium (Bq)	Aérosols (Bq)	Carbone-14 (Bq)
1	7,54E+11	1,11E+04	9,24E+07
2	1,03E+12	7,72E+03	8,78E+07
3	8,64E+11	5,36E+03	9,63E+07
4	1,07E+12	5,48E+03	1,27E+08
5	1,14E+12	1,10E+04	1,48E+08
6	1,00E+12	1,25E+04	9,54E+07
7	1,13E+12	8,89E+03	9,16E+07
8	1,42E+12	1,50E+04	6,35E+07
9	9,48E+11	9,09E+03	5,75E+07
10	8,84E+11	7,45E+03	6,43E+07
11	1,19E+12	1,36E+04	6,62E+07
12	1,09E+12	1,04E+04	8,61E+07
13	1,10E+12	1,41E+04	6,93E+07
14	7,30E+11	1,18E+04	5,43E+07
15	8,40E+11	5,93E+03	5,08E+07
16	8,97E+11	1,36E+04	5,71E+07
17	7,38E+11	1,31E+04	4,40E+07
18	8,91E+11	7,90E+03	7,76E+07
19	7,13E+11	2,12E+04	7,06E+07
20	1,12E+12	2,79E+04	3,57E+08
21	1,37E+12	1,43E+04	8,52E+08
22	1,34E+12	1,47E+04	4,19E+08
23	1,18E+12	1,30E+04	2,34E+08
24	1,64E+12	1,03E+04	1,02E+08
25	1,18E+12	9,39E+03	9,24E+07
26	1,33E+12	1,03E+04	1,11E+08
Gras Valeur hebdomadaire maximale pour l'année 2021			

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 2021

Semaine	Tritium (Bq)	Aérosols (Bq)	Carbone-14 (Bq)
27	2,06E+12	1,02E+04	8,03E+07
28	7,65E+11	9,21E+03	7,53E+07
29	8,95E+11	8,95E+03	9,22E+07
30	7,55E+11	9,32E+03	1,22E+08
31	7,10E+11	3,19E+03	1,19E+08
32	6,93E+11	1,21E+04	1,69E+08
33	6,87E+11	9,84E+03	1,55E+08
34	6,84E+11	1,03E+04	1,22E+08
35	6,41E+11	1,11E+04	1,19E+08
36	6,22E+11	1,07E+04	9,30E+07
37	5,99E+11	1,01E+04	9,67E+07
38	4,84E+11	1,09E+04	9,94E+07
39	5,32E+11	7,15E+03	8,50E+07
40	5,76E+11	7,11E+03	6,24E+07
41	8,31E+11	9,23E+03	1,02E+08
42	6,94E+11	4,12E+03	5,38E+07
43	5,46E+11	7,33E+03	8,97E+07
44	5,81E+11	8,39E+03	7,50E+07
45	4,66E+11	1,48E+04	7,96E+07
46	2,76E+11	2,67E+03	7,61E+07
47	6,67E+11	1,67E+03	6,63E+07
48	4,52E+11	7,84E+02	4,17E+07
49	3,88E+11	6,82E+03	2,24E+08
50	4,01E+11	7,68E+03	7,39E+07
51	3,78E+11	9,37E+03	8,04E+07
52	3,57E+11	2,39E+03	5,21E+07
Gras Valeur hebdomadaire maximale pour l'année 2021			

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. 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 diminution de 45,3 % en 2021. La diminution liée au carbone-14 a quant à elle été de 24,5 %. Finalement, l'activité annuelle liée aux aérosols radioactifs a plutôt été en hausse de l'ordre de 14,2 % toujours en comparaison à l'année 2020.

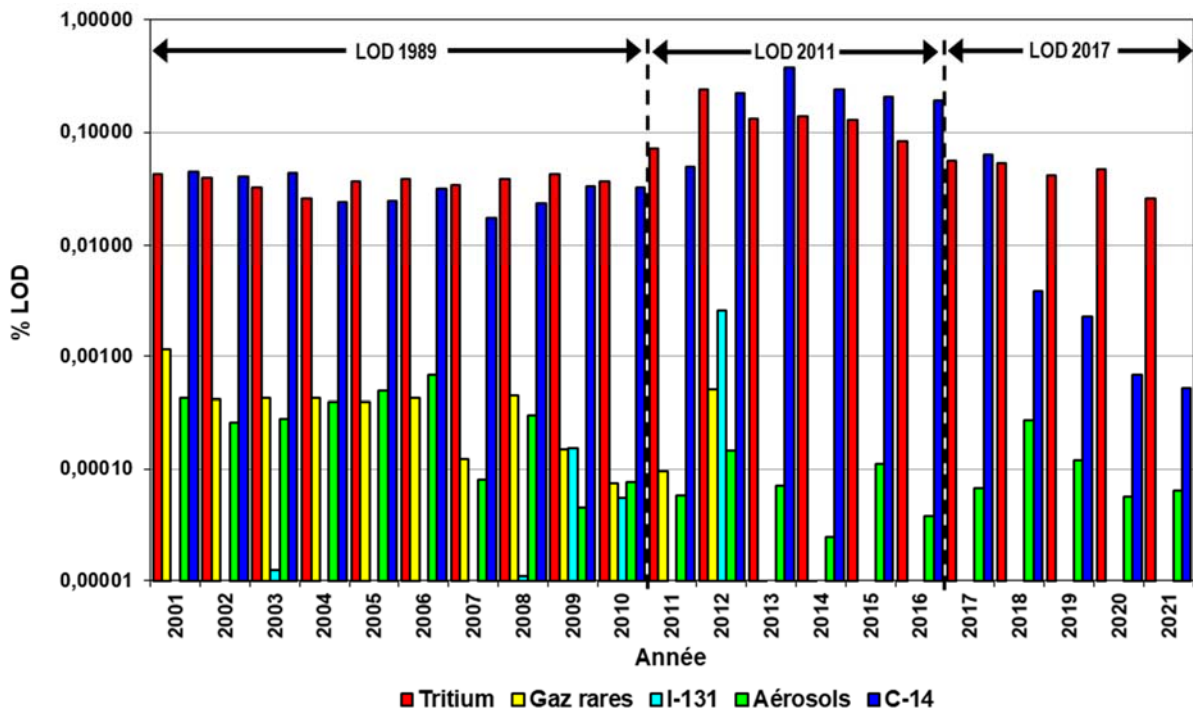
Une mise en garde doit toujours être précisée, à l'effet que la figure 2-4 doive être interprétée en tenant compte des séries de changement de LOD aux effluents gazeux, d'abord modifiées en juin 2011, puis en juillet 2017. Ces modifications expliquent,

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 ces changements. Des modifications aux valeurs de LOD peuvent parfois laisser présumer une variation amplifiée, ou même une inversion de tendance par rapport aux valeurs absolues, pour une analyse 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 2021 fut de 4,43E+13 Bq pour le tritium, de 6,17E+09 Bq pour le carbone-14 et de 5,10E+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 2001-2021



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

2.2 Effluents liquides

Outre celui que composent les rejets radioactifs, le principal effluent liquide des installations de Gentilly-2 était, en 2021, celui de l'eau brute d'alimentation (EBA), qui est toujours rejetée via les conduites d'évacuation de l'eau de circulation (EDC). S'ajoutent aussi celui de l'eau transitant à l'étang aéré d'épuration des eaux usées sanitaires ainsi que ceux 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 2018, tout débit d'eau brute de refroidissement (EBR) avait été définitivement interrompu puisque les pompes de ce système, jusqu'alors nécessaires à la dispersion des effluents, avaient toutes 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 toute production d'énergie. Les quelques variations d'activité radiologique aux rejets liquides, documentées pour l'année 2021, sont aussi attribuées à la réalisation d'étapes préalables à la phase de stockage sous surveillance.

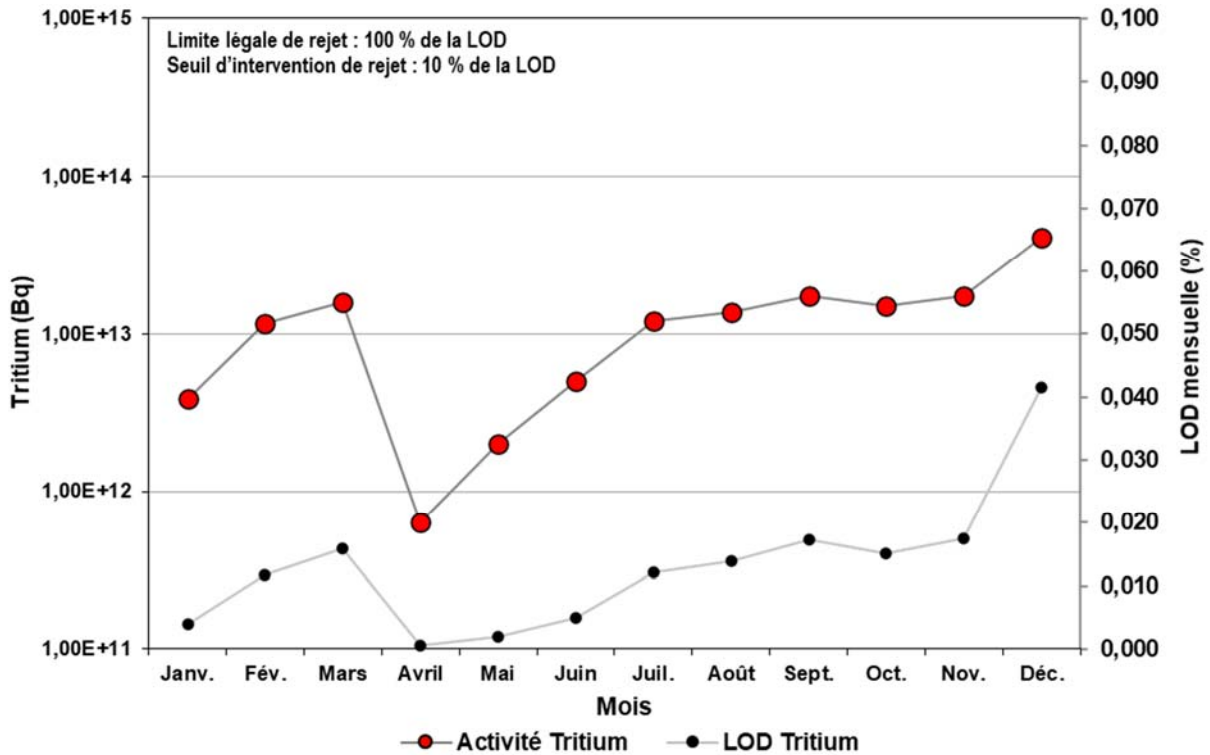
Les principaux radionucléides susceptibles d'être retrouvés dans les effluents liquides de l'installation nucléaire, en cette période de préparation à l'état de stockage sous surveillance, sont présentés au tableau 2-4, de même que toutes les valeurs des LOD qui leur sont associées. Elles ont été calculées 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, des changements de valeurs sont successivement survenus en juin 2011, en octobre 2014, en juillet 2017, puis finalement en novembre 2018 à la suite du prolongement de la conduite de rejet des effluents liquides. Dans ce dernier cas, les valeurs limites sont toutes plus restrictives que celles qui avaient cours précédemment.

Tableau 2-4 : Principales limites de rejets radioactifs liquides à l'installation nucléaire de Gentilly-2 en 2021

Radionucléides	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 détectés et quantifiés aux rejets liquides de l'installation nucléaire de Gentilly-2 pour l'année 2021. Conformément aux modalités du document d'application de la réglementation concernée, ces rejets sont aussi exprimés en pourcentage des LOD (% LOD) ainsi qu'en sommation d'activité radiologique, sur une base mensuelle.

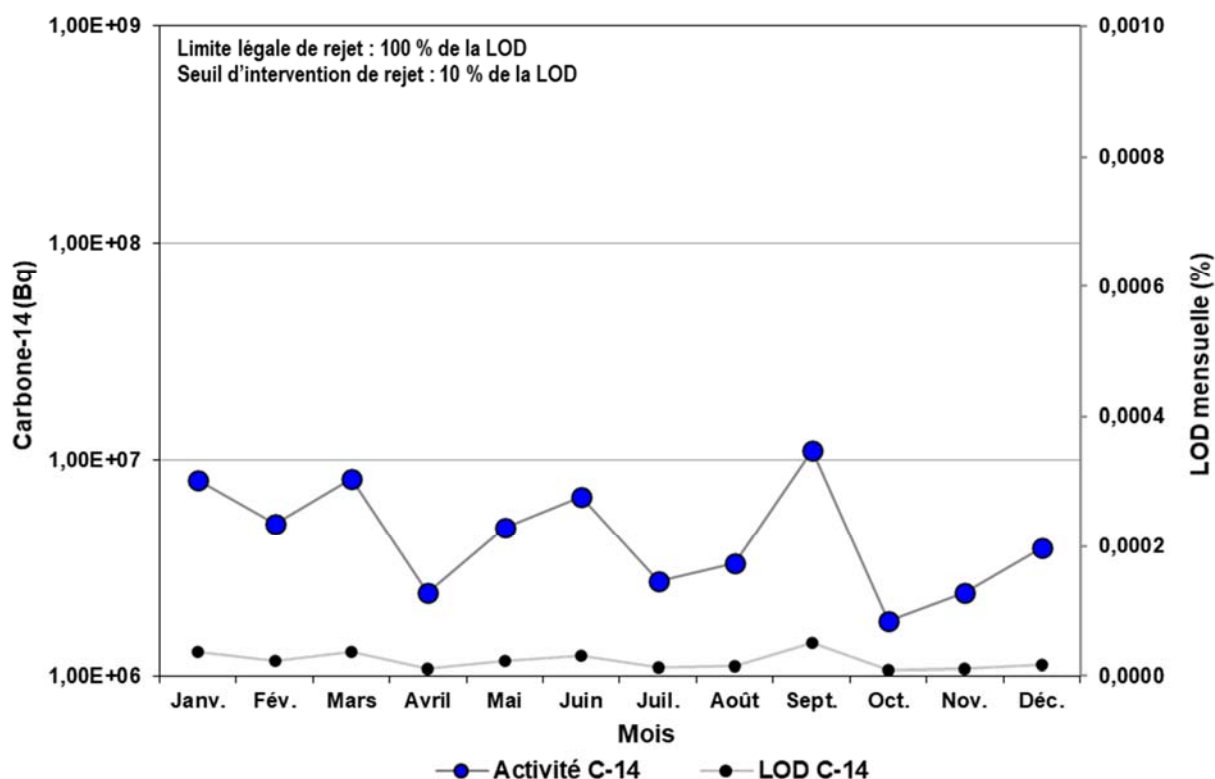
Figure 2-5 : Présence de tritium aux effluents liquides de l'installation nucléaire de Gentilly-2, exprimée en % LOD et en activité sur une base mensuelle pour l'année 2021



Au cours de 2021, les concentrations de tritium mesurées mensuellement aux effluents liquides ont encore été influencées principalement par trois importantes activités préparatoires à la période de stockage sous surveillance de l'installation nucléaire.

La première activité fut la reprise des travaux de décontamination de matériel absorbant contenant une fraction d'eau lourde. Ils ont cependant été complètement achevés à la fin du mois de mars 2021. Lors de ces travaux, l'étape initiale de trempage du matériel amène une désorption du tritium, qui est ensuite drainé aux réservoirs de gestion des effluents radioactifs liquides. Les deux autres activités étaient plutôt liées à la gestion de barils de liquide à faible concentration d'eau lourde au centre de décontamination de Gentilly-2, ainsi qu'au rinçage de quatre réservoirs ayant contenu de l'eau lourde. Ces travaux ont été réalisés à plusieurs moments tout au long de l'année 2021. L'activité mensuelle maximale de tritium quantifiée en 2021 est celle du mois de décembre, et elle fut équivalente à 0,041 % 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 2021

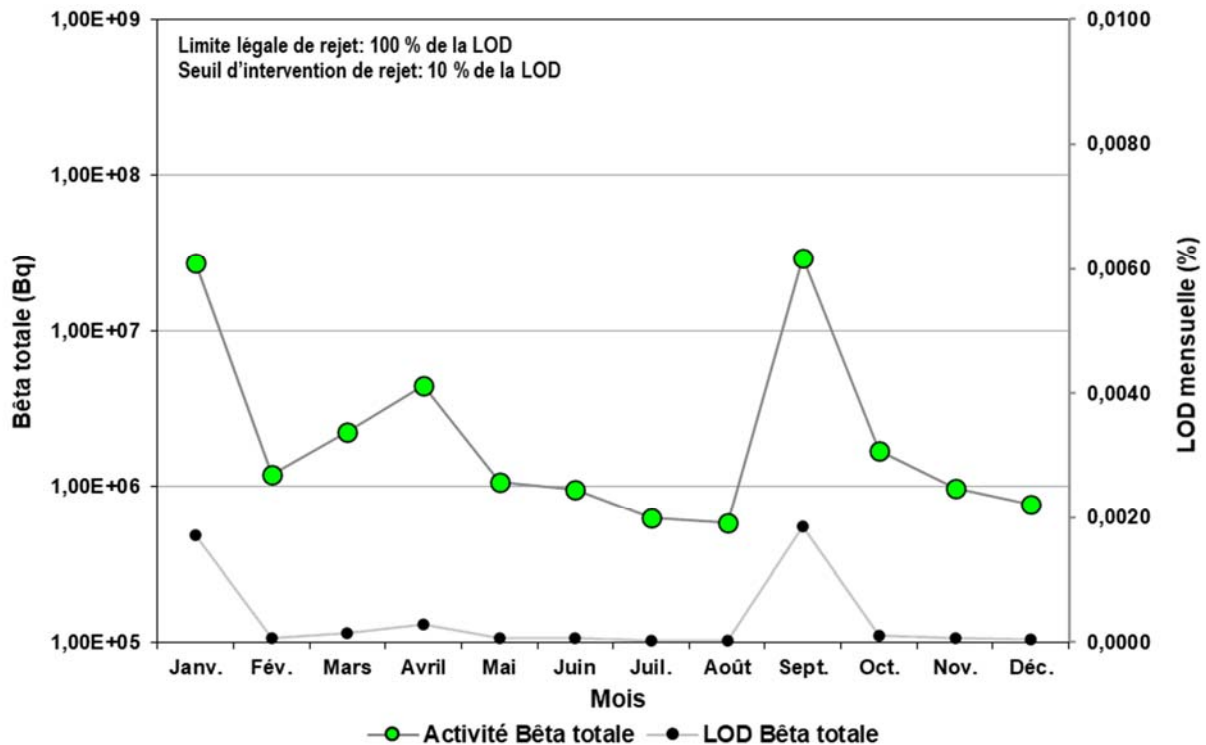


Les valeurs mensuelles d'activité de carbone-14 aux effluents liquides sont demeurées très faibles au cours de l'année 2021, tout comme pour les trois années précédentes. Rappelons que l'année 2018 avait été marquée d'une chute drastique de concentrations de carbone-14 par rapport à l'année 2017. L'achèvement des activités de pompage et de transfert des résines usées échangeuses d'ions en avait été l'unique 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 aux résines dédiées à la purification de l'eau lourde du système modérateur, il était prévu que la fin de ces travaux, en automne 2017, soit suivie d'un retour permanent 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 2021 fut celle du mois de septembre, inférieure à 0,0001 % LOD. La déclinaison des valeurs mensuelles de l'année 2021 est similaire à l'année précédente, mais marque toujours un contraste avec la dernière année de gestion des résines usées en 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 2021



Au cours de l'année 2021, le profil des résultats d'activité bêta totale quantifiée aux rejets radiologiques liquides a quelque peu fluctué. Mais il importe de bien mettre ces valeurs en contexte. À ce titre, l'activité mensuelle maximale de 2021 est associée au mois de septembre, et elle fut tout de même inférieure à un centième d'un pour cent de sa LOD spécifique, à 0,002 % 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 2021.

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 2021

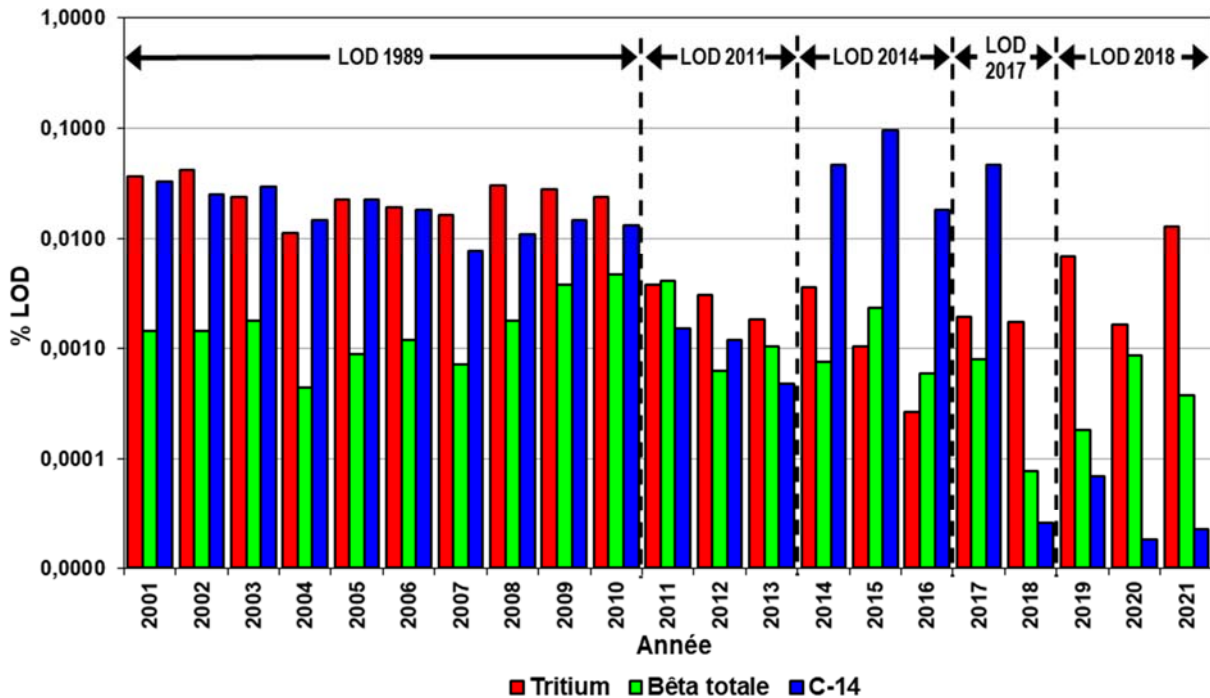
Mois	Tritium (Bq)	Bêta totale (Bq)	Carbone-14 (Bq)
Janvier	3,88E+12	2,72E+07	8,08E+06
Février	1,17E+13	1,20E+06	5,04E+06
Mars	1,58E+13	2,25E+06	8,22E+06
Avril	6,37E+11	4,48E+06	2,42E+06
Mai	2,00E+12	1,08E+06	4,89E+06
Juin	5,00E+12	9,68E+05	6,79E+06
Juillet	1,20E+13	6,24E+05	2,74E+06
Août	1,38E+13	5,88E+05	3,29E+06
Septembre	1,73E+13	2,93E+07	1,11E+07
Octobre	1,51E+13	1,70E+06	1,78E+06
Novembre	1,75E+13	9,81E+05	2,42E+06
Décembre	4,14E+13	7,68E+05	3,88E+06
Gras Valeur mensuelle maximale pour l'année 2021			

La figure 2-8 présente les valeurs annuelles de radioactivité aux rejets liquides de l'installation nucléaire de Gentilly-2, de 2001 à 2021. 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 gazeux de la période 2001-2021, 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.

Nonobstant les paragraphes qui précèdent, l'année 2021 fut marquée de variations tangibles 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 2021 fut en hausse de 693,3 % et celle du carbone-14 de 23,3 % alors que l'activité bêta totale fut plutôt en baisse de 56,8 %. Par ailleurs, toutes les valeurs mensuelles de tritium, de carbone-14 et d'activité bêta totale, recensées aux effluents radioactifs liquides en 2021, ont également été en deçà d'un ratio équivalent à un dixième d'un pour cent LOD (0,1 % LOD).

Figure 2-8 : Rejets radioactifs liquides annuels de l'installation nucléaire de Gentilly-2 exprimés en % LOD pour la période 2001-2021



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 unitaire effective de 60 000 L. Le contenu de ces cinq réservoirs est préalablement analysé (paramètres radiologiques et physico-chimiques), neutralisé si nécessaire, puis dispersé au fleuve Saint-Laurent via la conduite prolongée d'évacuation des effluents liquides. En 2021, le contenu de 73 réservoirs a été vidangé selon cette procédure, en baisse de l'ordre de 10,9 % par rapport à 2020. Les activités de préparation à l'état de stockage sous surveillance abordées aux sections précédentes sont le principal apport aux réservoirs.

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 aussi analysés et contrôlés au besoin, pour ensuite être vidangés dans un des cinq réservoirs de récupération des eaux radioactives.

Certains apports d'eau sont maintenant dérivés du réseau de collecte menant aux réservoirs de récupération des eaux radioactives. Hydro-Québec partage à la CCSN les résultats d'une caractérisation complémentaire, dorénavant réalisée trimestriellement, et ce, 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 principalement celle s'infiltrant dans des drains ceinturant la base des deux réservoirs souterrains de résines usées, vides de contenu depuis l'année 2017.

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 2021. Ces installations sont desservies par trois réseaux de drainage pluvial recueillant les eaux de surface d'une large superficie des terrains à l'intérieur du périmètre clôturé du site et dans les 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 2021

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	2021-04-14	448 ± 7	< 0,24	< 0,13	< 0,35	< 0,14
	2021-07-28	166 ± 5	< 0,23	< 0,13	< 0,30	< 0,13
	2021-10-13	252 ± 6	< 0,23	< 0,12	< 0,29	< 0,12
MCH-2	2021-04-14	371 ± 6	< 0,24	< 0,15	< 0,34	< 0,14
	2021-07-28	340 ± 7	< 0,23	< 0,12	< 0,30	< 0,12
	2021-10-13	263 ± 6	< 0,23	< 0,12	< 0,29	< 0,12
MCH-3	2021-04-14	430 ± 6	< 0,24	< 0,12	< 0,30	< 0,13
	2021-07-28	242 ± 6	< 0,23	< 0,12	< 0,28	< 0,12
	2021-10-13	184 ± 5	< 0,22	< 0,16	< 0,42	< 0,17

L'analyse des concentrations de radioactivité aux trois séries de résultats disponibles pour l'année 2021 prouve l'absence d'un quelconque événement radiologique qui serait survenu à proximité de l'installation nucléaire de Gentilly-2. Aucune concentration quantifiable de carbone-14 ou d'un émetteur gamma n'a été relevée au cours de l'année. Et comme par les années passées, la valeur maximale de tritium mesurée aux trois différents systèmes de drainage suivis au PSRE en 2021 provient d'un échantillon du puisard MCH-1. Ce dernier collecte 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 des installations de Gentilly-2.

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 conduites à l'effluent des eaux usées sanitaires, qui sont d'abord canalisées à l'étang aéré de Gentilly-2.

En 2021, la concentration maximale de tritium mesurée dans les eaux usées sanitaires produites aux multiples points desservis dans l'ensemble des bâtiments des installations de Gentilly-2 fut de 54 Bq L^{-1} (avril 2021). Aussi, la concentration de carbone-14 a été supérieure à la limite de détection (LD) de la méthode d'analyse qu'à une seule reprise, soit à $0,39 \text{ Bq L}^{-1}$ (juillet 2021). Finalement, les deux seules quantifications d'émetteur gamma furent celles du thallium-208, mesuré à $0,22 \text{ Bq L}^{-1}$ (octobre 2021) et du potassium-40, mesuré à $5,2 \text{ Bq L}^{-1}$ (avril 2021).

3 Résultats du suivi des effluents – volet physico-chimique

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 physico-chimique.

3.1 Émissions atmosphériques

Pour les installations de Gentilly-2 et leurs différents systèmes et équipements, les principales sources d'émissions atmosphériques de contaminants physico-chimiques 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 2018 à 2021. Ces produits pétroliers sont utilisés dans le cadre de la poursuite de l'opération de quelques systèmes ainsi que de l'entretien et 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 2018-2021

Type de produit pétrolier	Quantité consommée par année (litres)			
	2018	2019	2020	2021
Gaz de pétrole liquéfié (propane) (utilisé par les chariots élévateurs d'Hydro-Québec)	1 631	1 398	1 078	495
Essence (utilisée par les véhicules légers d'Hydro-Québec)	16 773	15 560	13 535	10 874
Diésel clair (utilisé par les véhicules lourds d'Hydro-Québec)	6 685	5 815	3 479	1 723
Diésel coloré (utilisé par les moteurs stationnaires d'Hydro-Québec)	1 713	1 670	1 394	1 191

Les variations annuelles de consommation de propane, d'essence et de diésel clair par les différents véhicules d'Hydro-Québec s'expliquent généralement par la nature et l'ampleur 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 pompes du système d'eau d'incendie.

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 les recharges de gaz, le cas échéant. L'estimation des émissions totales de gaz réfrigérants dans l'environnement se fait en considérant les quantités de gaz ajouté dans les équipements.

En 2021, il y a eu un événement ayant mené à l'émission accidentelle de gaz réfrigérant. Lors du rejet, constaté le 11 mai, 15,4 kg de HCFC ont été perdus dans l'atmosphère en raison d'une fuite sur une borne électrique du système de climatisation. La cause de la fuite a été corrigée suivant la constatation.

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) ;
- l'étang aéré 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 les extrémités de canalisations de ces systèmes.

À ces trois 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 en 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 physico-chimique des effluents liquides pour lesquels des normes ou des cibles sont établies. Les différents paramètres et critères de surveillance physico-chimique sont documentés dans le PSE des installations de Gentilly-2 (Hydro-Québec, 2018) qui a initialement été élaboré par Hydro-Québec et le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC, aujourd'hui MELCC) 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 au site de Gentilly-2.

Les modalités de surveillance du volet physico-chimique, décrites au PSE, sont aussi 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 physico-chimiques et radiologiques sont effectuées afin de déterminer l'acceptabilité du rejet. Si tous les critères physico-chimiques 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 physico-chimiques réalisées aux réservoirs de récupération des eaux radioactives, et ce, avant neutralisation ou traitement.

Tableau 3-2 : Résultats d'analyses physico-chimiques des réservoirs de récupération des eaux radioactives de l'installation nucléaire de Gentilly-2 pour l'année 2021

Paramètre	Norme	Résultat		
		Valeur moyenne	Valeur maximale	Valeur minimale
Hydrocarbures Pétroliers (HP) C ₁₀ -C ₅₀ (mg L ⁻¹)	≤ 5	0,19	0,36	< 0,10
pH	5,5 à 9,5	8,12	9,45	5,90

3.2.2 Eaux usées sanitaires

Les eaux usées sanitaires des installations de Gentilly-2, dont le débit moyen a été de 38 m³ jour⁻¹ en 2021, 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, non aérée, permettant la sédimentation des matières en suspension (MES). Les trois cellules sont séparées physiquement par deux membranes semi-perméables, ce qui permet notamment un temps de résidence adéquat. Finalement, l'eau traitée est évacuée dans le canal de rejet par le biais d'un émissaire. Les résultats du suivi environnemental sont illustrés au tableau 3-3.

Tableau 3-3 : Résultats d'analyses physico-chimiques de l'effluent du système de traitement des eaux usées sanitaires des installations de Gentilly-2 pour l'année 2021

Paramètre	Norme ou cible	Concentration		
		Valeur moyenne	Valeur maximale	Valeur minimale
Demande biologique en oxygène sur 5 jours (DBO ₅) (mg L ⁻¹)	≤ 30	4	12	< 2
Coliformes fécaux (c.f. 10 ml ⁻¹)	≤ 20 000	41	170	< 10
HP C ₁₀ -C ₅₀ (mg L ⁻¹)	Absence de film visible à la surface	0,11	0,12	< 0,10
Oxygène dissous (mg L ⁻¹)	≥ 2 (cible)	7,7	13,8	2,2

Tous les paramètres mesurés lors des inspections mensuelles ont satisfait les normes et cible.

En 2021, les lentilles aquatiques à la surface de l'eau de l'étang aéré ont été récupérées dans la semaine du 8 novembre, et ce, afin d'éviter que des phosphates ne soient relâchés durant la période hivernale.

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 de circulation 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 2021, trois séries d'analyses physico-chimiques ont été effectuées à chacun des postes. Les moyennes sont présentées au tableau 3-4.

Tableau 3-4 : Résultats d'analyses physico-chimiques de l'effluent des systèmes de drainage pluvial des installations de Gentilly-2 pour l'année 2021

Réseau	Moyenne (mg L ⁻¹)					
	Chlorures	Chrome	Plomb	Fer	HP C ₁₀ -C ₅₀	MES
MCH-1	147	< 0,0050	< 0,00050	0,10	< 0,10	4,3
MCH-2	540	0,013	0,00051	0,15	< 0,10	4,0
MCH-3	453	< 0,0050	< 0,00050	0,45	< 0,10	7,3

Parmi les paramètres analysés, seuls les hydrocarbures pétroliers (HP C₁₀-C₅₀) sont normés, leur concentration devant être inférieure à 2 mg L⁻¹. Les résultats indiquent que cette norme a été respectée en 2021.

4 Autres engagements de suivi

Dans le cadre du PSE (Hydro-Québec, 2018) ou encore de certaines circonstances exceptionnelles, d'autres engagements doivent aussi 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 réservoir de récupération d'huile est installé, pour ensuite se canaliser à un séparateur eau-huile. 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 complètement vidangé en juin 2019.

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 est à la charge du groupe Installations de transport d'Hydro-Québec. L'obligation de suivi est cependant incluse au PSE et prévoit une mesure annuelle de l'épaisseur de la couche d'huile dans le séparateur. La mesure effectuée en 2021 dans le séparateur eau-huile a confirmé l'absence d'huile.

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

Les résultats du suivi de la qualité physico-chimique 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 physico-chimique des eaux souterraines. Ces piézomètres impliquent le suivi des 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 physico-chimiques des eaux souterraines prélevées au pourtour des installations de déchets radioactifs de Gentilly-2 pour l'année 2021

Paramètre	Critère	Moyenne des mesures ou concentrations		
		Horizon A	Horizon B	Horizon C
pH	5,5 à 9,5	8,51	8,13	7,67
Chlorures (mg L ⁻¹)	≤ 860	1 361	60	42
Conductivité (µS cm ⁻¹)	Aucun	633	847	680
Sulfates (mg L ⁻¹)	Aucun	171	123	103
Cadmium (mg L ⁻¹)	≤ 0,0043 ^a	0,00020	< 0,00020	< 0,00020
Chrome (mg L ⁻¹)	Aucun	0,007	0,019	0,005
Cuivre (mg L ⁻¹)	≤ 0,027 ^a	0,004	0,014	0,003
Fer (mg L ⁻¹)	Aucun	11,07	28,05	11,94
Plomb (mg L ⁻¹)	≤ 0,20 ^a	0,002	0,008	0,0008
Zinc (mg L ⁻¹)	≤ 0,22 ^a	0,02	0,045	0,01
HP C ₁₀ -C ₅₀ (mg L ⁻¹)	≤ 1,8	< 0,1	< 0,1	0,11
^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 2021, notamment dans les échantillons provenant des piézomètres P-22, P-31 et P-36. Celles-ci sont d'ailleurs d'origine naturelle. Les valeurs maximales unitaires mesurées ont été de 8 700 mg L⁻¹ pour les chlorures et de 0,036 mg L⁻¹ pour le cuivre, respectivement pour les piézomètres P-22A et P-22B.

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 2021

Date de la prise de mesures	Moyenne des niveaux (m)		
	Horizon A	Horizon B	Horizon C
2021-03-25	3,91	3,14	2,91
2021-09-16	5,09	3,88	3,70
Variation moyenne	1,18	0,74	0,79

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 distincts.

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 2021 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 2021

Substance	État	Concentration (%)	Unité	Consommation
<i>Acide et base</i>				
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
<i>Matière oxydante</i>				
Peroxyde	Liquide	35	kg	0
Chlore	Liquide	100	kg	0
<i>Matière réductrice</i>				
Hydrazine	Liquide	35	L	0
<i>Gaz</i>				
Azote	Gazeux	100	m ³	674
Hélium	Gazeux	100	m ³	129
Hydrogène	Gazeux	100	m ³	0
Bioxyde de carbone	Gazeux	100	kg	0
<i>Produit pétrolier</i>				
Huiles	Liquide	s. o.	L	37,8
<i>Autre</i>				
Résines échangeuses d'ions	Solide	s. o.	m ³	0
s. o. : Sans objet.				

4.4 Réhabilitation de digues

En 2021, Hydro-Québec a procédé à d'importants travaux de réhabilitation de digues protégeant le site d'une éventuelle montée des eaux du fleuve Saint-Laurent. Le rehaussement significatif des eaux du fleuve survenu en période printanière de l'année 2017 avait détérioré quelques-uns de ces ouvrages de protection.

Les travaux correcteurs ont été réalisés entre le 6 septembre et le 28 octobre 2021. L'ensemble des interventions a été fait sous autorisations préalables à la fois du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) ainsi que du MELCC.

Les travaux consistaient principalement au rechargement, en pierres et granulat, des infrastructures existantes. Les travaux se sont déroulés tels que décrits dans les documents de demandes d'autorisations environnementales. Toutes les conditions environnementales imposées par les autorisations délivrées ont été respectées autant en ce qui concerne la plage de dates autorisées pour effectuer les travaux que la mise en place d'ouvrages de retenus des sédiments, l'utilisation d'huile végétale pour les systèmes hydrauliques de la machinerie employée et l'obligation d'assumer une surveillance environnementale complète en chantier.

5 Consommation d'eau

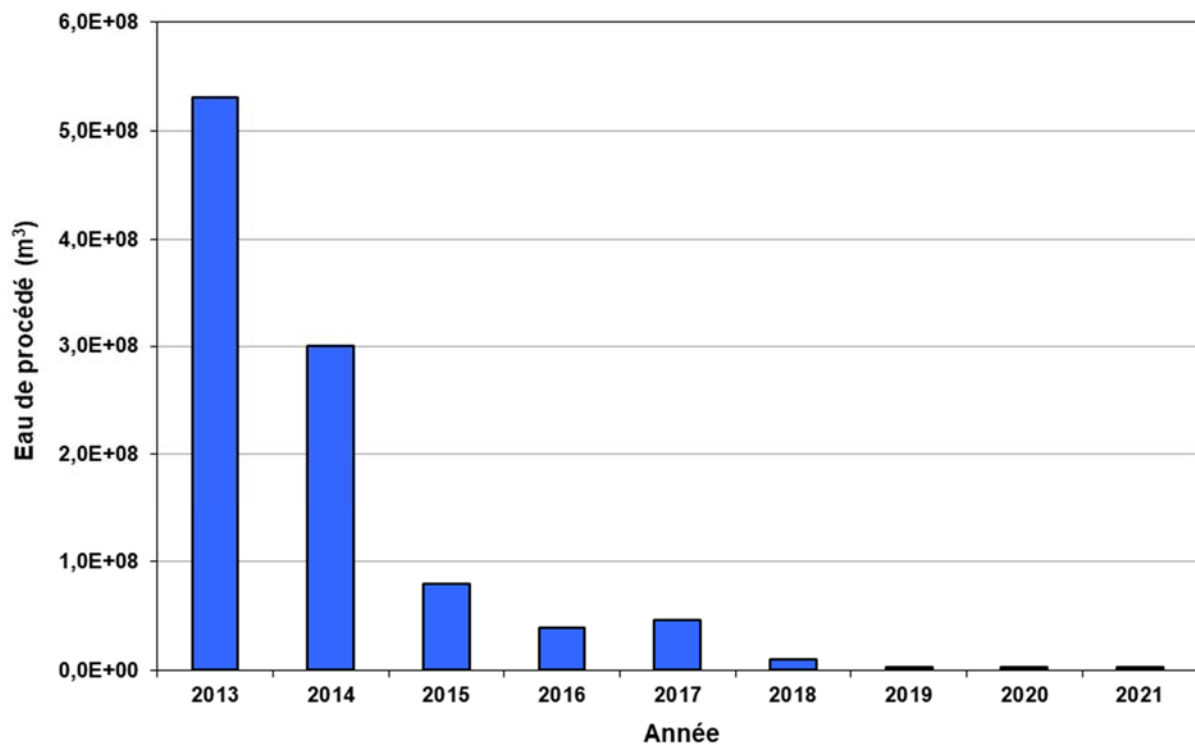
Bien qu'ils soient réduits, des approvisionnements d'eau sont toujours nécessaires aux installations de Gentilly-2, qu'ils soient pour des besoins de procédé industriel ou de consommation humaine.

Le volume rapporté pour la consommation d'eau de procédé provient de la sommation du débit évalué au fonctionnement du système d'eau brute d'alimentation (EBA) utilisé pour le refroidissement de divers systèmes et équipements. L'estimation du volume d'eau est basée sur une demande maximale de refroidissement. Aussi, l'EBA est celle prélevée directement du fleuve Saint-Laurent, par l'entremise de la station de pompage.

En 2021, la consommation annuelle d'eau de procédé s'établit à 2 522 880 m³, un volume d'eau prélevé comparable à celui de l'année précédente (figure 5-1).

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

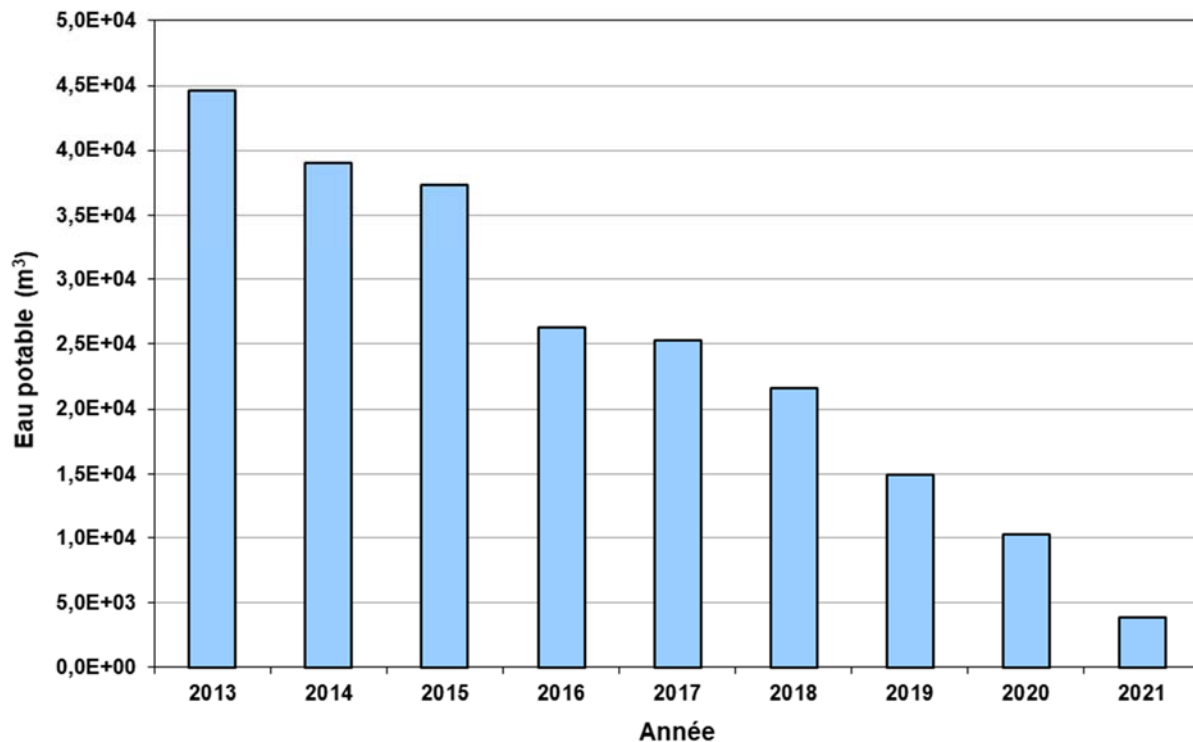
Figure 5-1 : Consommation d'eau de procédé aux installations de Gentilly-2 pour la période 2013-2021



En ce qui a trait à la consommation d'eau potable comptabilisée en 2021, elle fut de 3 909 m³, en diminution de 62 % en comparaison de l'année précédente (figure 5-2). Cette diminution est directement reliée aux mesures de télétravail, obligatoire pour une partie des employés des installations, mises en place à partir du mois de mars 2020.

Cette diminution est par ailleurs de l'ordre de 93 % en comparaison de l'année 2012, dernière année de production d'électricité. Elle témoigne notamment du niveau de fréquentation des installations de Gentilly-2, en baisse constante depuis l'année 2012 ainsi que du démantèlement d'équipements sanitaires fuyards et de l'isolation d'appoint d'eau du système de chauffage de certains bâtiments au site.

Figure 5-2 : Consommation d'eau potable aux installations de Gentilly-2 pour la période 2013-2021



6 Matières dangereuses et autres matières résiduelles

6.1 Matières dangereuses résiduelles

En 2021, un peu plus de 5 200 kg et près de 700 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 déclassement de Gentilly-2.

Les MDR recensées en 2021 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 2021

Matière dangereuse résiduelle	Quantité expédiée dans un CRMD
Accumulateurs (kg)	729
Aérosols (kg)	176
Ballasts et petits appareils électroniques (kg)	137
Barils et contenants vides contaminés (kg)	60
Emballages au rebut, vides, non nettoyés (kg)	102
Filtres usés (kg)	17
Gel silice ou tamis moléculaires toxiques (kg)	24
Glycol (kg)	1 028
Huiles et graisses usées (L)	694
Lampes à vapeur de mercure (kg)	27
Liquide dangereux inflammable NSA (kg)	287
Liquide dangereux toxique N.S.A. (kg)	195
Matériaux absorbants ou poreux (kg)	380
Peinture alkyde et diluant (kg)	164
Piles sèches (kg)	387
Scellant élastomère (kg)	254
Solides dangereux contaminés par un liquide corrosif NSA (kg)	88
Solides dangereux contaminés par un liquide toxique NSA (kg)	77
Solides dangereux contaminés par un liquide inflammable NSA (kg)	4
Solides inflammables N.S.A. (kg)	64

Tableau 6-1 : Quantité de matières dangereuses résiduelles générées aux installations de Gentilly-2 pour l'année 2021 (suite)

Matière dangereuse résiduelle	Quantité expédiée dans un CRMD
Solides toxiques N.S.A. (kg)	581
Tubes fluorescents intacts (kg)	452

6.2 Biomasse et autres matières résiduelles

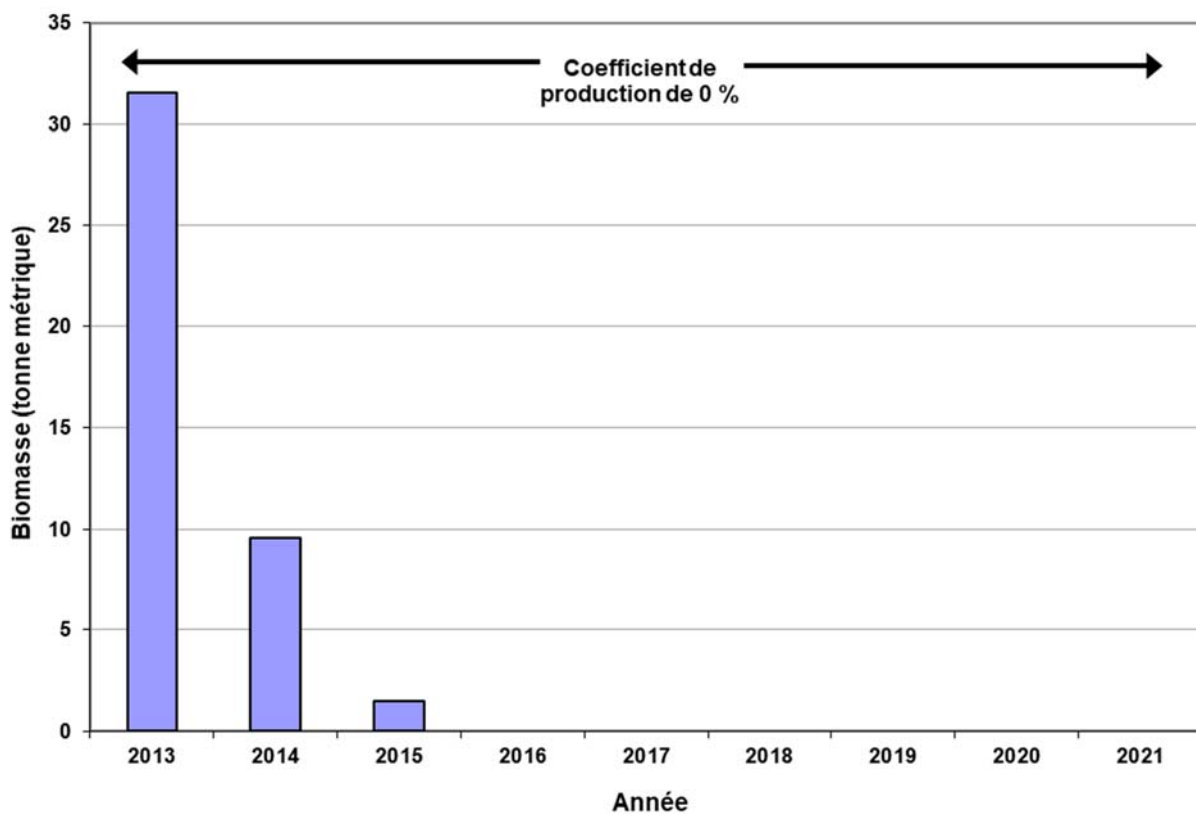
En 2021, près de 82 tonnes de matières résiduelles (MR) ont également été produites. De cette quantité, 33,5 tonnes ont été récupérées ou recyclées, dont près de 31 tonnes de métaux. Le reste des MR a été éliminé, soit un peu plus de 48 tonnes principalement constituées de matériaux ou débris de construction (tableau 6-2).

Tableau 6-2 : Quantité de matières résiduelles recyclées ou éliminées aux installations de Gentilly-2 pour l'année 2021

Matière résiduelle	Recyclage (t)	Élimination (t)
Papier, carton, plastique, verre et métal	2,62	s. o.
Métaux	30,84	s. o.
Déchets domestiques	s. o.	10,51
Biomasse de la station de pompage	s. o.	s. o.
Matériaux ou débris de construction	s. o.	38,0
s. o. : Sans objet.		

Depuis 2016, il n'y a plus aucune levée de conteneur de biomasse (bois, végétaux, algues, poissons, débris, etc.) issue de la récupération de débris flottants captés à la prise d'eau de la station de pompage (figure 6-1). En 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 2013-2021



7 Rejets accidentels de contaminants dans l'environnement

En 2021, un seul rejet 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 rejet.

Tableau 7-1 : Quantité de produit liquide rejeté accidentellement dans l'environnement aux installations de Gentilly-2 pour l'année 2021

Produit	Quantité (L)	Cause
Huile	1	Action humaine involontaire

Lors de la vérification du niveau d'huile sur un appareil de levage, environ un litre d'huile a été renversé au sol sur l'asphalte. La phase liquide a été récupérée en totalité à l'aide d'absorbants et éliminée 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 2021, la surveillance radiologique du milieu environnant des installations de Gentilly-2 fut assurée par l'application d'un plan de surveillance radiologique de l'environnement (Hydro-Québec, 2021). Au fil des différentes adaptations de ce plan, certaines modalités ont été abandonnées, réduites ou ajoutées. Ce fait explique l'absence occasionnelle de données ou l'apparition de nouveaux points d'échantillonnage à quelques figures du chapitre 8, tout comme pour des séries pour lesquelles les points d'échantillonnage ne sont pas tous identiques sur des figures récapitulant les cinq dernières années. Par ailleurs, comme l'atteinte de l'état de stockage sous surveillance des installations de Gentilly-2 constituera un changement important, selon les termes de la version actuelle du document d'application de la réglementation concernée, il a été récemment convenu avec le principal organisme réglementaire de produire une nouvelle évaluation des risques environnementale (ÉRE). Cette évaluation servira aussi à une adaptation significative du PSRE au cours de l'année 2022, adaptation qui sera faite sur la base du risque environnemental des activités propres à cette phase du déclassé.

Le tableau B-2 de l'annexe B présente un sommaire des différents paramètres et du nombre d'échantillons stipulés au PSRE ayant prévalu en 2021. 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, 2019).

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, 2019). 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. L'événement survenu à Fukushima Daiichi au Japon en 2011 a également été la source d'une dispersion mesurable de radioactivité au Canada, quoiqu'elle fut d'ampleur moins importante. Finalement, les activités d'exploitation normale et de déclassement d'une installation nucléaire de type CANDU résultent également en une dispersion d'une certaine part de radioactivité, et ce, bien qu'elle soit surveillée, comptabilisée, contrôlée et suivie des autorités réglementaires.

8.2 Surveillance atmosphérique

Les sous-sections suivantes présentent les résultats des mesures de la surveillance atmosphérique locale et régionale, pour des paramètres 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 2021 (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.

Les valeurs trimestrielles d'ambiance gamma mesurées en 2021 à ces sept SCR ont varié de 0,042 à 0,094 $\mu\text{Gy h}^{-1}$. 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 à pleine capacité de combustible nucléaire irradié. C'est d'ailleurs toujours la station de ce regroupement d'où sont tirées des valeurs qui soient significativement plus élevées que celles de la station de référence du PSRE, exception faite de l'influence qu'avaient eu certains travaux achevés en 2018 et menés par l'exploitant de l'installation Gentilly-1, les Laboratoires Nucléaires Canadiens (LNC). C'est également à la station SCR-11 qu'est associée la dose annuelle la plus élevée de l'année 2021 (figure 8-2), à 0,82 mGy. Aussi, en 2021, les stations de ce regroupement ont toutes été en faible augmentation de leur valeur de dose annuelle absorbée en comparaison de l'année précédente, soit de 0,6 % (SCR-10) à 11,0 % (SCR-7).

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 2021

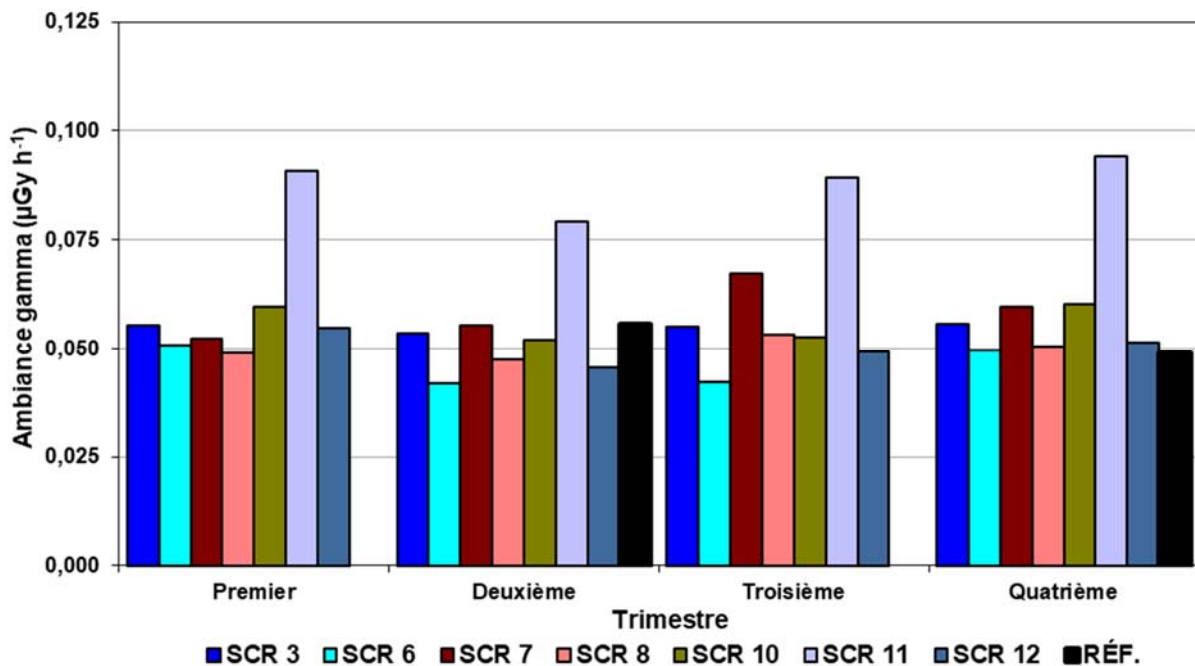
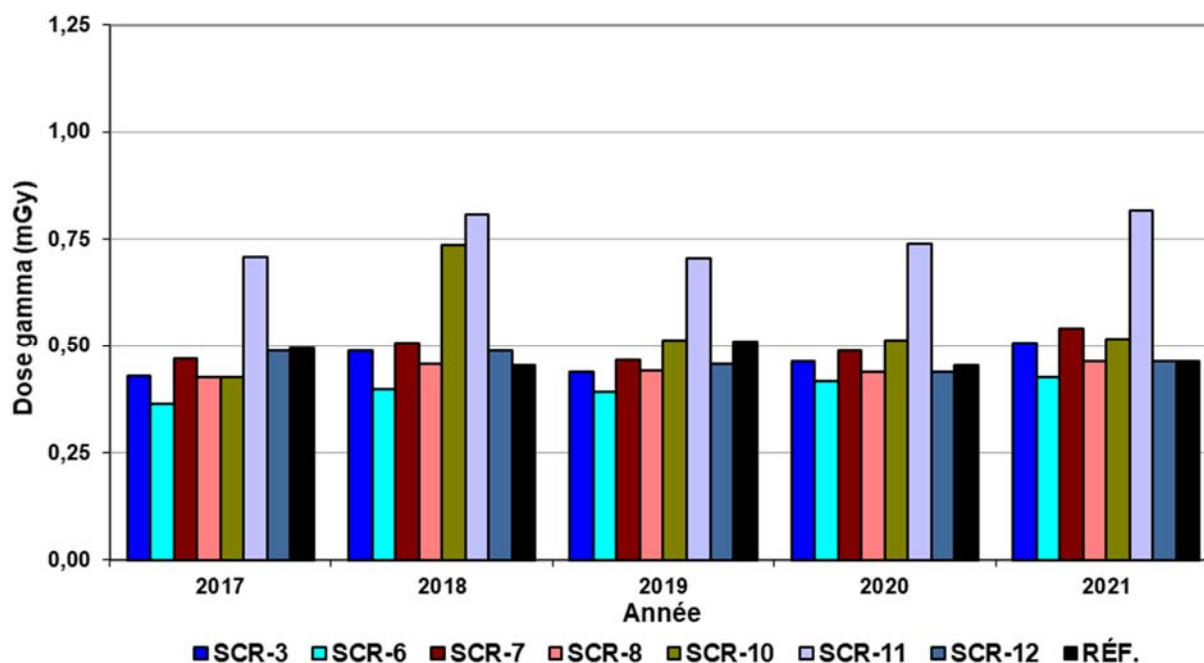


Figure 8-2 : Dose annuelle gamma aux stations de contrôle SCR-3, 6, 7, 8, 10, 11 et 12 (zone rapprochée) et à la station de référence pour la période 2017-2021



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 rayonnements 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 2021 à la station de référence de Trois-Rivières (carte A-4 de l'annexe A).

Au cours de l'année 2021, les valeurs trimestrielles d'ambiance gamma mesurées aux 10 différents points du périmètre sécurisé des installations de Gentilly-2 ont varié de 0,045 à 0,065 $\mu\text{Gy h}^{-1}$. La valeur trimestrielle maximale a été relevée au dernier trimestre, au point PÉR-2 situé au sud-est du site des installations. Ce point est aussi situé à proximité du centre de récupération des matières contaminées (CRMC), où des déchets faiblement radioactifs peuvent être temporairement stockés, en attente de traitement ou de transfert à l'IGDRS. Comme pour l'année précédente, la valeur maximale de dose annuelle fut associée, en 2021, au point PÉR-10 à 0,55 mGy. Pour ce regroupement de dix points de mesure au périmètre sécurisé, les variations de valeurs de doses annuelles mesurées en 2021 furent faibles, en comparaison de l'année précédente, allant d'une diminution de 5,4 % (PÉR-4) à une augmentation de 11,1 % (PÉR-7).

Figure 8-3 : Ambiance gamma trimestrielle au périmètre sécurisé de l'installation pour l'année 2021

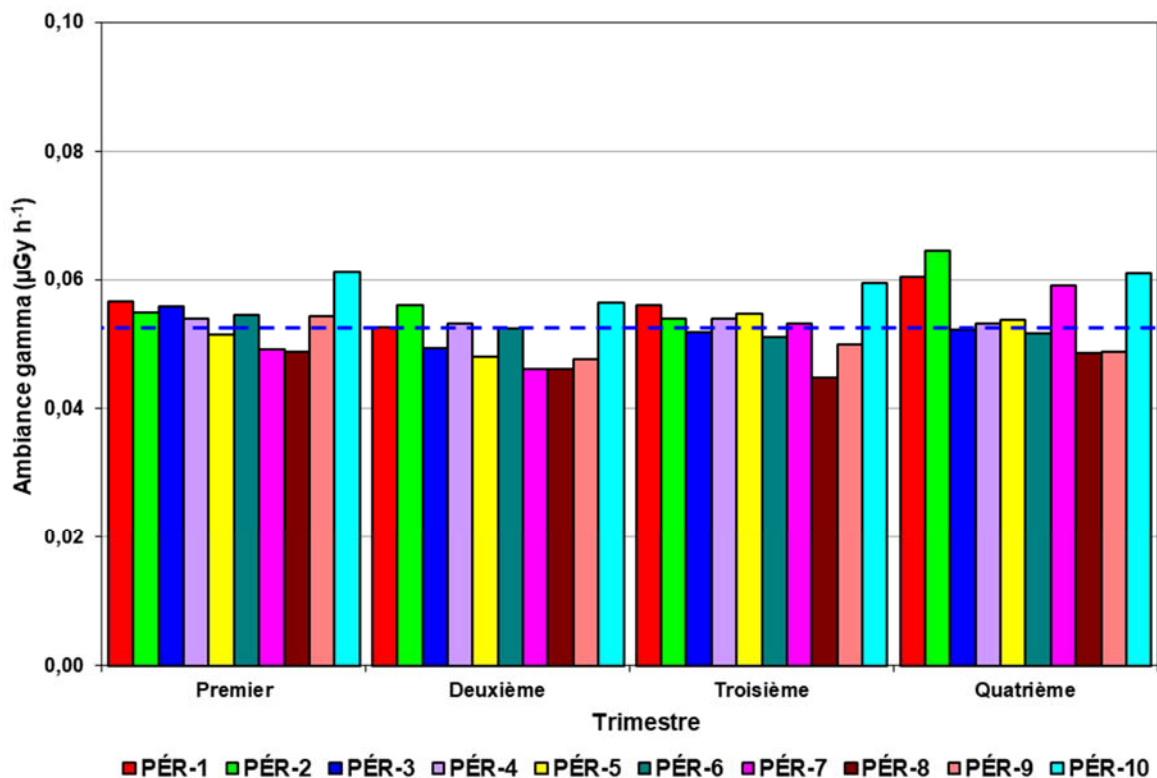
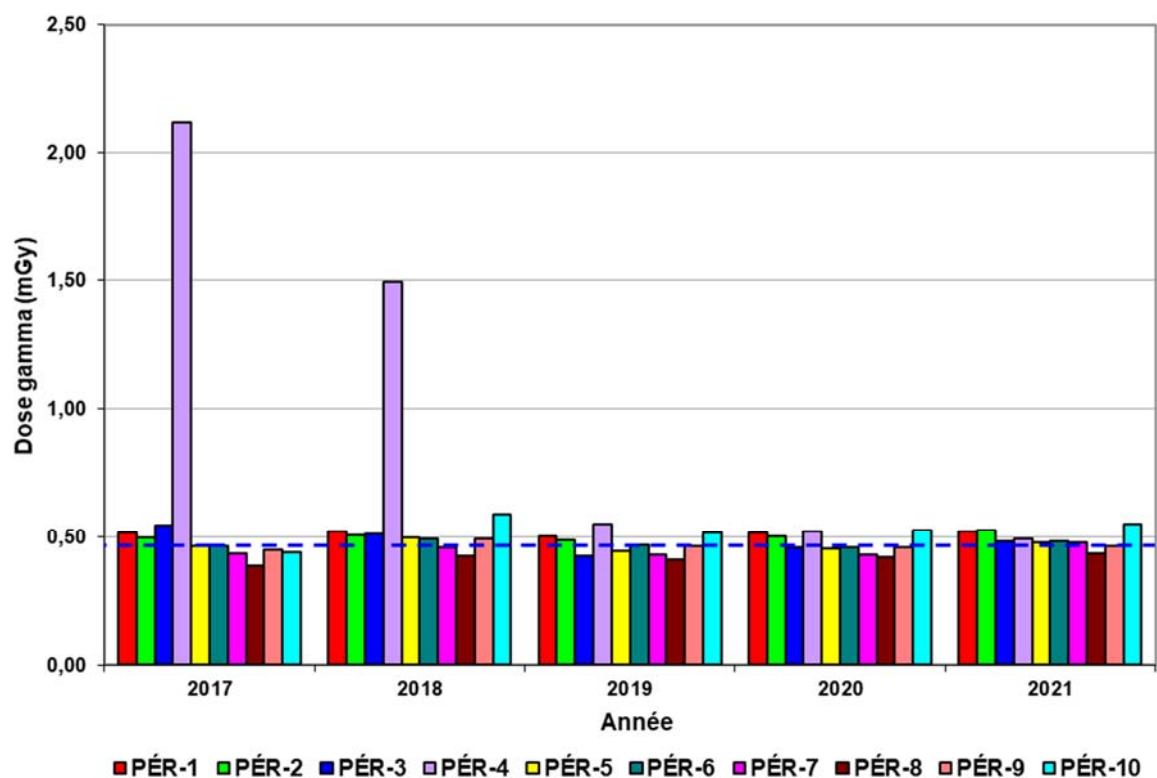


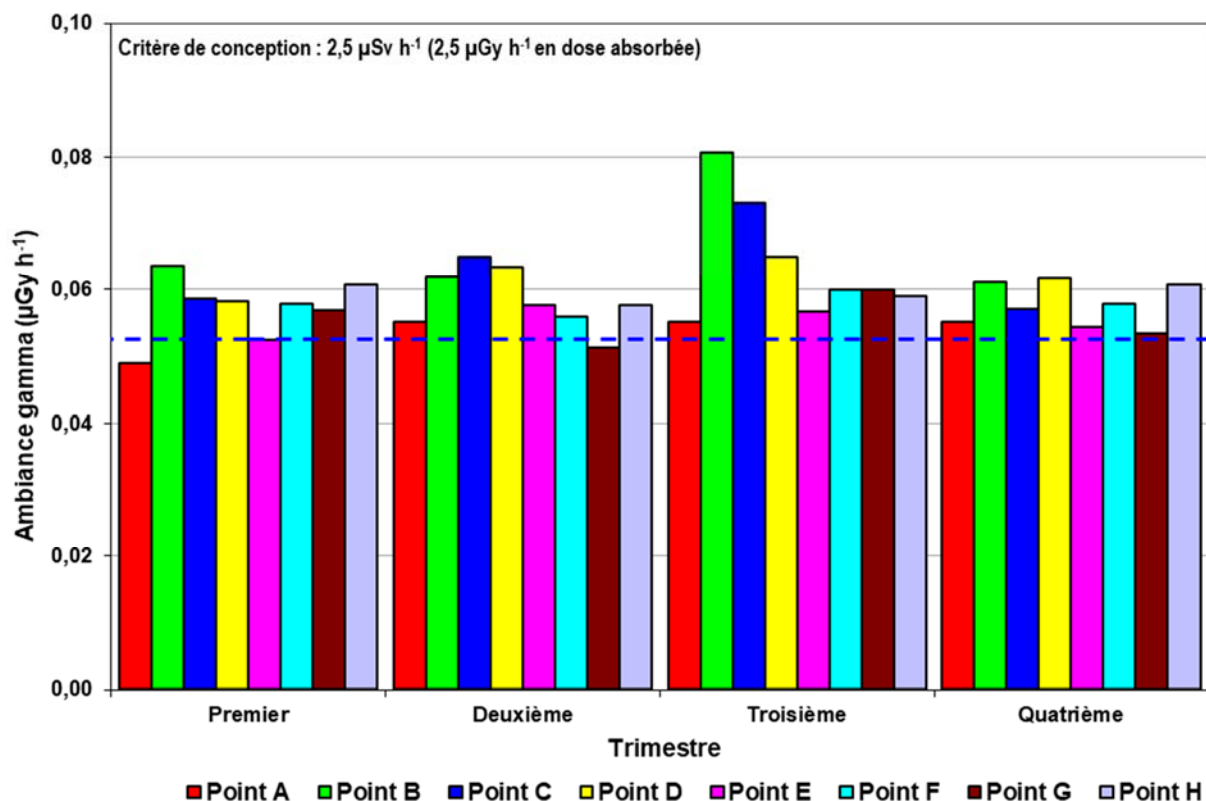
Figure 8-4 : Dose annuelle gamma au périmètre sécurisé de l'installation pour la période 2017-2021



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 2021 à la station de référence du PSRE, située à Trois-Rivières.

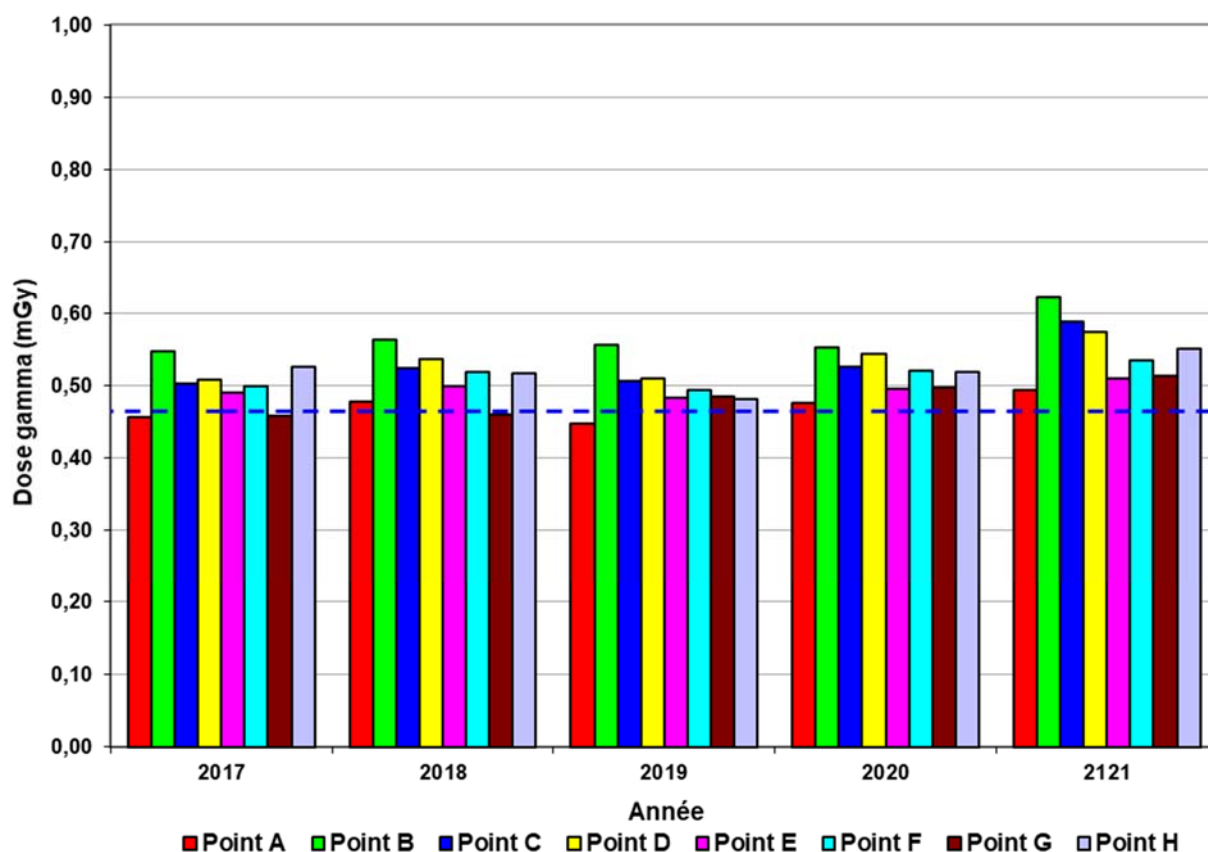
D'abord, la figure 8-5 présente la série de mesures trimestrielles d'ambiance gamma aux huit points spécifiques à la clôture de l'ASDR (carte A-5 de l'annexe A) au cours de l'année 2021. Comme des opérations intensives de retrait de déchets s'y sont déroulées, il était attendu que les données montrent des variations découlant du fait que des colis de déchets étaient extraits de leur fosse qui assure un blindage au rayonnement externe gamma. L'ensemble des valeurs trimestrielles d'ambiance gamma mesurées en 2021 à l'ASDR a varié entre 0,049 et 0,081 $\mu\text{Gy h}^{-1}$. Par ailleurs, toutes les valeurs d'ambiance gamma colligées en 2021 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), initialement déterminée pour le périmètre clôturé de l'installation.

Figure 8-5 : Ambiance gamma trimestrielle à la clôture de l'ASDR pour l'année 2021



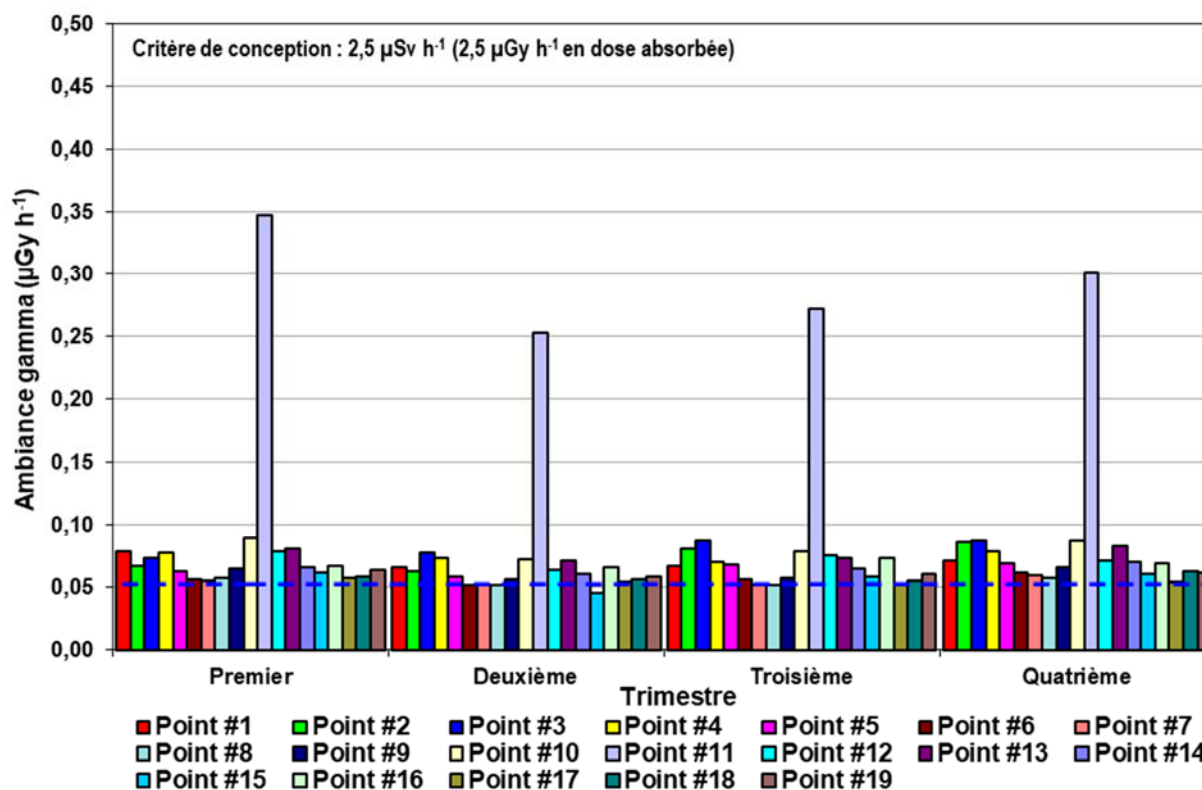
La figure 8-6 présente une récapitulation des doses annuelles de rayonnements gamma pour les cinq dernières années, à chacun des huit points de mesure de l'ASDR. Les points de mesure les plus rapprochés des principales zones de travail pour le retrait des déchets de l'ASDR en 2021 ont été influencés, principalement pour les points B et C. Les doses annuelles calculées pour l'année 2021, aux clôtures de l'ASDR, ont toutes été en hausse en comparaison de l'année précédente, variant de 3,0 % (points E et F) à 12,4 % (point B).

Figure 8-6 : Dose annuelle gamma à la clôture de l'ASDR pour la période 2017-2021



La figure 8-7 présente les valeurs trimestrielles d'ambiance gamma mesurée aux 19 points fixés aux clôtures de l'IGDRS pour l'année 2021 (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, en 2015.

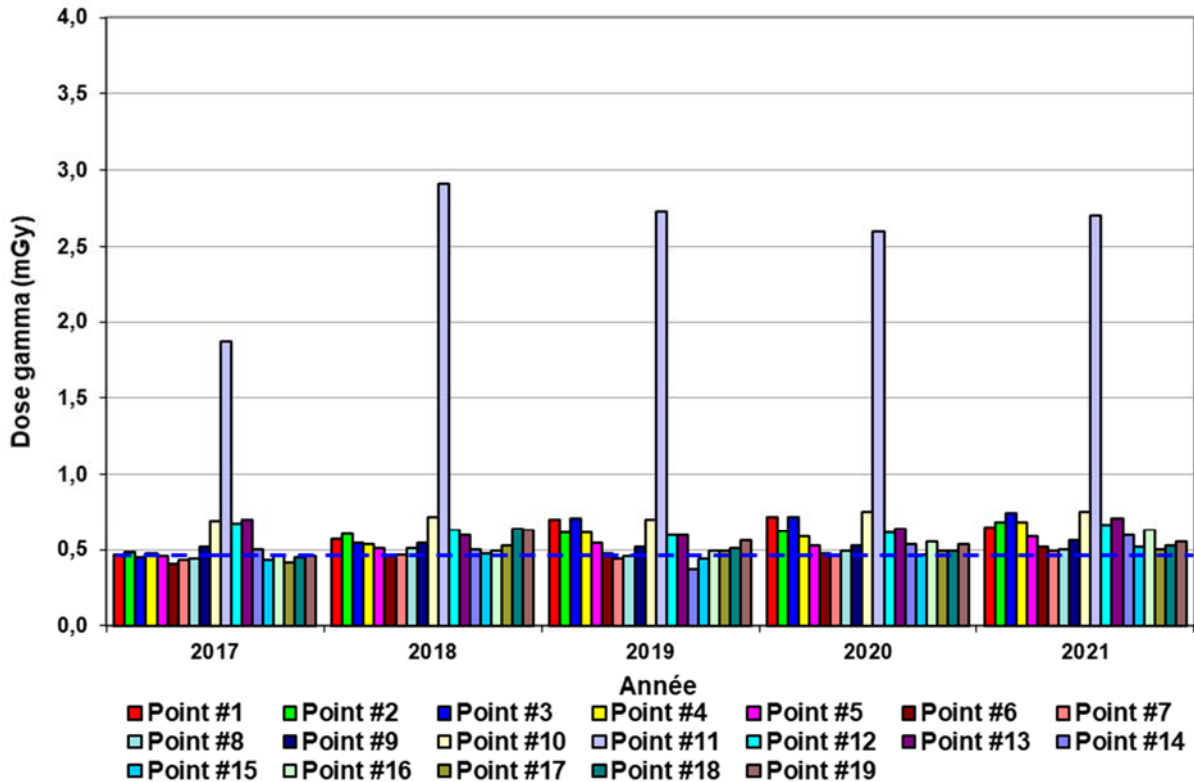
Figure 8-7 : Ambiance gamma trimestrielle à la clôture de l'IGDRS pour l'année 2021



Depuis 2017, les valeurs d'ambiance gamma les plus élevées aux clôtures de l'IGDRS sont modulées par le stockage à sec de combustible nucléaire irradié fait à l'intérieur de son périmètre, peu après la mise en service des deux derniers modules CANSTOR (n^{os} 10 et 11). Déjà, en 2018, le premier de ces modules (n^o 10) était rempli à sa pleine capacité. Et l'année 2020 a marqué la fin des opérations de transfert de combustible irradié en stockage à sec. En 2021, les valeurs trimestrielles de chacun des 19 points de mesure de l'IGDRS ont varié de 0,046 à 0,348 µGy h⁻¹. Toutes ces valeurs sont aussi en deçà de la limite de conception de l'installation de déchets fixée à 2,5 µSv h⁻¹ (ou 2,5 µGy h⁻¹ en dose absorbée) aux clôtures de son périmètre.

La figure 8-8 présente les doses annuelles gamma mesurées aux clôtures de l'IGDRS au cours des cinq dernières années. En 2021, les doses annuelles gamma recensées aux 19 différents points de mesure ont culminé à 2,70 mGy, toujours au point n° 11. Alors que la diminution la plus importante fut de 9,5 % (point n° 1) en comparaison de l'année précédente, l'augmentation annuelle la plus élevée fut quant à elle de 15,7 % (point n° 4). Ce point est situé au nord-ouest du périmètre de l'IGDRS.

Figure 8-8 : Dose annuelle gamma à la clôture de l'IGDRS pour la période 2017-2021



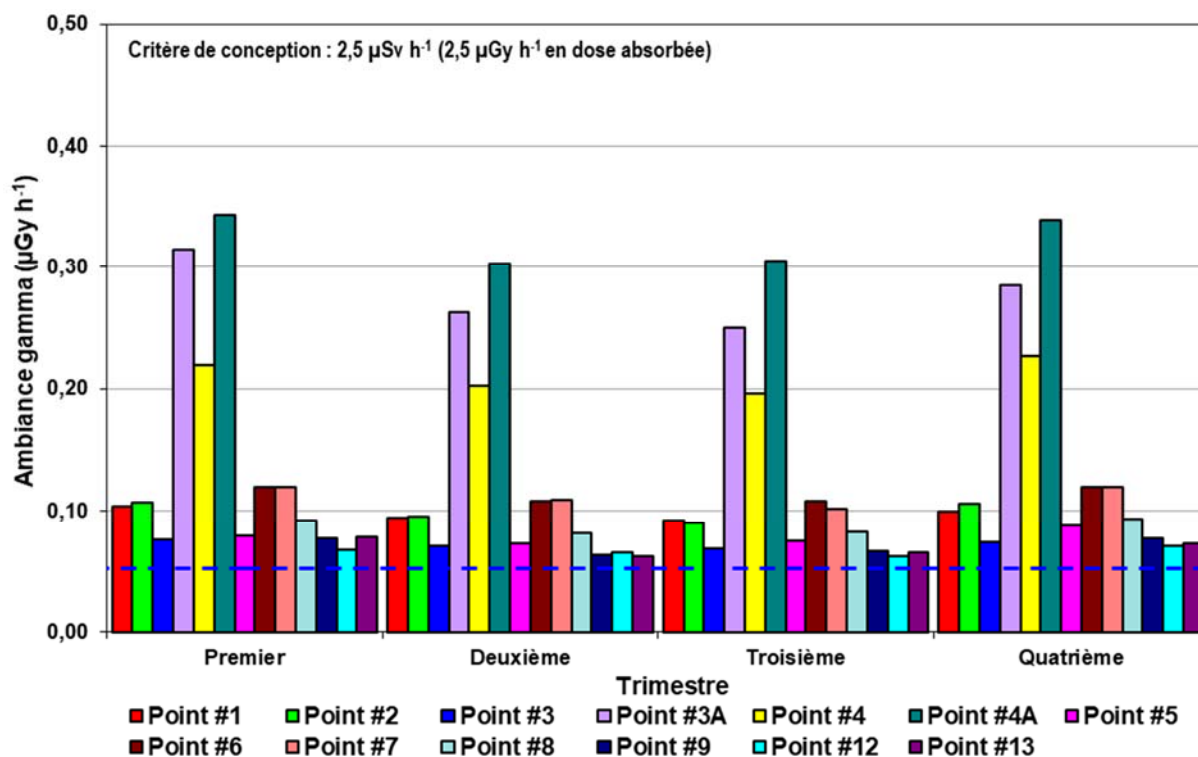
La figure 8-9 présente les valeurs trimestrielles d'ambiance gamma aux 13 points de mesure installés aux clôtures de l'ASSCI, pour l'année 2021. Les points n°s 3A et 4A ont été ajoutés au périmètre de l'aire de stockage en 2015 (carte A-6 de l'annexe A).

Spécifiquement pour l'ASSCI, les valeurs trimestrielles d'ambiance gamma ont varié, en 2021, de 0,062 à 0,343 $\mu\text{Gy h}^{-1}$. Comme les conditions d'exposition au rayonnement des points de mesures aménagés à ce périmètre sont stables, les modules CANSTOR de l'ASSCI n'ayant pas reçu de nouveau combustible irradié depuis la campagne annuelle de transfert de l'année 2016, les valeurs n'y varient plus significativement. À l'instar de l'année précédente, pour tous les trimestres de l'année 2021, les valeurs les plus élevées ont été mesurées au point n° 4A. Viennent ensuite celles mesurées au point n° 3A, puis au point n° 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°s 1 et 6. Cet ensemble de points de mesure (n°s 3A, 4 et 4A) constitue

toujours celui où les dosimètres sont les plus exposés en raison de leur emplacement spécifique. Considérant son utilisation dédiée au combustible nucléaire irradié, aucune variation importante de l'ambiance gamma n'est désormais plus anticipée à l'ASSCI.

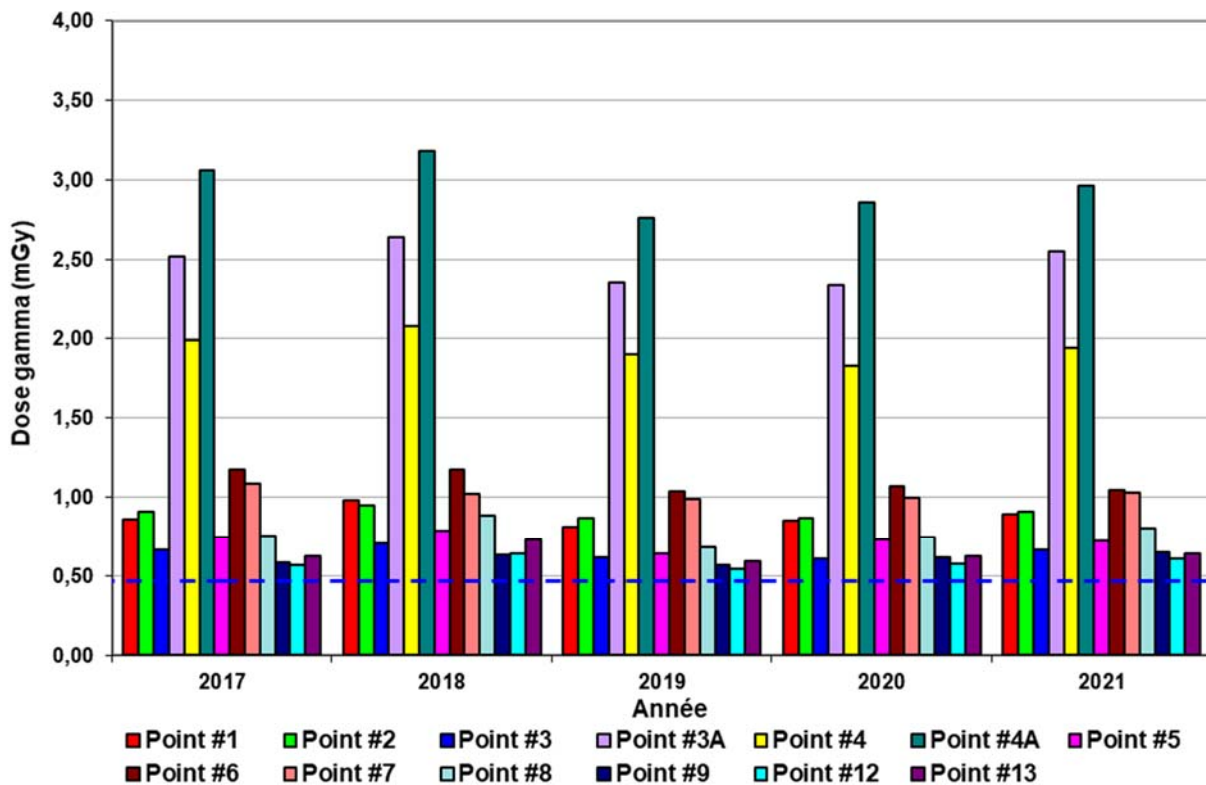
Tout comme ce fut le cas pour l'ASDR et l'IGDRS, toutes les mesures relevées en 2021 aux clôtures de l'ASSCI ont été en deçà de la limite de conception de l'installation, qui est de $2,5 \mu\text{Sv h}^{-1}$ (ou $2,5 \mu\text{Gy h}^{-1}$ en dose absorbée).

Figure 8-9 : Ambiance gamma trimestrielle à la clôture de l'ASSCI pour l'année 2021



La figure 8-10 présente les valeurs de dose annuelle gamma pour chacun des points de mesure fixés aux clôtures de l'ASSCI, pour les cinq dernières années. En comparaison de l'année précédente, la plage des variations s'étale d'une diminution de 2,3 % (point n° 6) à une augmentation de 9,3 % (point n° 3A).

Figure 8-10 : Dose annuelle gamma à la clôture de l'ASSCI pour la période 2017-2021



8.2.2 Tritium

À l'installation nucléaire de Gentilly-2, les effluents gazeux sont source de tritium, sous 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.

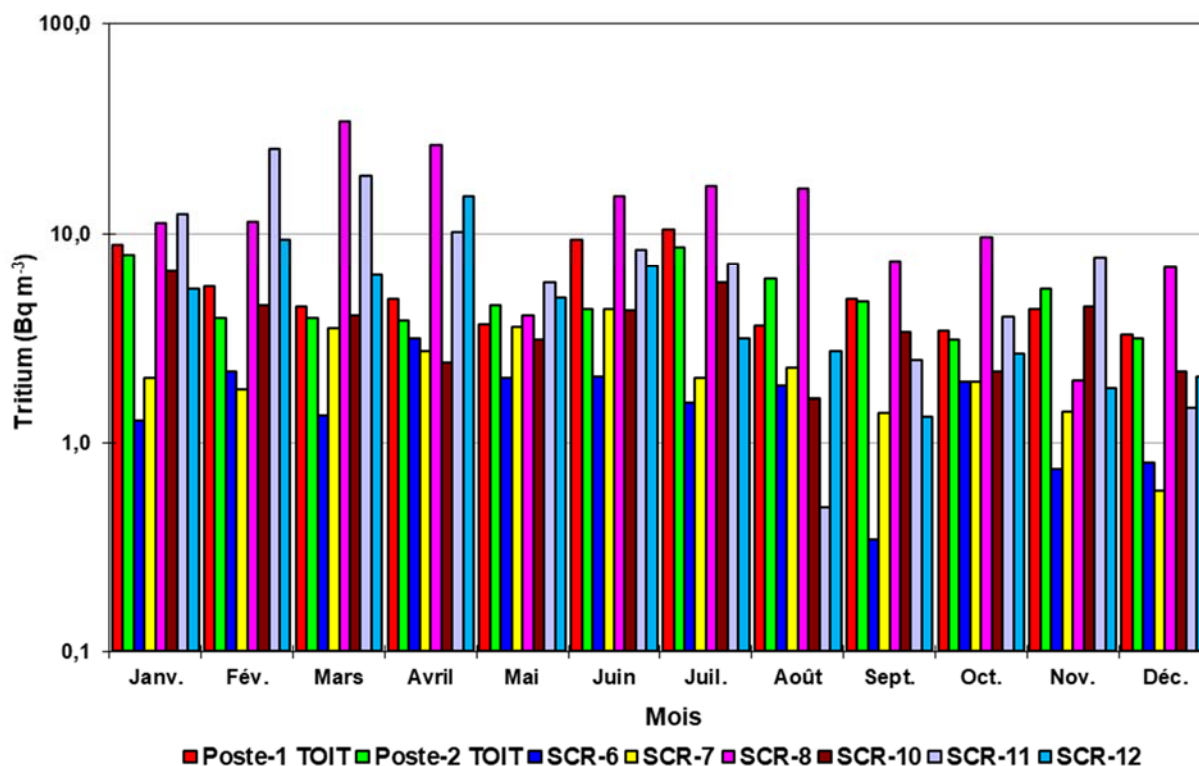
Théoriquement, la quantification du tritium mesurée à une SCR est fonction du taux de rejets gazeux de l'installation nucléaire, de la distance la séparant de la cheminée principale et des conditions météorologiques prévalant au moment de rejets plus élevés.

Les figures 8-11, 8-13, 8-15 et 8-17 présentent l'ensemble des valeurs mensuelles de tritium atmosphérique de l'année 2021, 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.

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 2017-2021. Pour comparer à la valeur du bruit de fond, les mesures de la station de référence de Trois-Rivières sont aussi représentées aux figures 8-13 et 8-14.

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 2021



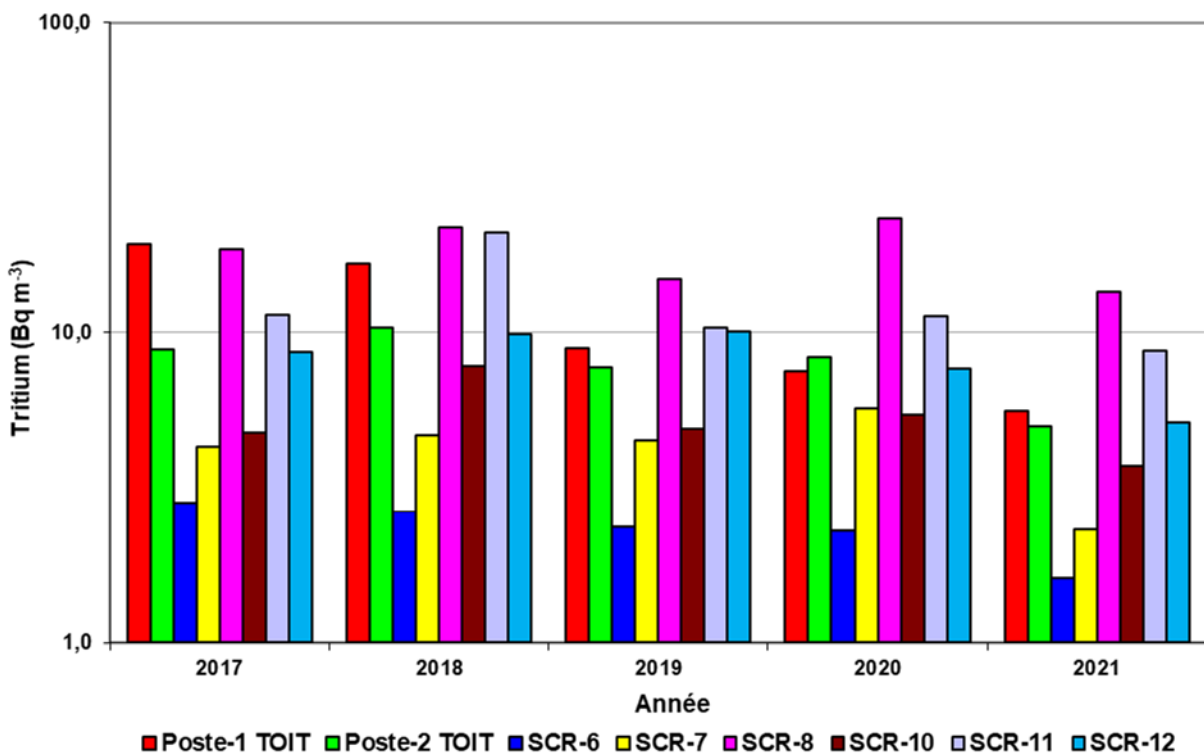
Les concentrations mensuelles de tritium atmosphérique relevées à chacune des huit SCR aménagées à même le site des installations de Gentilly-2 (figure 8-11) ont varié, en 2021, de 0,34 Bq m⁻³ (SCR-6 en septembre) à 34,20 Bq m⁻³ (SCR-8 en mars). Cette plage de valeurs des concentrations de tritium atmosphérique spécifiques à ces stations est similaire aux années antérieures. Les valeurs maximales de l'année 2021 sont quelque peu moins élevées que celles de l'année précédente, reflétant ainsi la baisse de la quantification annuelle d'émissions de tritium constatée à la cheminée principale, en comparaison de 2020.

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 aux huit différentes SCR aménagées sur le site des installations de Gentilly-2, et ce, pour la période 2017-2021.

Signe de la baisse significative des rejets de tritium à la cheminée principale en 2021, les concentrations annuelles moyennes de tritium atmosphérique mesurées aux SCR du site de Gentilly-2 ont aussi toutes été en diminution en 2021, en comparaison de l'année précédente. Ces dernières ont varié de 22,8 % (SCR-11) à 59,7 % (SCR-7).

Figure 8-12 : Activité annuelle moyenne en tritium atmosphérique aux stations Poste-1, Poste-2, SCR-6 à SCR-8 et SCR-10 à SCR-12 (zone d'exclusion) pour la période 2017-2021

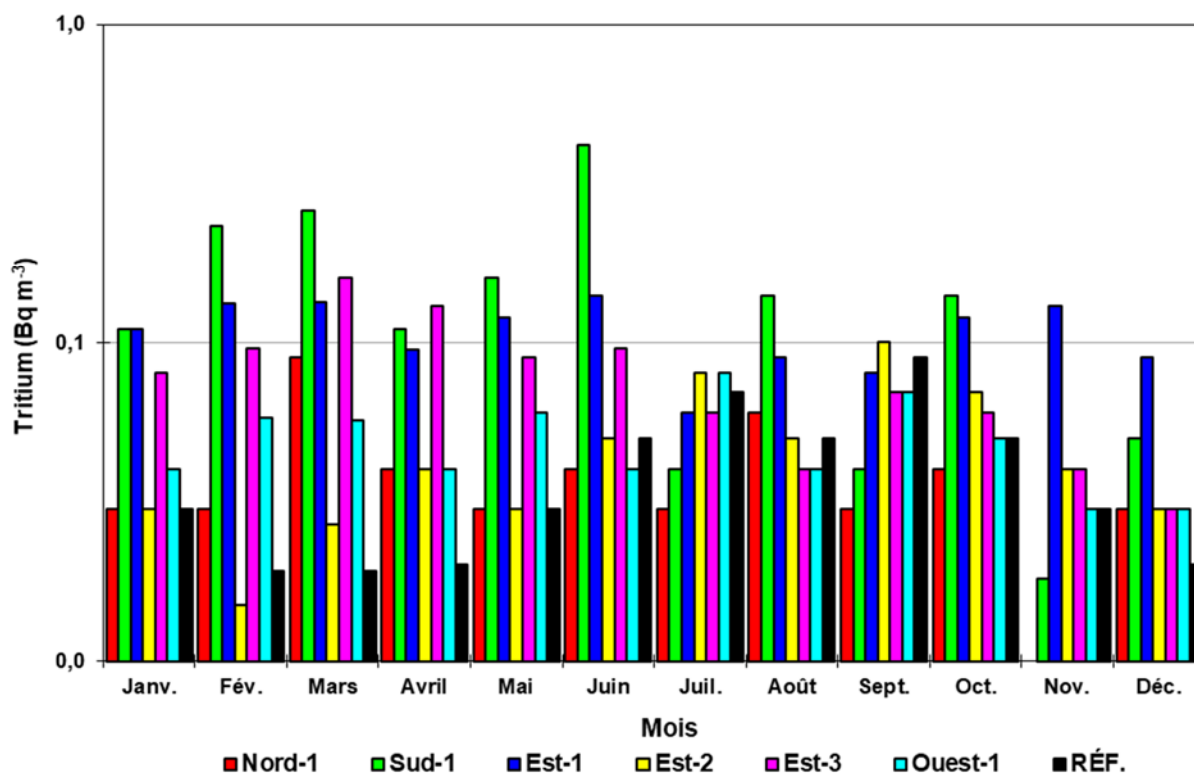


La figure 8-13 présente les concentrations mensuelles de tritium atmosphérique qui ont été quantifiées aux six SCR situées au-delà du périmètre des installations de Gentilly-2 de même qu'à la station de référence, pour l'année 2021.

En 2021, les concentrations mensuelles de tritium atmosphérique mesurées aux six différentes SCR sises hors du site des installations de Gentilly-2 ont varié de 0,01 Bq m⁻³ (Nord-1 en novembre) à 0,42 Bq m⁻³ (Sud-1 en juin). 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 un rabattement et une dispersion rapides des émissions atmosphériques radioactives, à faible distance du point d'émissions. Alors que la concentration maximale était de 34,20 Bq m⁻³ pour les huit stations du premier groupe, elle n'était plus que de 0,42 Bq m⁻³ pour les six du second groupe. Déjà, à

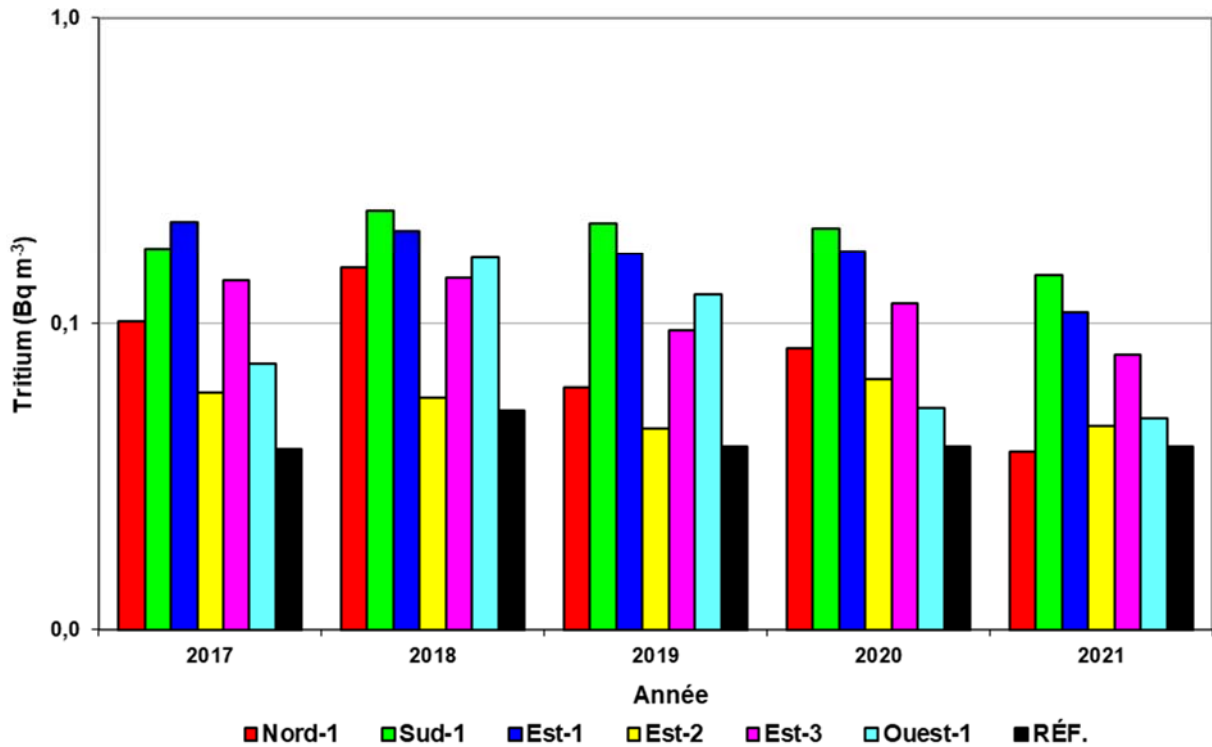
moins de la mi-distance de la zone d'exclusion d'un rayon de près d'un kilomètre, la concentration maximale n'était plus que de $3,13 \text{ Bq m}^{-3}$ (SCR-6 à 400 m). Règle générale, la dispersion atmosphérique fut moindre à la station Sud-1 puisqu'on y recense la plupart des valeurs mensuelles de tritium atmosphérique les plus élevées.

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 2021



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 2017-2021.

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 2017-2021

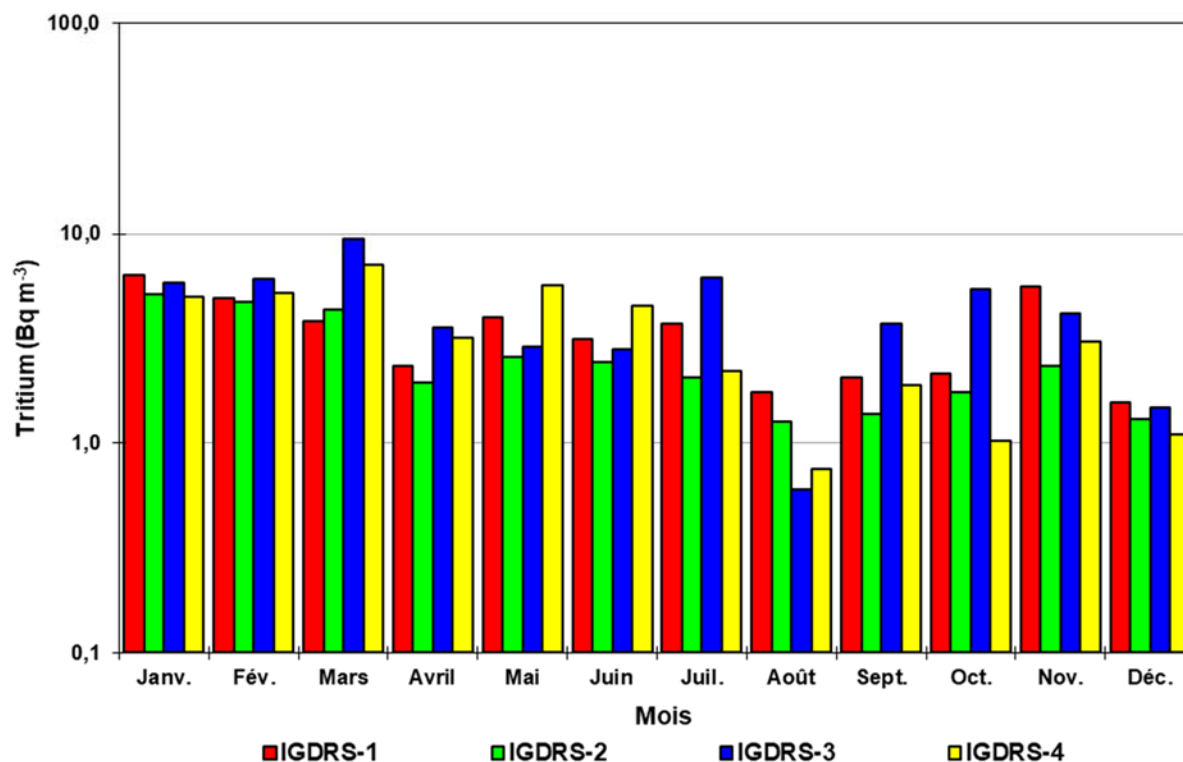


Pour l'ensemble des stations aménagées hors du site des installations de Gentilly-2, les concentrations annuelles moyennes de tritium atmosphérique montrent également des diminutions en comparaison de l'année précédente. Ces dernières passent de 6,7 % (Ouest-1) à 53,8 % (Nord-1).

Quant à la station aménagée sur la propriété agricole jouxtant le site des installations de Gentilly-2, la station Sud-1, la valeur de l'année 2021 fut elle-même en baisse notable de 30,3 %.

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 2021.

Figure 8-15 : Activité mensuelle en tritium atmosphérique à l'IGDRS pour l'année 2021

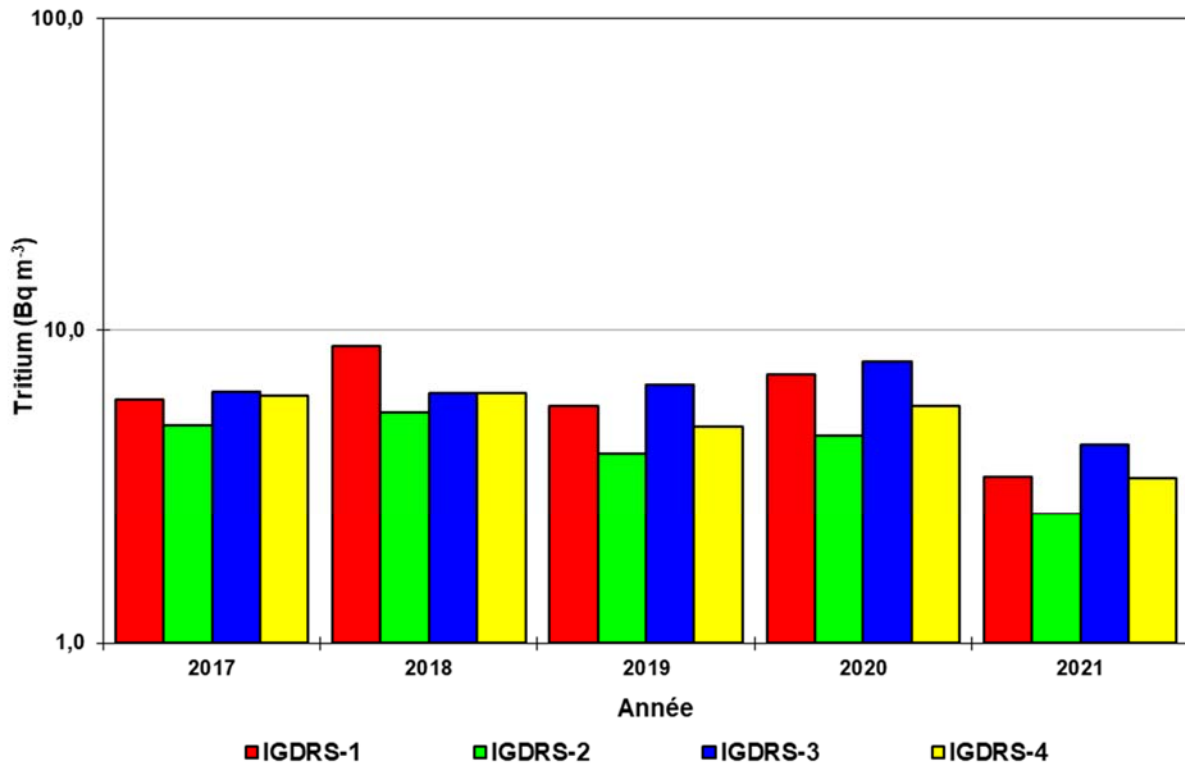


Les deux prochains ensembles de stations, disposées autour de l'IGDRS et de l'ASDR, visent à discerner et à tenter de quantifier les possibles apports de tritium gazeux qui pourraient émaner des enceintes de stockage de déchets radioactifs solides. Ces stations peuvent à la fois être soumises aux émissions dispersées de la cheminée principale et à celles des déchets contenus aux fosses. En 2021, aux stations dédiées à la surveillance de l'IGDRS, l'activité mensuelle en tritium atmosphérique a varié de 0,60 Bq m⁻³ (IGDRS-3 en août) à 9,50 Bq m⁻³ (IGDRS-3 en mars).

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 du principal point d'émissions, et qu'aucune n'excède le seuil des 10 Bq m⁻³, il peut être 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 2017-2021.

Figure 8-16 : Activité annuelle moyenne de tritium atmosphérique à l'IGDRS pour la période 2017-2021

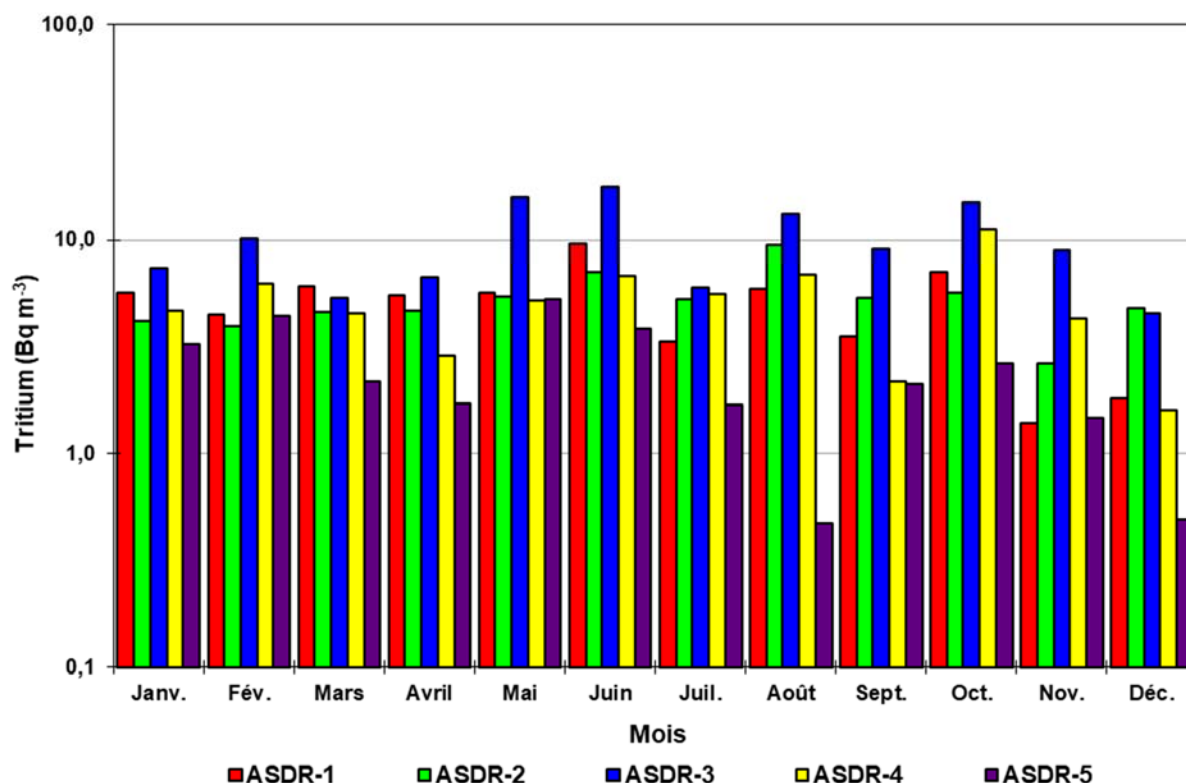


Comme pour les autres stations précédemment abordées, les concentrations annuelles moyennes de tritium atmosphérique des quatre stations dédiées à l'IGDRS montrent aussi toutes, pour l'année 2021, des diminutions qui varient de 41,5 % (IGDRS-4) à 52,9 % (IGDRS-1) comparativement à l'année 2020.

Du fait qu'elles soient 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. Leur profil, entre chacune d'elles, ne diffère d'ailleurs pas de celui de l'année précédente. L'étanchéité des enceintes de déchets de faible et moyenne activités (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 atmosphériques 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 2021.

Figure 8-17 : Activité mensuelle en tritium atmosphérique à l'ASDR pour l'année 2021



Au cours de l'année 2021, l'activité mensuelle en tritium atmosphérique relevée aux cinq stations du périmètre de l'ASDR a varié de 0,47 Bq m⁻³ (ASDR-5 en août) à 17,80 Bq m⁻³ (ASDR-3 en juin). Les résultats associés à cette installation de stockage de déchets ont encore été influencés par les ouvertures de fosses nécessaires au retrait et à l'expédition des colis de déchets radioactifs en vue d'une réduction de volumes.

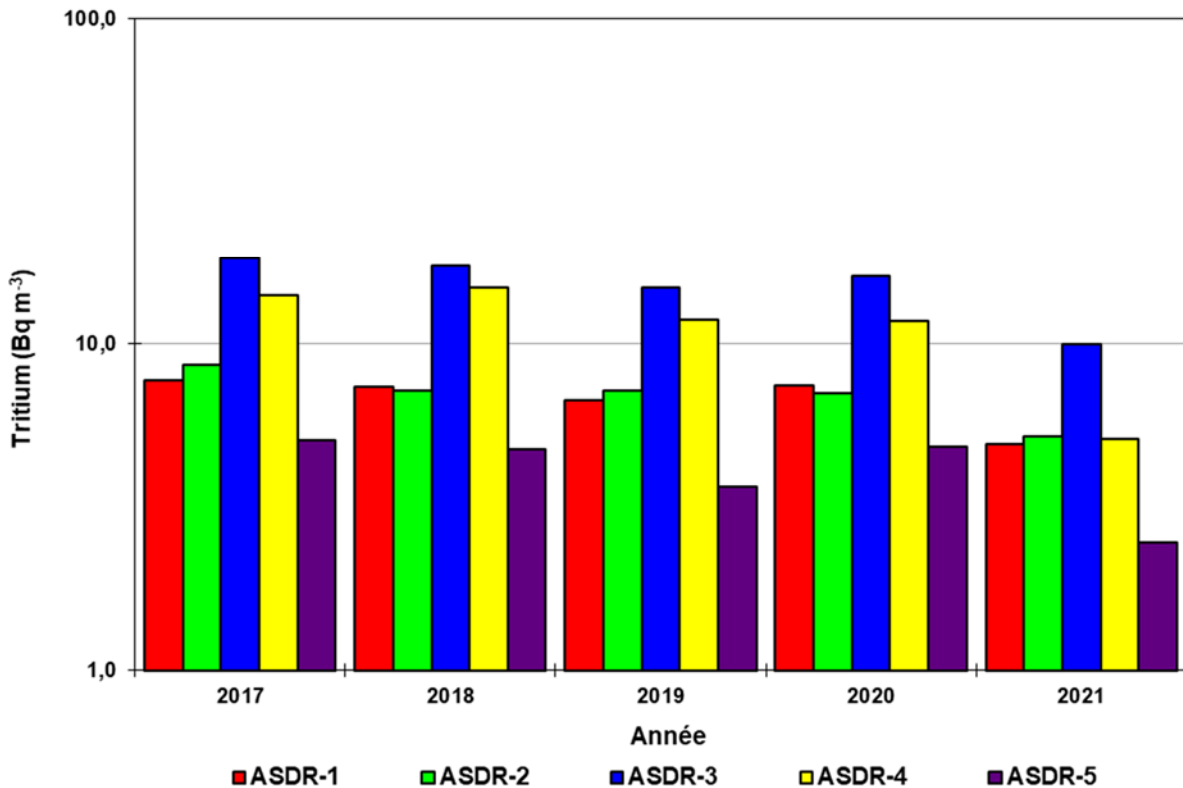
Contrairement aux constats faits pour les enceintes de l'IGDRS, l'évolution des valeurs rendues par les stations dédiées à l'ASDR confirme que les déchets contenus dans les différentes fosses de cette installation constituent une contribution locale et mesurable d'émissions atmosphériques de tritium, 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. D'une part, avant les opérations de retrait de l'année 2020, toutes les fosses de l'ASDR étaient pratiquement remplies au maximum de leur capacité mais aussi, 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 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 2017-2021.

Figure 8-18 : Activité annuelle moyenne de tritium atmosphérique à l'ASDR pour la période 2017-2021



Bien que les travaux aient entraîné des émissions plus élevées sur quelques mois au cours de l'année 2021, les valeurs annuelles moyennes d'activité en tritium atmosphérique aux stations de l'ASDR sont aussi toutes en diminution, variant de 26,4 % (ASDR-2) à 56,2 % (ASDR-4) en comparaison de l'année 2020.

Lorsque l'analyse des données porte sur un plus long terme, la période radioactive du tritium de 12,3 ans pourrait aussi contribuer à une certaine réduction des concentrations émanant des déchets qui ont été mesurées à l'ASDR, tout comme une réduction progressive du terme source à la suite de la dispersion du tritium au fil des années et bien évidemment, le retrait rapide d'une majorité de déchets depuis l'année 2020.

Il est utile de rappeler qu'aucun transfert de nouveaux déchets radioactifs n'a été réalisé à l'ASDR en 2021. Cette situation perdure depuis plusieurs années déjà, puisque le plus récent transfert de déchets y a été fait à l'automne 2012. Par ailleurs, les activités de

retrait de déchets de faible et de moyenne activité, entamées en 2019, se sont finalisées en 2021. Outre une seule et unique fosse contenant toujours les filtres usés qui avaient été utilisés en systèmes nucléaires, toutes les autres fosses sont maintenant vides.

8.2.3 Carbone-14

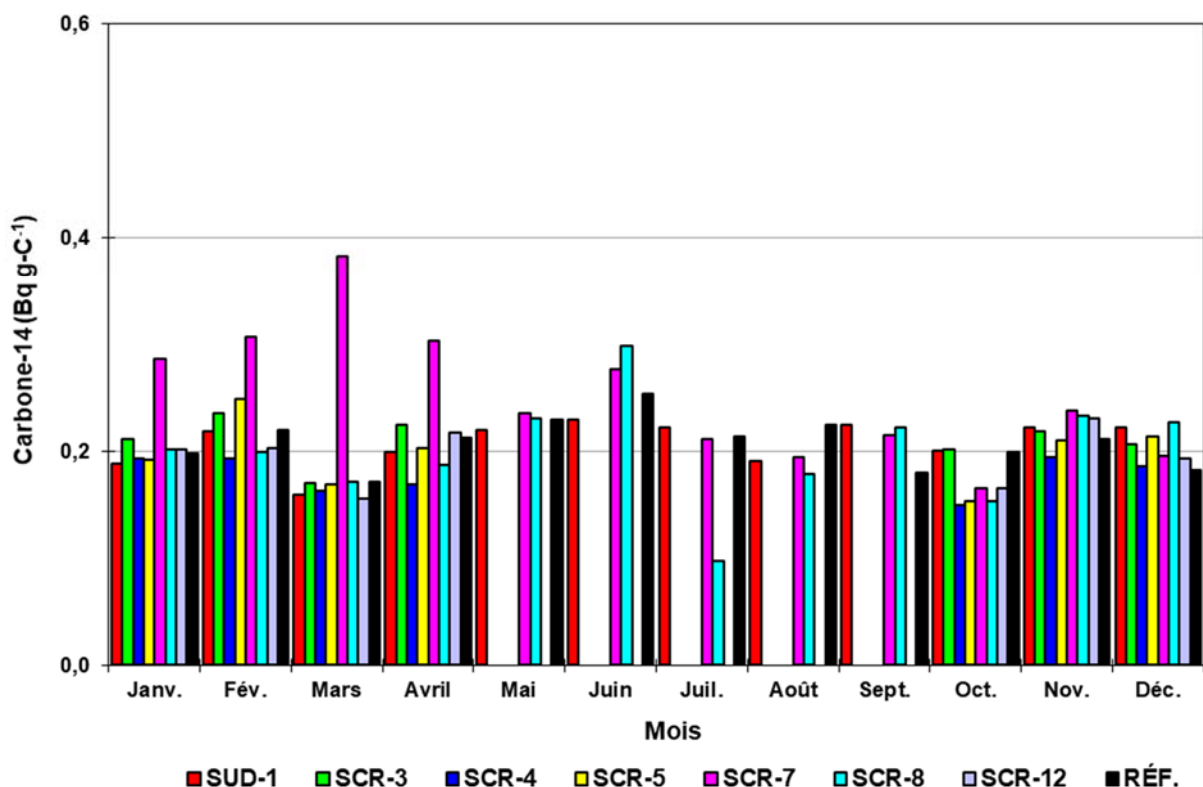
Aux installations de Gentilly-2, les émissions gazeuses de carbone-14, aussi rejetées à l'atmosphère par la cheminée principale, sont majoritairement sous forme de bioxyde de carbone ($^{14}\text{CO}_2$). Aux années suivant la fermeture de la centrale Gentilly-2, ces émissions étaient en grande partie liées aux résines échangeuses d'ions, maintenant toutes stockées aux enceintes étanches de l'IGDRS. À celles-ci, s'ajoutent également d'autres sources secondaires, comme les émanations provenant de certains déchets qui étaient jusqu'à tout récemment, ou le sont toujours actuellement, stockés à l'ASDR. La dispersion environnementale du carbone-14 est aussi influencée par les conditions météorologiques. 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 réalisé à la station de référence de Trois-Rivières. À cette station, la concentration annuelle moyenne de 2021 a été quantifiée à $0,208 \text{ Bq g-C}^{-1}$, ce qui est comparable aux valeurs de concentrations naturelles de carbone-14 atmosphérique présentées dans la littérature scientifique (NCRP, 1985).

Suivant l'achèvement, en 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 montre encore de très faibles valeurs en 2021, et ce, depuis l'année 2018, celles de plusieurs SCR sont aussi en important recul comparativement à cette année charnière de 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.

La figure 8-19 présente les concentrations mensuelles en carbone-14 atmosphérique mesurées en 2021 aux SCR de la zone d'exclusion (carte A-1 de l'annexe A), du parc industriel et portuaire de Bécancour (PIPB) ainsi qu'à la station de référence de Trois-Rivières (carte A-4). En 2016, la station SCR-12 qui assure la surveillance à l'est de la cheminée principale ainsi que la station Sud-1 ont aussi été dotées d'un équipement d'échantillonnage du carbone-14.

Figure 8-19 : Activité mensuelle en carbone-14 atmosphérique aux stations Sud-1, SCR-3 à SCR-5, SCR-7, SCR-8, SCR-12 (zone rapprochée) et à la station de référence pour l'année 2021



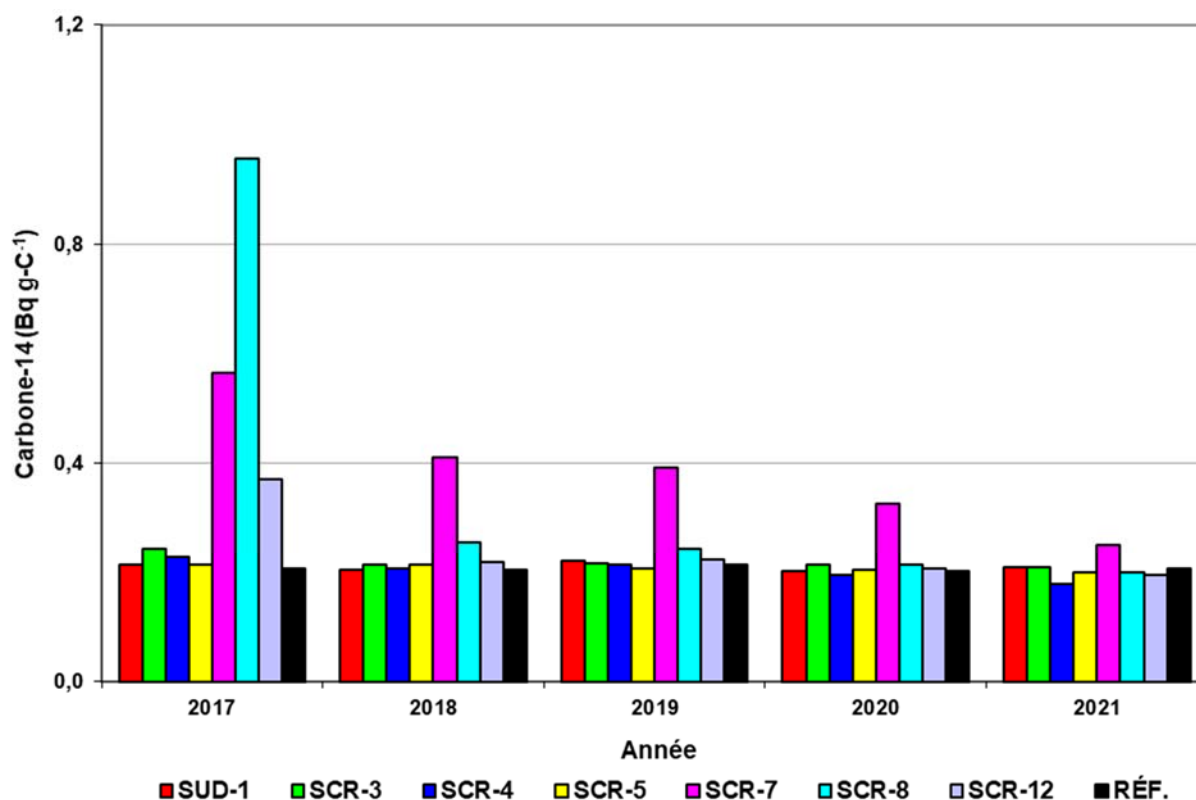
Pour l'ensemble de ces sept stations, les concentrations mensuelles de carbone-14 atmosphérique relevées en 2021 ont varié de 0,097 Bq g-C⁻¹ (SCR-8 en juillet) à 0,383 Bq g-C⁻¹ (SCR-7 en mars).

Considérant le très faible apport de carbone-14 à la cheminée principale documenté depuis l'année 2018, il est dorénavant juste de conclure que ce soient essentiellement les émissions diffuses émanant des déchets radioactifs stockés qui soient mesurées à la surveillance de la dispersion environnementale. C'est pourquoi seule la station SCR-7, située à proximité du périmètre de l'ASDR, montre un profil de concentrations qui se démarque significativement du bruit de fond pour le premier semestre de l'année 2021. Le retrait d'une majorité des déchets de cette installation de stockage, au cours de l'été 2021, aura tôt fait de ramener les valeurs mensuelles de cette SCR à des niveaux similaires à toute autre station suivie au PSRE.

La figure 8-20 présente toutes les valeurs annuelles moyennes de concentrations de carbone-14 atmosphérique issues d'échantillons provenant des SCR situées dans la zone d'exclusion (carte A-1 de l'annexe A), de celles du PIPB, à la station Sud-1 située à la limite de la propriété d'Hydro-Québec ainsi qu'à la station de référence de Trois-Rivières, pour la période 2017-2021 (carte A-4 de l'annexe A).

À la récapitulation des cinq dernières années, le clivage important qui témoigne de l'influence des travaux liés à la gestion des résines usées échangeuses d'ions est très présent. À partir de l'année 2018, plusieurs concentrations atmosphériques annuelles moyennes de carbone-14 sont en forte diminution. Spécifiquement pour l'année 2021, seule la station Sud-1 voit sa valeur en faible augmentation en comparaison de l'année précédente, à 3,0 %. Pour toutes les autres SCR de ce groupe, les diminutions varient de 1,9 % (SCR-3) à 23,1 % (SCR-7).

Figure 8-20 : Activité annuelle moyenne en carbone-14 atmosphérique aux stations Sud-1, SCR-3 à SCR-5, SCR-7, SCR-8 et SCR-12 (zone rapprochée) et à la station de référence pour la période 2017-2021

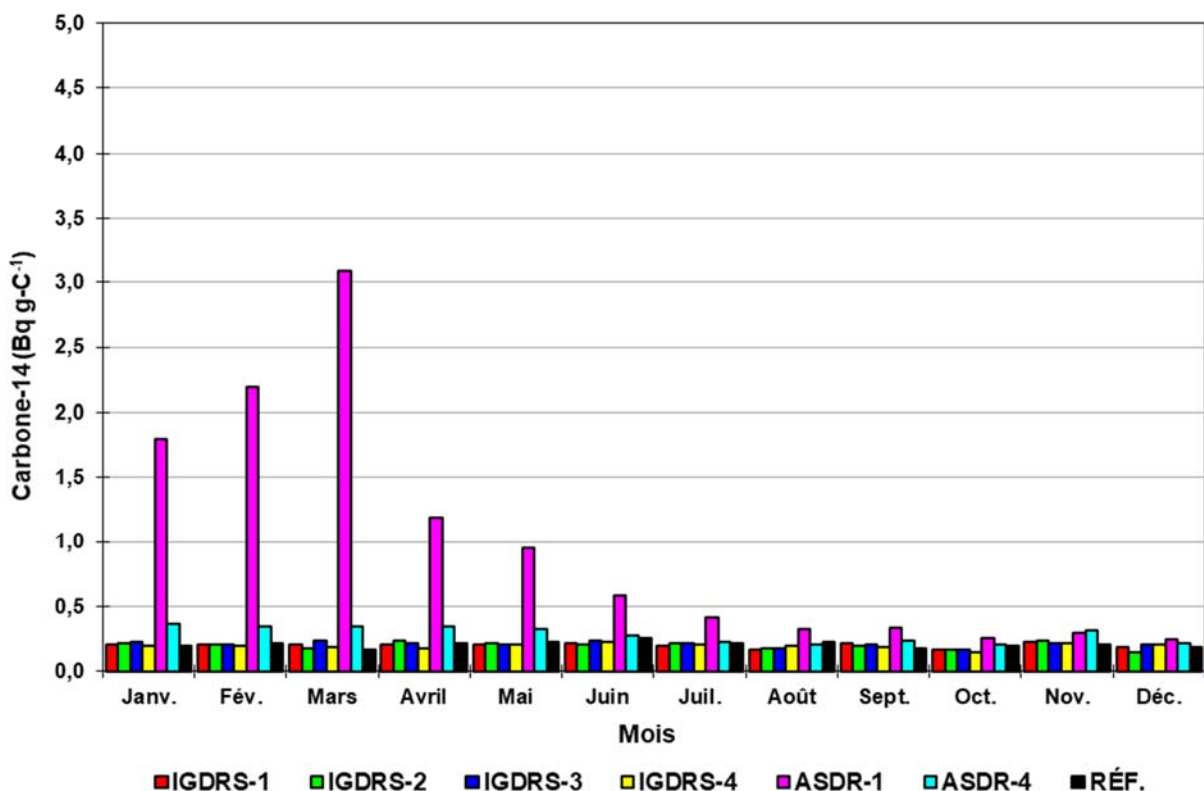


La figure 8-21 présente pour sa part les valeurs mensuelles d'activité en carbone-14 atmosphérique provenant de quatre stations érigées en périphérie de l'IGDRS, de deux autres stations sises au pourtour de l'ASDR ainsi qu'à la station de référence de Trois-Rivières (cartes A-1 et A-4 de l'annexe A) pour l'année 2021.

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, toutes les valeurs mensuelles de l'année 2021 ont varié de 0,149 Bq g-C⁻¹ (IGDRS-2 en décembre) à 3,089 Bq g-C⁻¹ (ASDR-1 en mars). Elles confirment encore en 2021 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 connue et documentée de longue date.

Par ailleurs, le retrait de la majorité des déchets radioactifs des fosses de l'ASDR, au cours du printemps et de l'été 2021, a eu un impact immédiat sur les valeurs rendues par la station ASDR-1. Historiquement, cette station a toujours été celle pour laquelle les valeurs de carbone-14 atmosphérique auront été les plus élevées. Dès le mois d'avril de l'année 2021, les valeurs de concentrations mensuelles fléchissent rapidement, jusqu'à rejoindre une plage similaire à toute autre station du PSRE.

Figure 8-21 : Activité mensuelle en carbone-14 atmosphérique à l'IGDRS, à l'ASDR et à la station de référence pour l'année 2021



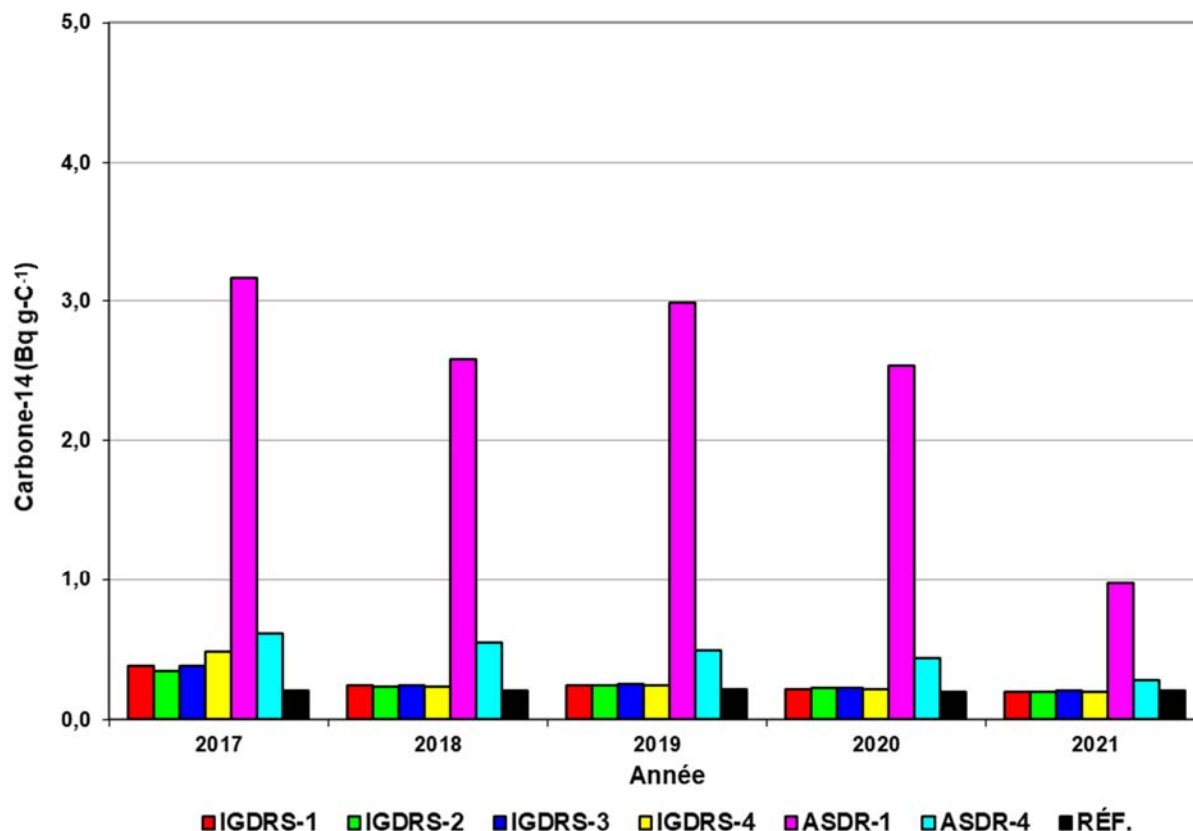
La figure 8-22 présente les valeurs de concentration annuelle moyenne de carbone-14 atmosphérique aux six stations en périphérie de l'IGDRS et de l'ASDR ainsi qu'à la station de référence (cartes A-1 et A-4 de l'annexe A) pour la période 2017-2021.

En comparaison de l'année précédente, les concentrations atmosphériques annuelles moyennes de carbone-14 mesurées aux stations aménagées au pourtour des installations de stockage de déchets radioactifs sont toutes en diminution en 2021. Ces dernières varient de 7,2 % (IGDRS-3) à 61,6 % (ASDR-1).

Comme toutes les fosses de l'ASDR, sauf une, sont maintenant vides, Hydro-Québec sera maintenant en mesure de déceler une possible diffusion du $^{14}\text{CO}_2$ dans le béton des enceintes, s'il y avait eu carbonatation au cours des années de stockage de déchets. Au

démantèlement de cette installation, une validation des concentrations de carbone-14 sera aussi menée à cet égard, préalablement à toute disposition du béton des enceintes.

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 2017-2021

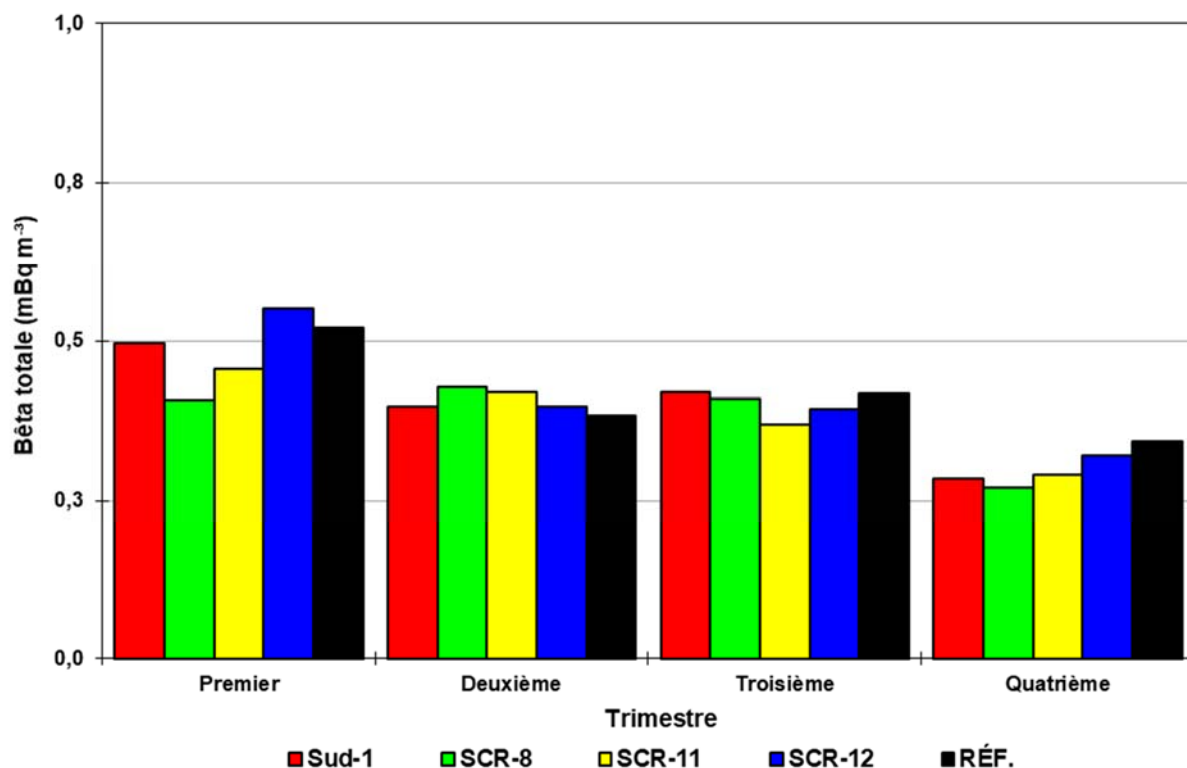


8.2.4 Aérosols

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 2021, 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 2021



Pour l'ensemble de ces quatre stations, les valeurs mensuelles d'activité bêta totale colligées en 2021 ont varié de 0,24 mBq m⁻³ (SCR-8 en février et novembre et SCR-11 en décembre) à 1,01 mBq m⁻³ (SCR-12 en mars). Comme par le passé, les valeurs trimestrielles moyennes d'activité bêta totale quantifiée pour ces stations en 2021 sont d'un même ordre de grandeur que celles de la station de référence. En comparaison, la valeur mensuelle maximale à la station de référence fut de 0,81 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 surtout le sel de déglacage épanchés en abondance sur les voies de circulation automobile. Ces particules contiennent notamment du potassium-40, d'origine naturelle. 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, et qui serait survenu dans le cadre des activités de déclasserment aux installations de Gentilly-2.

Les figures 8-24 et 8-25 présentent pour leur part les mesures d'activité bêta totale quantifiée dans les aérosols en 2021, 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 2021

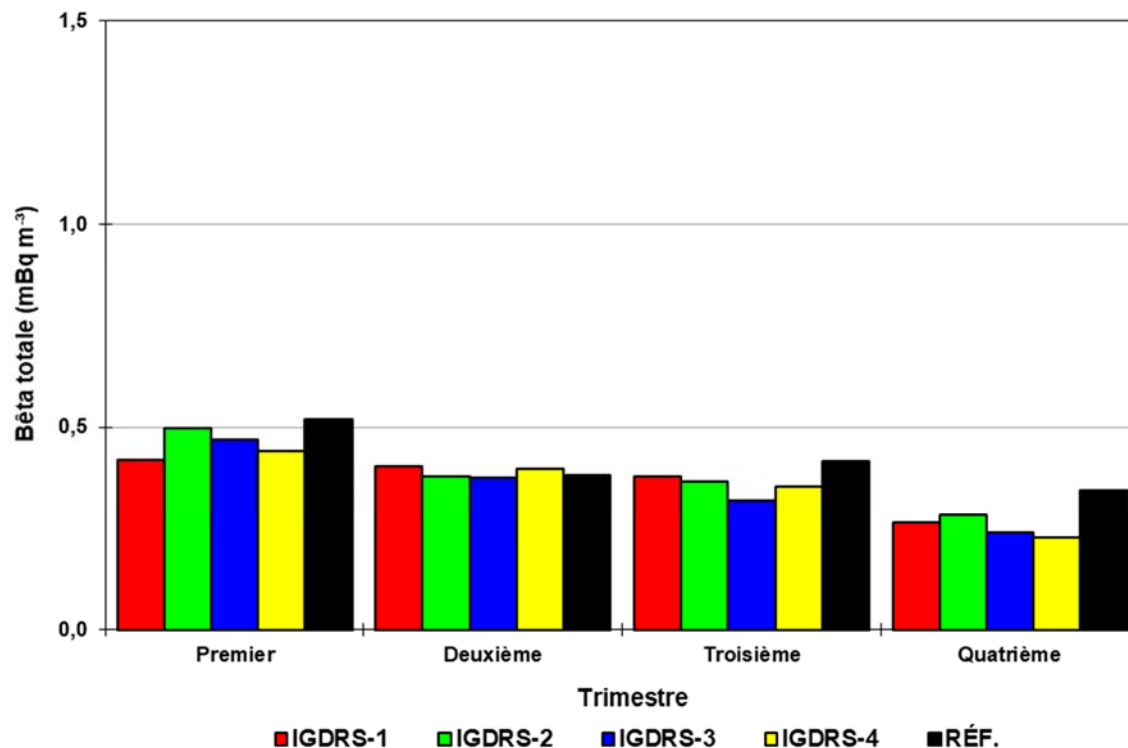
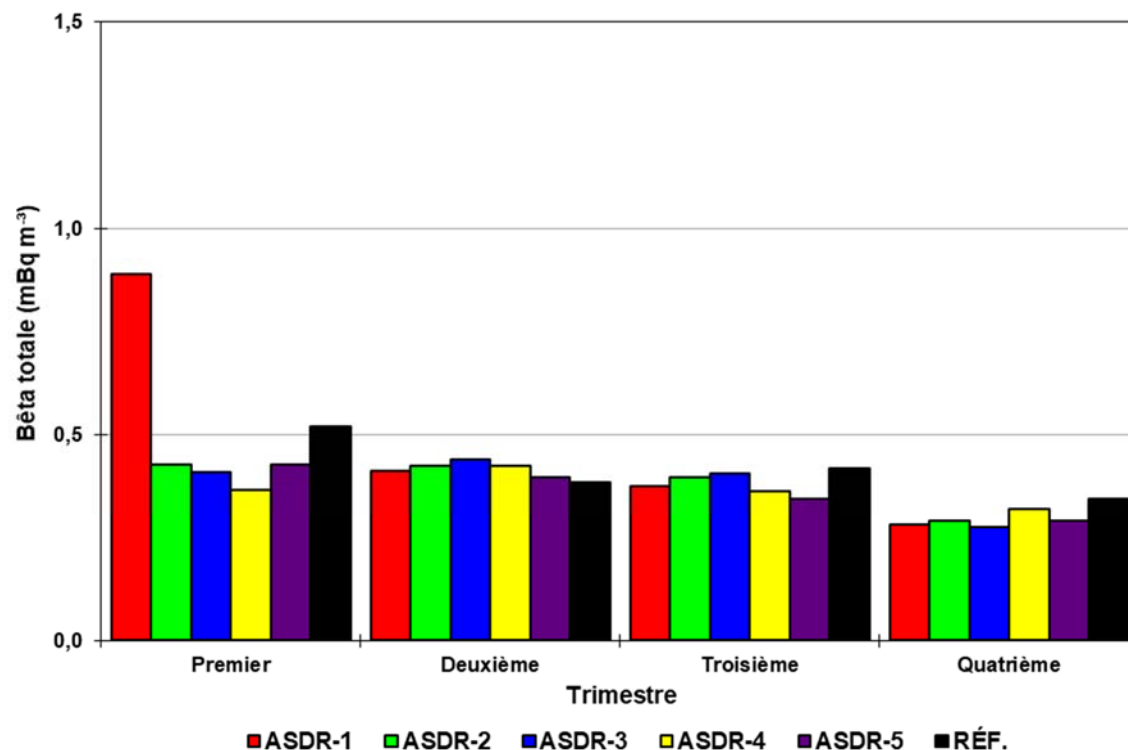


Figure 8-25 : Moyenne trimestrielle de l'activité bêta totale dans les aérosols prélevés à l'ASDR et à la station de référence pour l'année 2021



Les neuf SCR que comptent ces deux groupes, également équipées pour la collecte d'échantillons particuliers dans l'air, bordent respectivement les deux seules installations de stockage de déchets radioactifs solides à Gentilly-2. Advenant une condition anormale au cours d'une manipulation de déchets, ou même pendant la période de stockage, l'émission de particules radioactives pourrait y survenir. C'est la raison pour laquelle Hydro-Québec priorise 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 2021 aux quatre stations de l'IGDRS sont également similaires à celles issues de la station de référence. À cette installation spécifiquement, les valeurs mensuelles d'activité bêta totale ont varié, en 2021, de 0,15 mBq m⁻³ (IGDRS-3 en octobre) à 0,72 mBq m⁻³ (IGDRS-3 en mars). Aucune valeur ne témoigne de quelque événement que ce soit.

En ce qui concerne les valeurs spécifiques à l'ASDR, seules celles issues de la station ASDR-1 se démarquent de façon notable de la station de référence identifiée au PSRE. Bien que l'activité volumique mensuelle de cette station n'ait atteint 1 mBq m⁻³ qu'à une seule reprise au cours de l'année, les trois valeurs mensuelles du premier trimestre de 2021 sont légèrement plus élevées que l'ensemble des autres stations de ce regroupement. On peut alors supposer qu'un apport local ait contribué, et ce, nonobstant le fait qu'aucune fosse de l'installation ne fut ouverte durant cette période précise. En 2021, à l'ASDR, les valeurs mensuelles d'activité bêta totale ont varié de 0,21 mBq m⁻³ (ASDR-5 en août) à 1,11 mBq m⁻³ (ASDR-1 en mars).

Cela 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 2021.

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 des spécialistes 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.

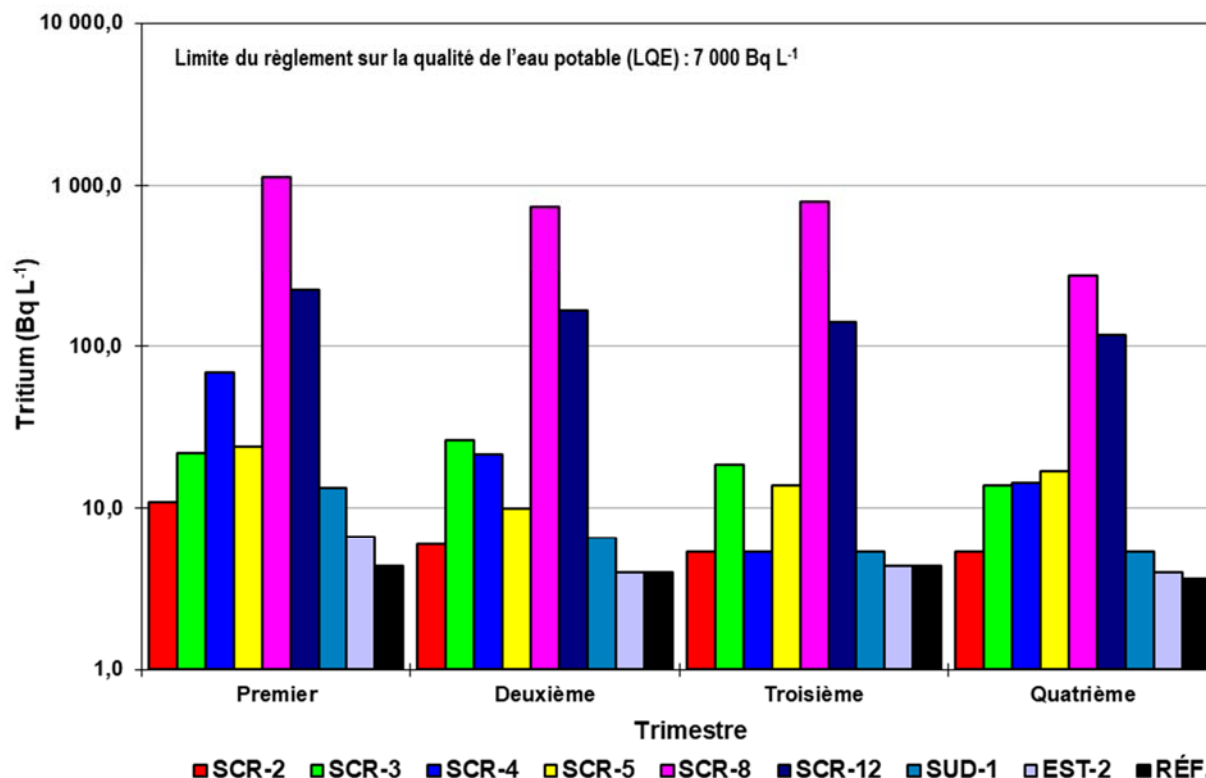
8.3.1 Précipitations

La figure 8-26 présente les valeurs trimestrielles moyennes des concentrations en tritium mesurées dans les eaux de précipitations (pluie, grésil ou neige) pour l'année 2021. 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 2021, de 27 mm (août) à 122 mm (juin). Ces données de quantification proviennent de l'instrumentation météorologique du site appartenant au MELCC, érigée 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 2021



Les concentrations trimestrielles moyennes de tritium quantifiées dans l'eau des précipitations récoltée aux huit SCR des zones d'exclusion et rapprochée varient, en 2021, de 4 Bq L⁻¹ (Est-2 au 2^e et 4^e trimestre) à 1 125 Bq L⁻¹ (SCR-8 au 1^e trimestre) alors que toutes les concentrations de la station de référence sont égales ou inférieures

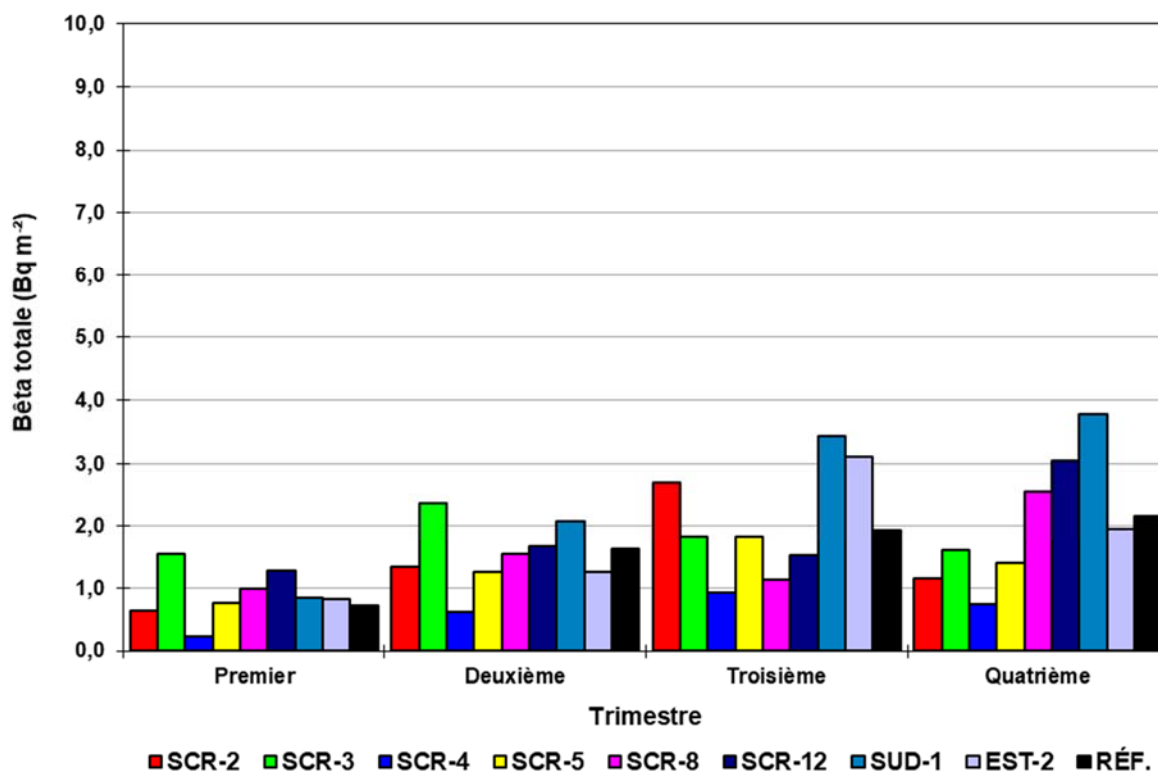
à 5 Bq L^{-1} . La valeur trimestrielle moyenne maximale de l'année 2020 avait également été associée à la station SCR-8 ($2\,412 \text{ Bq L}^{-1}$). Comme cette station est la plus rapprochée de la cheminée principale, il était attendu qu'elle présente à nouveau en 2021 les valeurs les plus élevées, en l'absence d'événement particulier à Gentilly-2.

Les moyennes trimestrielles mesurées en 2021 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 2021, 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, notamment 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 d'une SCR.

En 2021, aucune des valeurs mensuelles d'activité bêta totale n'a été supérieure au seuil déclencheur statué au PSRE (10 Bq m^{-2}) engageant à une analyse additionnelle de spectrométrie gamma.

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 2021

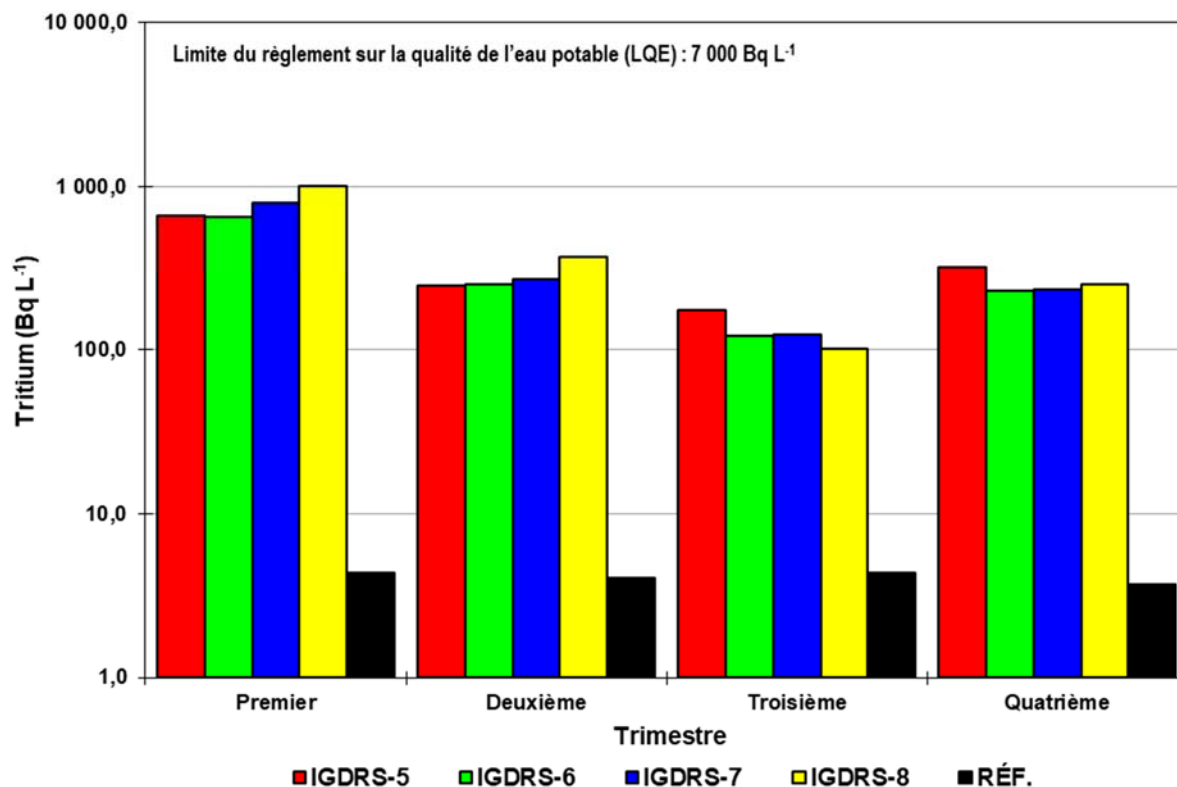


La figure 8-28 illustre les valeurs trimestrielles moyennes d'activité de tritium dans les eaux de précipitations pour les quatre stations ceinturant le périmètre clôturé de l'IGDRS (carte A-6 de l'annexe A) et à la station de référence (carte A-4 de l'annexe A) pour l'année 2021.

Les valeurs trimestrielles moyennes de tritium à ces stations de l'IGDRS ont varié de 101 Bq L⁻¹ (IGDRS-8 au 3^e trimestre) à 1 017 Bq L⁻¹ (IGDRS-8 au 1^{er} 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.

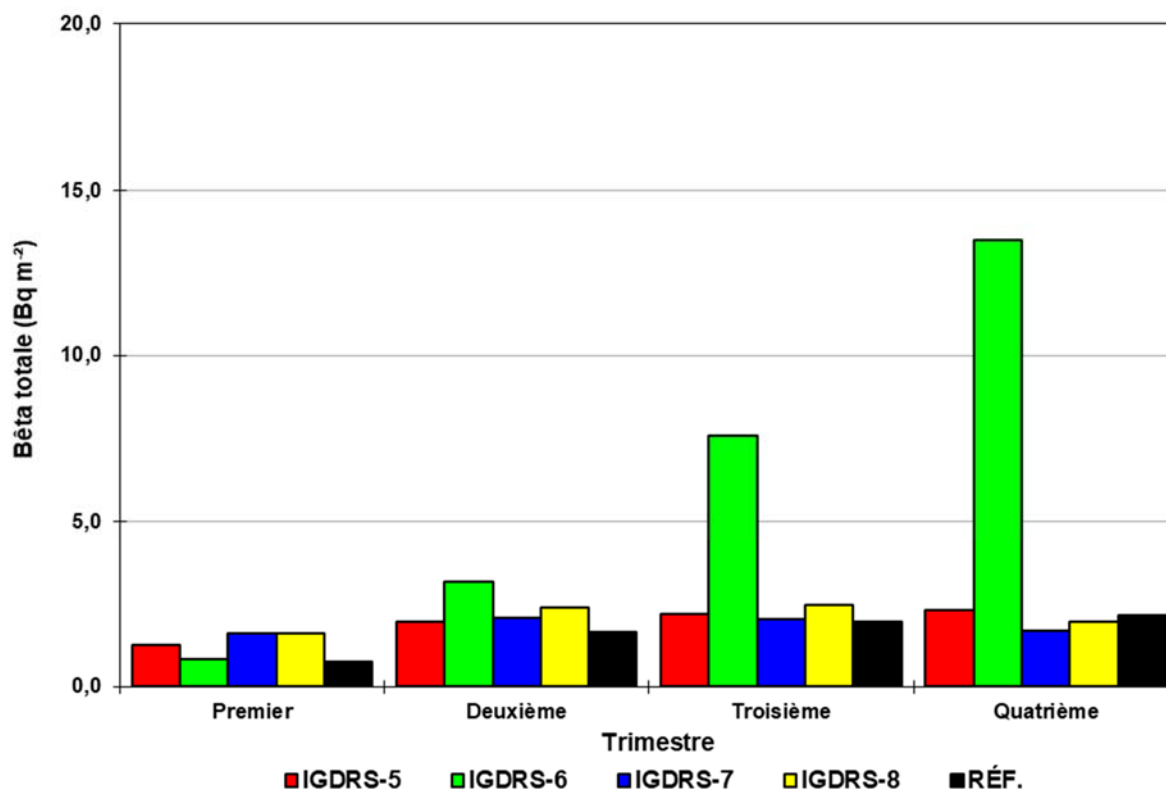
Figure 8-28 : Moyenne trimestrielle de l'activité en tritium dans les précipitations aux stations IGDRS-5 à 8 et à la station de référence pour l'année 2021



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 2021. La moyenne trimestrielle maximale de ce regroupement fut de 13,5 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 juillet (16,7 Bq m⁻²) et décembre (29,5 Bq m⁻²). Aux analyses supplémentaires menées sur ces échantillons, le potassium-40 fut quantifié en tant qu'émetteur gamma, à 26,0 Bq m⁻² (juillet) et 32,0 Bq m⁻² (décembre). Le plomb-212 a aussi été quantifié à 0,41 Bq m⁻² dans l'échantillon du mois de décembre.

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 2021



Les eaux de surface du site sont principalement alimentées par les précipitations et 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.

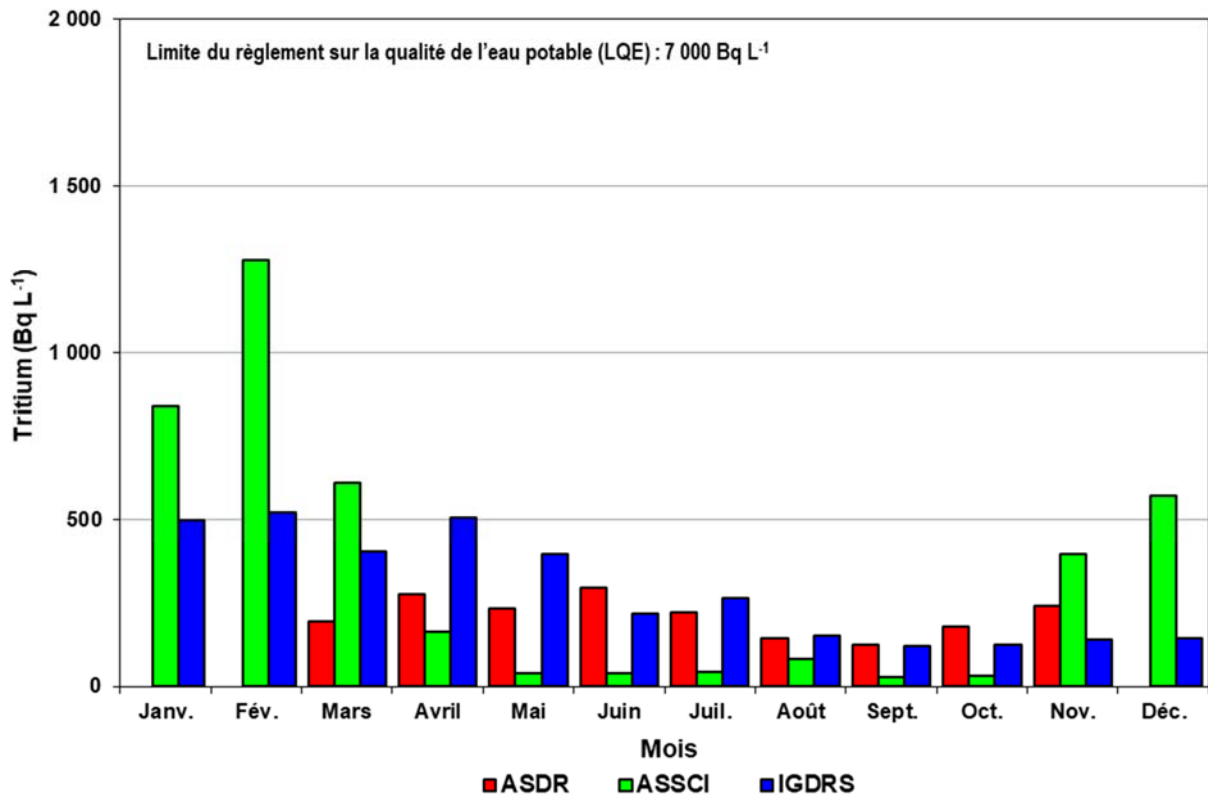
Les résultats illustrés représentent :

- une moyenne des résultats des prélèvements des points S-16 et S-17 pour la série identifiée ASDR (tritium et bêta totale) ;
- le résultat des prélèvements du seul point S-1 pour la série identifiée ASSCI (tritium et bêta totale) ;
- une moyenne des résultats des prélèvements à l'échantillonneur automatique et à la vanne guillotine (1520-V1) de la digue du côté ouest pour la série identifiée IGDRS (tritium) ;
- le résultat des prélèvements à l'échantillonneur automatique pour la série identifiée IGDRS (bêta totale).

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 données est souvent attribuable au fait que des points d'échantillonnage étaient secs ou gelés au moment du prélèvement.

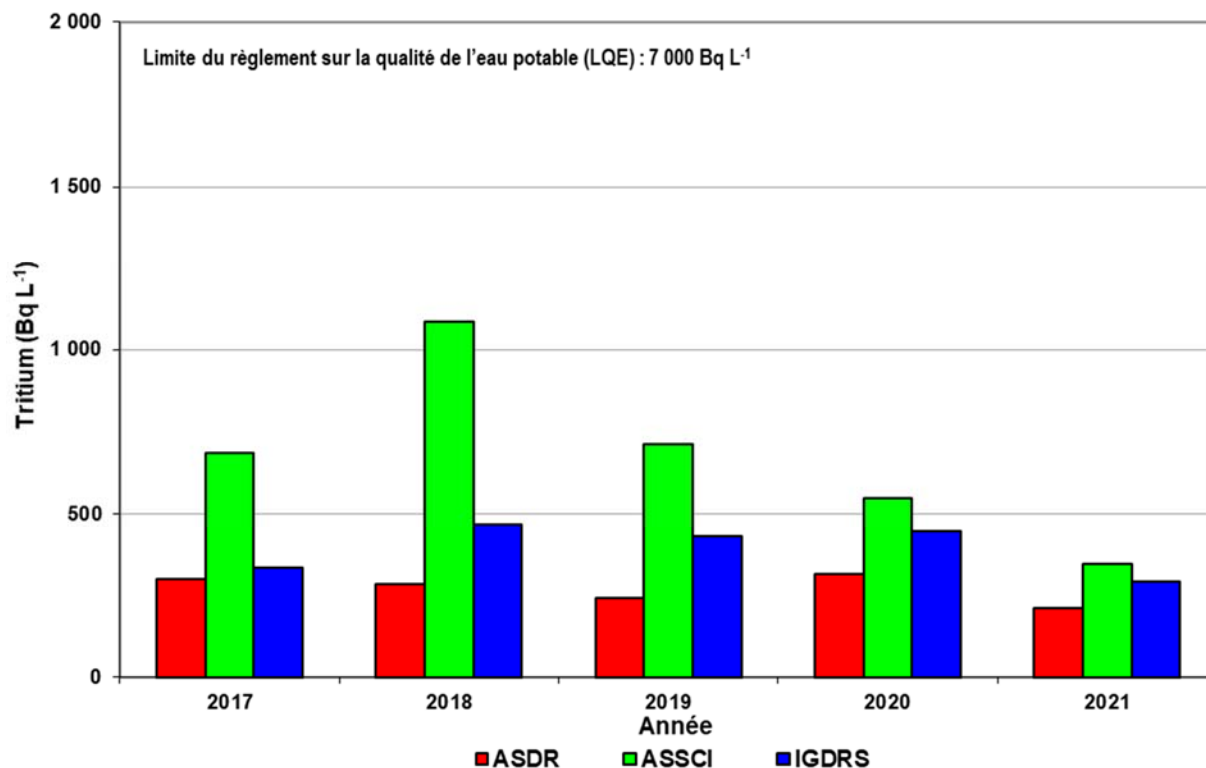
La figure 8-30 illustre les moyennes mensuelles de l'activité en tritium dans l'eau de surface mesurée aux points d'échantillonnage précités. En 2021, les valeurs ont varié de 27 Bq L⁻¹ (ASSCI en septembre) à 1 278 Bq L⁻¹ (ASSCI en février). Afin de relativiser cette valeur maximale, rappelons que la 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 2021



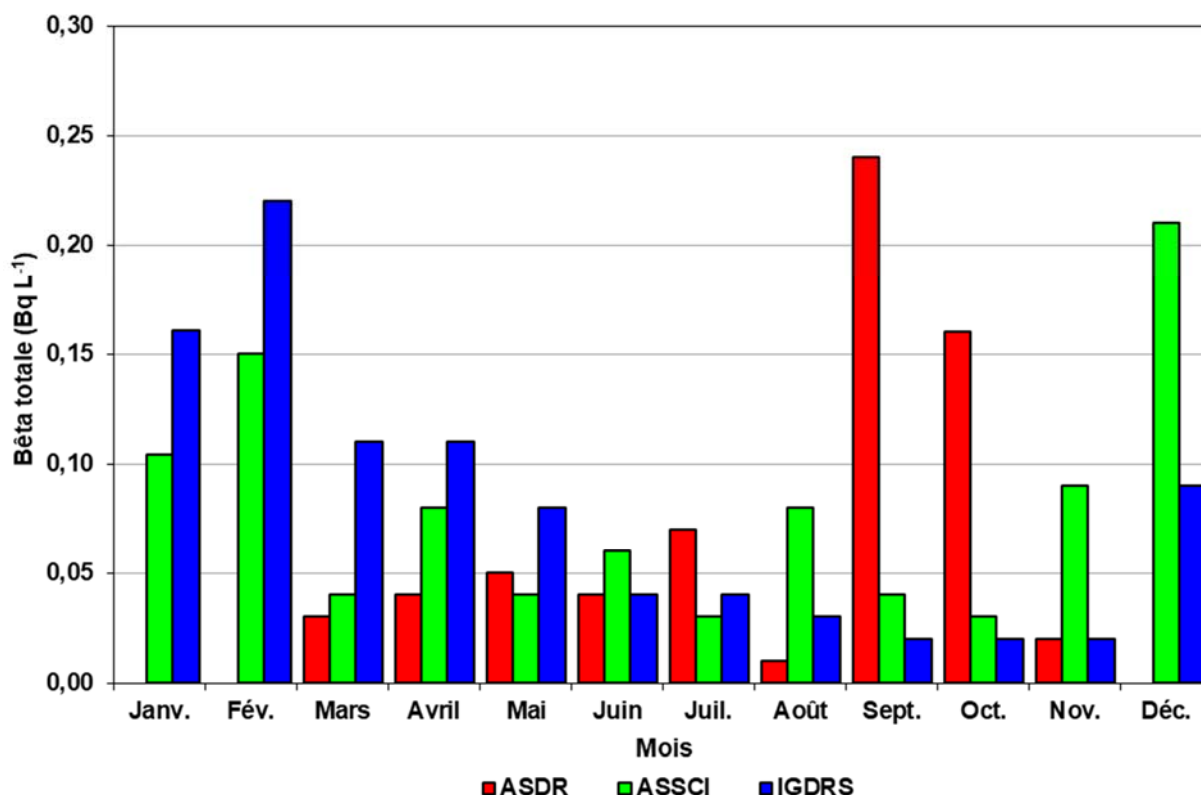
Les valeurs annuelles moyennes de l'activité en tritium des eaux de surface à l'ASDR, à l'IGDRS et à l'ASSCI paraissent à la figure 8-31. Comparativement à l'année précédente, les données de l'année 2021 indiquent des baisses de 37,4 % pour l'ASSCI, de 34,4 % pour l'IGDRS et de 32,9 % pour l'ASDR.

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 2017-2021



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 2021, la valeur maximale mesurée a été de 0,24 Bq L⁻¹ (ASDR en septembre). 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 2021



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 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 2021, des échantillons ont ainsi été prélevés en avril, mai, juin, juillet, août et octobre, aux points en aval du canal de rejet (B et C). Sur l'ensemble des douze échantillons analysés, trois montraient une teneur en tritium égale ou supérieure à la LD (variant de 3 à 5 Bq L⁻¹), soit ceux prélevés au point B en avril (12 Bq L⁻¹), août (5 Bq L⁻¹) et octobre (3 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 au carbone-14, il n'a été détecté dans aucun des douze échantillons analysés. Par ailleurs, les analyses de spectrométrie gamma ont permis de quantifier du potassium-40 à une reprise au point B

soit en octobre ($4,0 \text{ Bq kg}^{-1}$) et à quatre reprises au point C soit en avril ($6,2 \text{ Bq kg}^{-1}$), mai ($3,8 \text{ Bq kg}^{-1}$), juillet ($3,9 \text{ Bq kg}^{-1}$) et octobre ($4,7 \text{ Bq kg}^{-1}$).

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 susceptibles d'être 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.

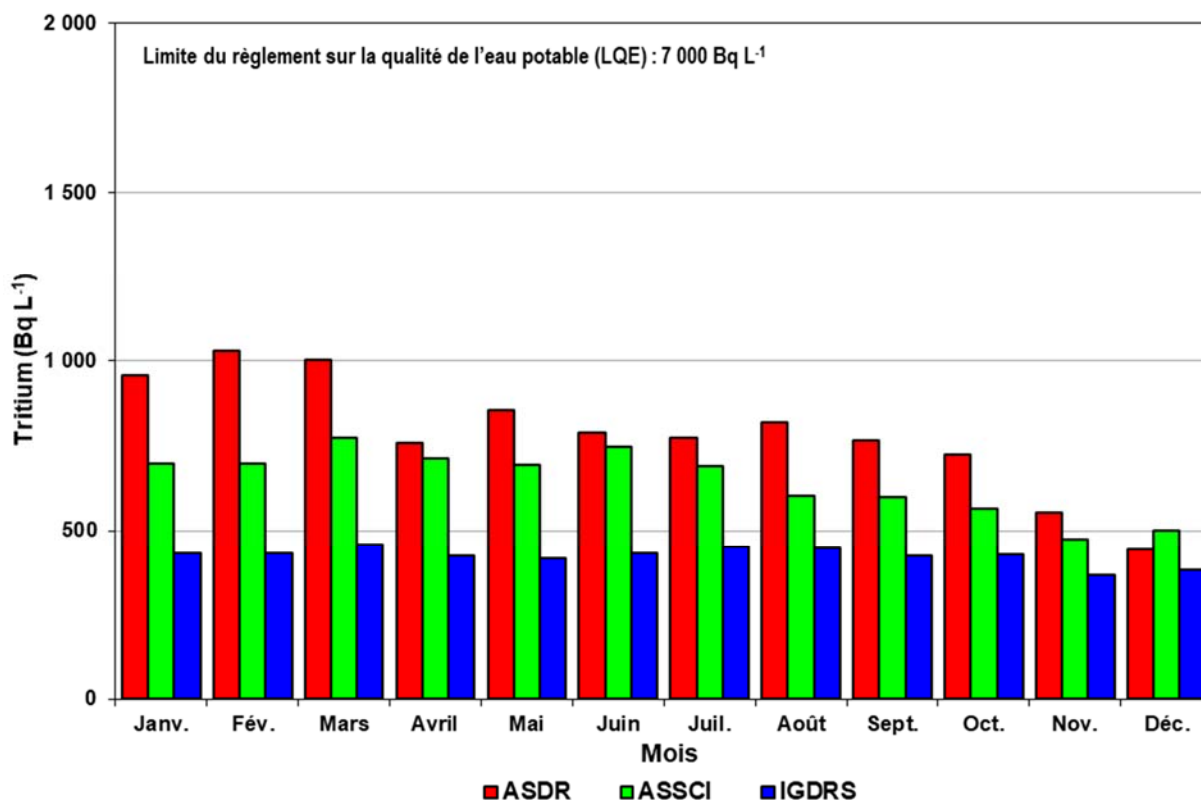
Les résultats illustrés représentent :

- 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.

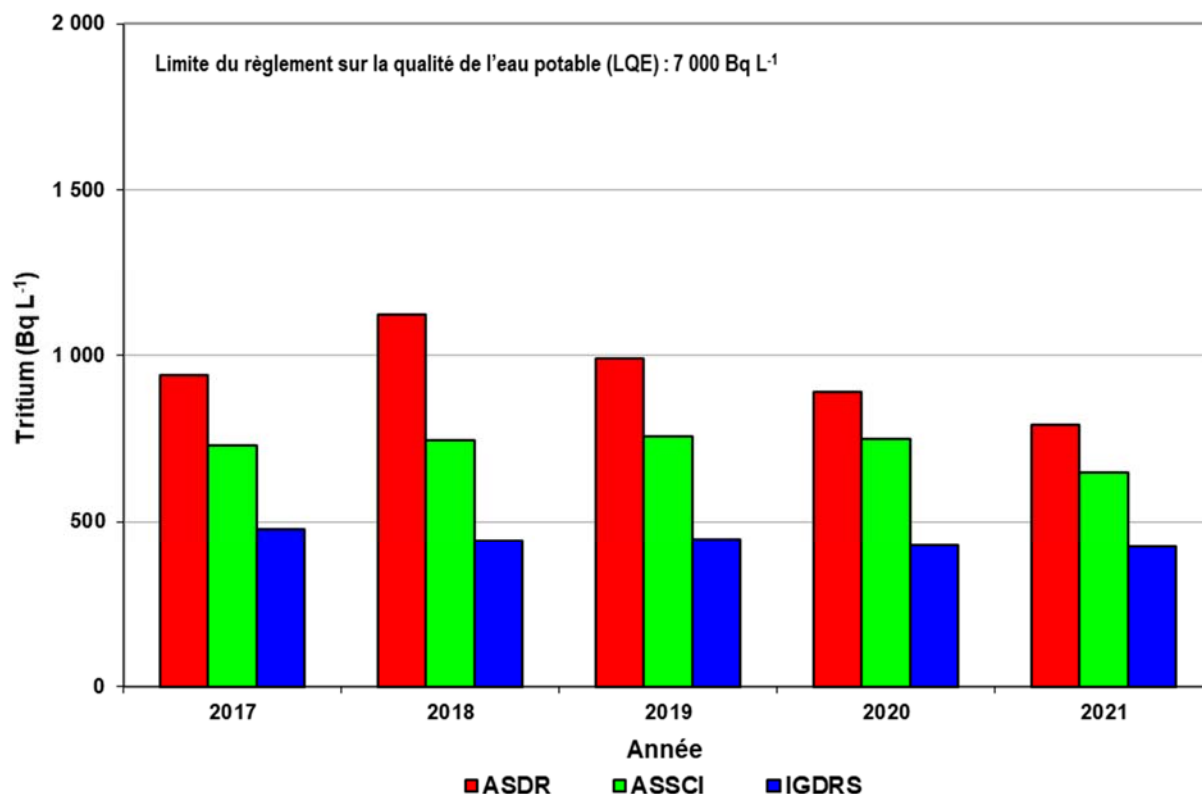
La figure 8-33 porte plus précisément sur les moyennes mensuelles de l'activité en tritium mesurée aux différents points d'échantillonnage de l'ASDR, de l'IGDRS et de l'ASSCI. En 2021, toutes les valeurs ont varié de 367 Bq L^{-1} (IGDRS en novembre) à $1\,030 \text{ Bq L}^{-1}$ (ASDR en février). Les valeurs moyennes maximales des deux autres installations étaient de 776 Bq L^{-1} (ASSCI en mars) et 458 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 2021



La figure 8-34 présente, pour la période 2017-2021, 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 2021 à celles de 2020, on constate des diminutions de 13,5 % pour l'ASSCI, de 1,0 % pour l'IGDRS et de 11,2 % pour l'ASDR.

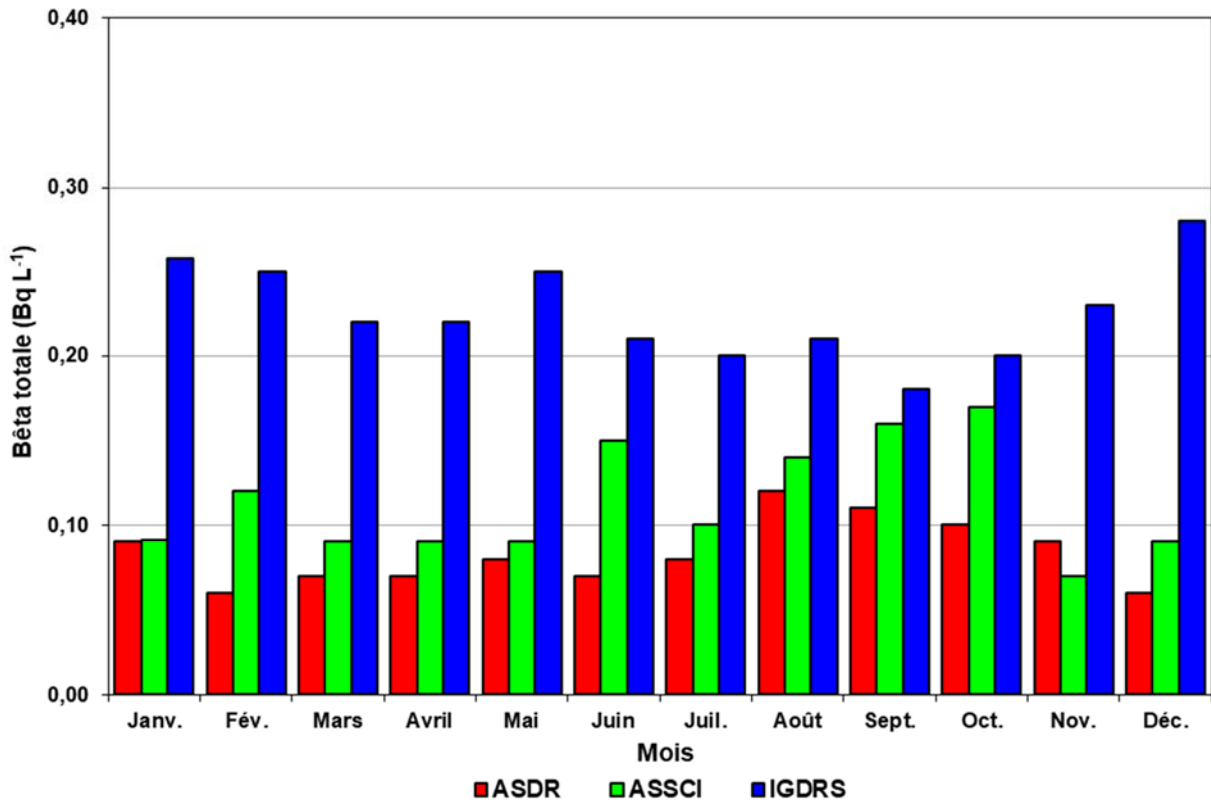
Figure 8-34 : Moyenne annuelle de l'activité en tritium dans l'eau d'infiltration autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS pour la période 2017-2021



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 2021 dans l'eau d'infiltration étaient inférieures ou égales à 0,28 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 2021



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 soient 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 ;

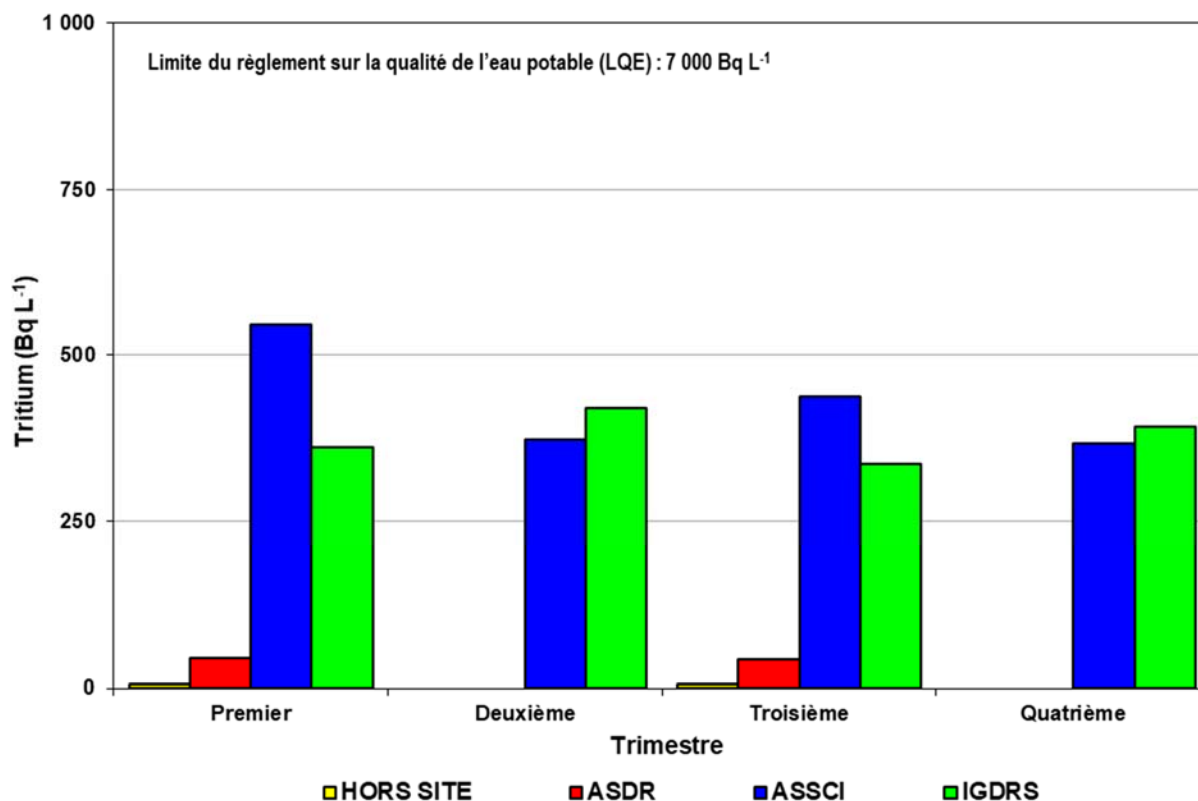
- une moyenne des mesures relevées aux horizons A et B des points P-1, P-5, P-6, P-7, P-11, P-12, P-X et P-Y pour la série identifiée IGDRS.

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 2021, 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 2021 ont à nouveau été mesurées à l'ASSCI, où la valeur maximale de 547 Bq L⁻¹ fut quantifiée au premier trimestre.

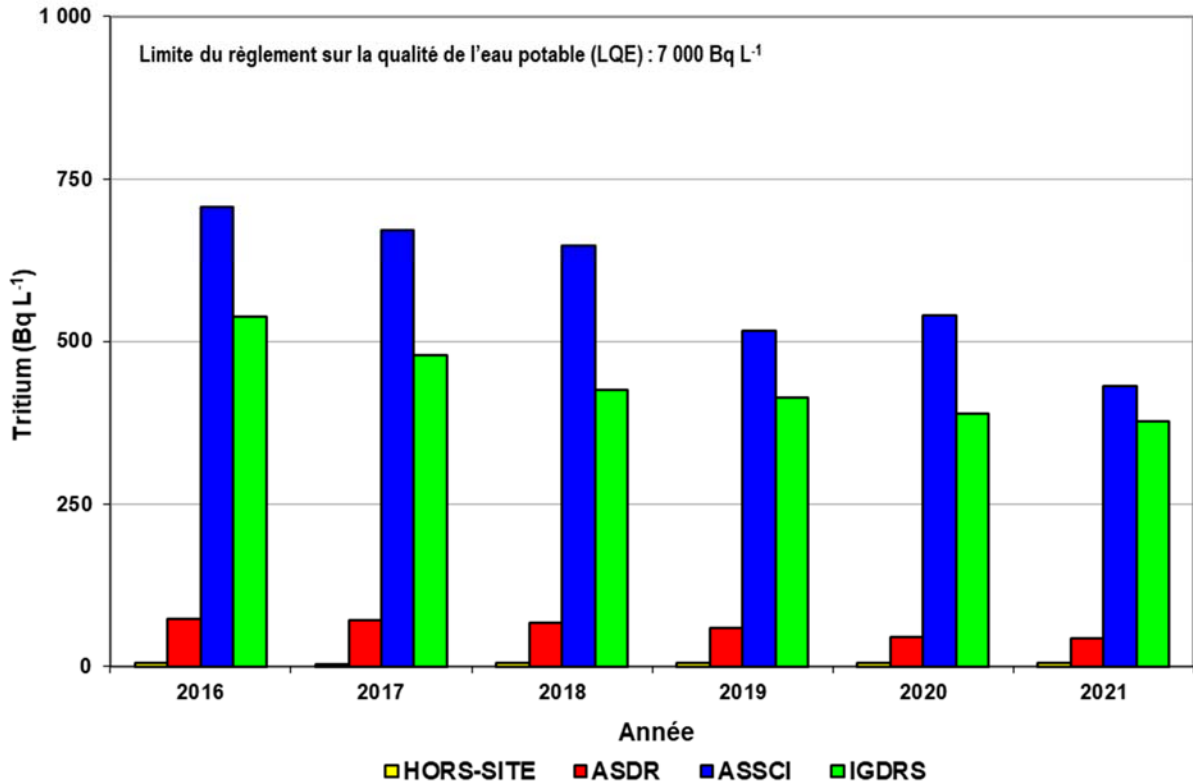
Figure 8-36 : Moyenne trimestrielle de l'activité en tritium dans l'eau souterraine de l'ASDR, de l'ASSCI, de l'IGDRS et hors site pour l'année 2021



La figure 8-37 présente, pour la période 2017-2021, 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 de l'année 2021 à celles

de 2020, on constate des diminutions de 20,3 % pour l'ASSCI, de 3,1 % pour l'IGDRS et de 4,0 % pour l'ASDR.

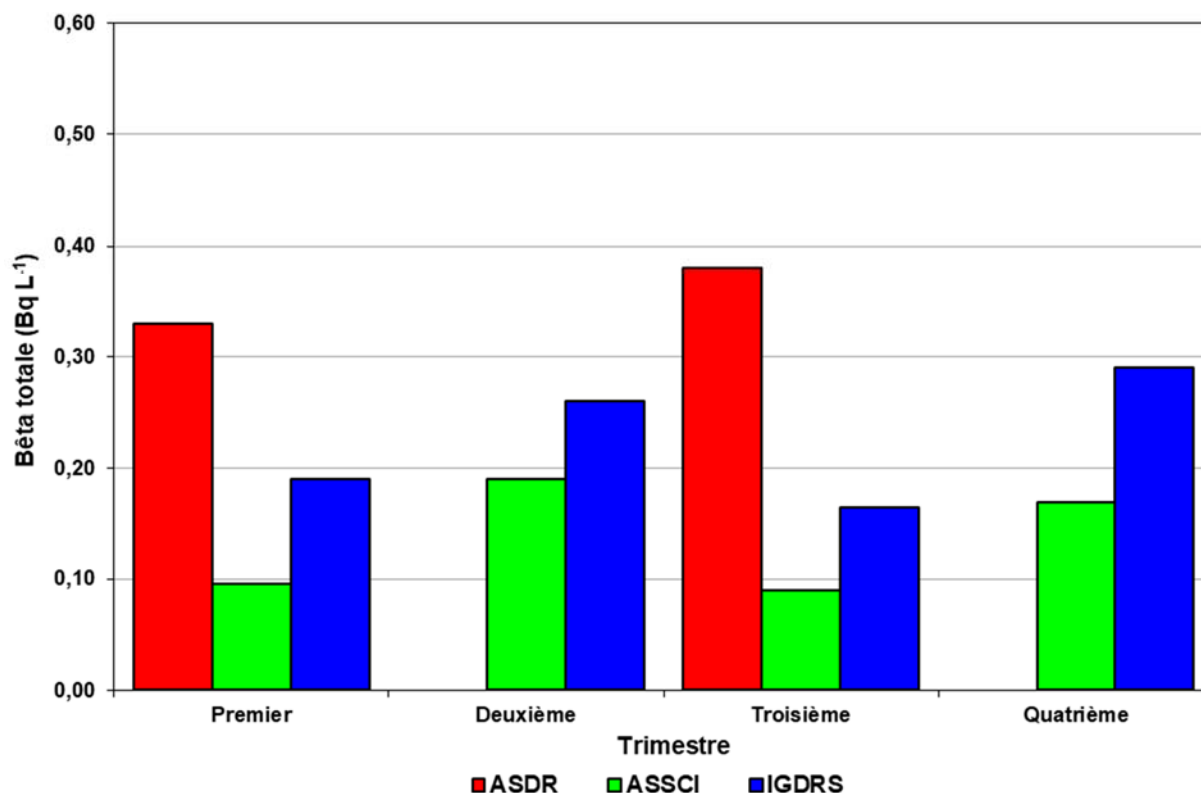
Figure 8-37 : Moyenne annuelle de l'activité en tritium dans l'eau souterraine autour de l'ASDR, de l'ASSCI et de l'IGDRS et hors site pour la période 2017-2021



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 2021 sont égales ou inférieures à une activité de 0,29 Bq L⁻¹, à l'exception d'un échantillon provenant de l'ASDR dont la moyenne au 2^e semestre est de 0,38 Bq L⁻¹. Ce résultat a atteint le critère déclencheur (0,35 Bq L⁻¹) pour les eaux souterraines, engendrant des analyses supplémentaires de spectrométrie gamma nécessaires à l'identification formelle des radionucléides en présence sur des échantillons unitaires pendant une période de 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 d'origine naturelle alors que les autres radionucléides sont issus de la filiation des chaînes de désintégration de l'uranium-235 et 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 2021



8.3.4 Eau potable

En respect des modalités de l'actuelle version du 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 Saint-Laurent (secteur de Gentilly). En 2021, les résultats d'analyse de tritium des quatre points d'échantillonnage ont tous été inférieurs au seuil de détection de la méthode analytique (5 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 sols ont été prélevés le 12 avril 2021 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 2021

Radionucléide	Activité maximale mesurée (LD) (Bq kg ⁻¹)	Ferme
⁷ Be	6,4 (0,8)	n ^o 3
⁴⁰ K	717 (21)	n ^o 3
¹³⁷ Cs	5,5 (0,2)	n ^o 3

Le béryllium-7 dans les sols est d'origine cosmique alors que le potassium-40 est un des radionucléides qui est le plus fréquemment rencontré 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 d'armements nucléaires passés et à d'autres événements tels que celui de Tchernobyl. Ces radionucléides sont détectés année après année et les résultats obtenus en 2021 sont comparables à ceux obtenus au cours des années antérieures.

8.4.2 Sédiments dynamiques

Avant la mise en application des modifications apportées au PSRE en 2017, 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 des données et du fait que les concentrations mesurées à la station A variaient peu, le PSRE révisé en 2017 prévoit que les échantillons de sédiments dynamiques soient prélevés seulement aux stations B et C, celles-ci étant maintenant les seules susceptibles d'être affectées par les effluents liquides radioactifs de l'installation nucléaire de Gentilly-2.

En 2021, des échantillons de sédiments ont été prélevés les 23 juin, 24 août et 25 octobre aux stations B et C. 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 2021

Radionucléide	Activité maximale mesurée (LD) (Bq kg ⁻¹)	
	B	C
⁷ Be	102 (5)	64 (2)
⁴⁰ K	984 (29)	701 (20)
⁶⁰ Co	29,6 (0,6)	0,99 (0,08)
⁵⁴ Mn	< 1,0	< 0,34
⁹⁴ Nb	0,44 (0,10)	< 0,29
⁹⁵ Nb	< 2,1	< 1,0
⁹⁵ Zr	< 3,4	< 0,94
¹²⁴ Sb	< 2,0	< 0,46
¹²⁵ Sb	< 4,4	< 0,77
¹³⁷ Cs	9,3 (0,3)	7,0 (0,2)
¹⁵³ Gd	< 3,6	< 0,73
²³⁵ U	2,8 (0,2)	1,9 (0,1)
²³⁸ U	56 (2)	61 (2)
¹⁴ C	< 0,12	< 0,12

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 B et C.

Tous ces radionucléides ont été quantifiés à des concentrations plus élevées à la station B qu'à la station C. Une faible concentration de niobium-94 a également été détectée à la station B. L'activité des autres radionucléides analysés dans les sédiments des deux stations était, quant à elle, inférieure au seuil de détection de la méthode d'analyse utilisée. 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 : $0,08796 \text{ kg-C kg}^{-1} \text{ PF}$ pour la chair et les coquilles des mollusques; $0,12175 \text{ kg-C kg}^{-1} \text{ PF}$ pour la chair des poissons (Groupe CSA, 2014); $0,048 \text{ kg-C kg}^{-1} \text{ PF}$ pour les plantes aquatiques; $0,100 \text{ kg-C kg}^{-1} \text{ PF}$ pour les plantes fourragères; $0,030 \text{ kg-C kg}^{-1} \text{ PF}$ pour les légumes-feuilles (choux); $0,046 \text{ kg-C kg}^{-1} \text{ PF}$ pour les légumes-racines (carotte) et $0,062 \text{ kg-C kg}^{-1} \text{ PF}$ pour les fruits (pomme et tomate) (IRSN, 2015).

8.5.1 Plantes fourragères

Des échantillons de plantes fourragères ont été prélevés au cours du mois de juin 2021 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).

Une concentration de tritium de 9 Bq kg^{-1} (poids sec) a été mesurée dans l'échantillon prélevé à la Ferme n^o 3. Les concentrations de tritium étaient inférieures à la LD (de 4 Bq kg^{-1}) dans les échantillons provenant des Fermes n^{os} 1 et 2.

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 $1\,050 \text{ Bq kg}^{-1}$ pour le potassium-40 (Ferme n^o 1), de 86 Bq kg^{-1} pour le béryllium-7 (Ferme n^o 1) et de $17,0 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ PF}$ pour le carbone-14 (Ferme n^o 2). Quant au césium-137, les concentrations étaient inférieures aux LD (de $0,52$ à $0,70 \text{ Bq kg}^{-1}$) 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 $22,0 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ PF}$ (Eisenbud et Gesell, 1997).

8.5.2 Plantes aquatiques

Le PSRE prévoit également 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 24 août 2021 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 2021

Radionucléide	Activité (LD) (Bq kg ⁻¹)
⁴⁰ K	437 (13)
⁶⁰ Co	< 0,55
⁹⁵ Nb	< 0,54
¹³⁷ Cs	0,4 (0,1)
¹³¹ I	2,1 (0,3)
¹⁴ C	11 (2) Bq kg ⁻¹ PF

En 2021, le cobalt-60 et le niobium-95 dans les plantes aquatiques étaient en concentrations inférieures aux LD, alors que le potassium-40, le césium-137, l'iode-131 et le carbone-14 étaient tous mesurés à une concentration plus élevée que la LD.

Le césium-137 est un radionucléide qui peut être lié à la production électronucléaire et la concentration mesurée dans les plantes aquatiques en 2021 témoigne d'un cône de dispersion des effluents liquides radioactifs qui impacte ce site de prélèvement.

En 2021, la concentration de potassium-40 était de 437 Bq kg⁻¹, donc moindre qu'en 2020 où la concentration mesurée y avait été de 485 Bq kg⁻¹. Le potassium-40 retrouvé dans les plantes aquatiques s'explique par sa présence naturelle dans le sol (Barbeau, 2009). La concentration d'iode-131 mesurée en 2021 dans les plantes aquatiques est essentiellement expliquée par son utilisation médicale (Béland, 1995) comme il s'agit d'un produit de fission d'une courte période radioactive de 8 jours.

En ce qui concerne le carbone-14, sa concentration dans les plantes aquatiques récoltées en 2021 à la station PA2 était de 11 Bq kg⁻¹ PF, donc moindre qu'en 2020 alors que la concentration mesurée avait été de 13 Bq kg⁻¹ PF. Une interprétation plus détaillée des concentrations de carbone-14 mesurées en 2021 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 17 mai 2021 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 2021

Radionucléide	Activité (LD) (Bq kg ⁻¹)	
	Coquille	Chair
⁴⁰ K	4,2 (0,4)	11,2 (1,0)
⁶⁰ Co	< 0,08	< 0,18
⁹⁵ Nb	< 0,1	< 0,27
¹³⁷ Cs	< 0,08	< 0,12
¹³¹ I	< 0,16	< 1,1
¹⁴ C	189 (28) Bq kg ⁻¹ PF	130 (20) Bq kg ⁻¹ PF

De façon semblable aux années précédentes, aucune concentration de cobalt-60, de niobium-95, de césium-137 ou d'iode-131 n'a été détectée dans les coquilles et dans la chair des mollusques. Une concentration de potassium-40 a été mesurée dans la chair et les coquilles. Cette concentration est légèrement moins élevée que celle mesurée en 2020 qui était de 5,2 Bq kg⁻¹ dans les coquilles et 15,2 Bq kg⁻¹ dans la chair.

Les concentrations de carbone-14 mesurées en 2021 dans les coquilles et la chair des mollusques étaient respectivement de 189 et 130 Bq kg⁻¹ PF, donc moins élevées que celles de l'année 2020 alors que les teneurs mesurées avaient plutôt été de 271 Bq kg⁻¹ PF et de 196 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. Le PSRE de 2017 stipule donc que 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 librement 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 2021, des pêches au filet maillant ont été réalisées les 26 avril, 18 mai, 22 juin, 7 juillet, 25 août et 26 octobre à l'anse à Lemarier. Au total, treize espèces différentes de poissons ont été capturées. Lorsqu'au cours d'une même campagne d'échantillonnage plus d'un spécimen d'une même espèce étaient capturés, les analyses ont été réalisées sur un échantillon composite formé des tissus de tous les spécimens 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 2021

Mois	Nom commun	Nom scientifique	Nombre capturé	Activité (LD)			
				Bq kg ⁻¹			Bq kg ⁻¹ PF
				⁴⁰ K	³ H	¹³⁷ Cs	¹⁴ C
Avril	Brochet maillé	<i>Esox niger</i>	1	140 (6)	< 4,0	< 0,88	44 (7)
	Esturgeon jaune	<i>Acipenser fulvescens</i>	1	76 (5)	< 4,7	< 0,92	109 (16)
Mai	Crapet de roche	<i>Ambloplites rupestris</i>	1	86 (16)	9,9 (3,4)	< 3,60	59 (9)
Juin	Esturgeon jaune	<i>Acipenser fulvescens</i>	1	127 (3)	< 4,6	< 0,29	118 (18)
	Perchaude	<i>Perca flavescens</i>	5	157 (7)	< 4,6	< 0,96	144 (22)
	Barbue de rivière	<i>Ictalurus punctatus</i>	1	108 (12)	< 4,7	< 2,50	498 (75)
	Chevalier rouge	<i>Moxostoma macrolepidotum</i>	2	121 (4)	< 4,6	< 0,51	79 (12)
	Tanche	<i>Tinca tinca</i>	1	150 (7)	< 4,6	< 1,30	28 (4)
	Mulet à corne	<i>Semotilus atromaculatus</i>	1	119 (14)	5,0 (2,8)	< 2,70	28 (4)
Juillet	Esturgeon jaune	<i>Acipenser fulvescens</i>	2	92 (3)	< 4,6	< 0,14	32 (5)
	Tanche	<i>Tinca tinca</i>	2	153 (5)	10,7 (3,3)	0,56 (0,1)	72 (11)
	Chevalier rouge	<i>Moxostoma macrolepidotum</i>	4	121 (4)	< 4,7	0,11 (0,03)	53 (8)
	Perchaude	<i>Perca flavescens</i>	1	122 (20)	6,2 (2,8)	< 4,20	37 (6)
Août	Esturgeon jaune	<i>Acipenser fulvescens</i>	1	147 (4)	14,6 (3,3)	< 0,20	29 (4)
	Chevalier blanc	<i>Moxostoma anisurum</i>	1	141 (6)	9,5 (3,3)	< 0,60	153 (23)
	Chevalier jaune	<i>Moxostoma valenciennesi</i>	1	110 (5)	9,8 (2,9)	< 0,84	154 (23)
	Perchaude	<i>Perca flavescens</i>	3	167 (8)	13,1 (3,0)	< 1,10	37 (6)
	Barbue de rivière	<i>Ictalurus punctatus</i>	3	118 (5)	16,1 (2,8)	< 0,88	37 (5)
Octobre	Meunier noir	<i>Catostomus commersonii</i>	1	199 (8)	< 4,7	< 1,10	122 (18)
	Grand brochet	<i>Esox lucius</i>	1	137 (5)	< 4,8	< 0,58	164 (25)
	Perchaude	<i>Perca flavescens</i>	2	208 (12)	5,4 (2,8)	< 1,90	25 (4)
	Barbotte brune	<i>Ameiurus nebulosus</i>	3	123 (10)	< 4,7	< 1,70	44 (7)
Moyenne				133	10,0	0,79	94
Écart-type				32	3,8	0,82	102
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 deux des 22 échantillons analysés, à des concentrations de 0,56 Bq kg⁻¹ et 0,11 Bq kg⁻¹, pour une moyenne de 0,79 Bq kg⁻¹ (voir la note au bas du tableau 8-5). Le tritium a lui aussi été détecté dans près de la moitié des échantillons, à des concentrations variant de 5,0 Bq kg⁻¹ à 16,1 Bq kg⁻¹, pour une moyenne de 10,0 Bq kg⁻¹. En 2020, le césium-137 avait été détecté dans un seul des 18 échantillons analysés, à une concentration de 0,38 Bq kg⁻¹ (moyenne de 1,00 Bq kg⁻¹; voir la note au bas du tableau 8-5) alors que le tritium avait été détecté

dans sept des 18 échantillons, à des concentrations égales ou inférieures à $7,3 \text{ Bq kg}^{-1}$ (moyenne de $4,2 \text{ Bq kg}^{-1}$).

Du potassium-40 et du carbone-14 ont été mesurés dans tous les échantillons. La concentration moyenne du potassium-40 en 2021 était de 133 Bq kg^{-1} , soit légèrement inférieure à celle de l'année précédente, qui était de 135 Bq kg^{-1} . À cette concentration, sa présence est uniquement liée à une origine naturelle.

En 2021, les concentrations de carbone-14 variaient de $25 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{PF}}$ à $498 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{PF}}$, pour une concentration moyenne de $94 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{PF}}$. En 2020, les concentrations de carbone-14 avaient plutôt varié de $26 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{PF}}$ à $378 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{PF}}$ et la concentration moyenne était de $98 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{PF}}$.

Les premières concentrations élevées de carbone-14 mesurées dans la chair de certains poissons pouvaient s'expliquer par l'activité importante qui avait été quantifiée aux effluents liquides radioactifs pendant l'année 2017. De 2018 à 2021, les sommations annuelles d'activité de carbone-14 rejetée aux effluents liquides ont varié de $4,92\text{E}+07 \text{ Bq}$ à $1,90\text{E}+08 \text{ Bq}$, donc nettement plus faibles que celles de l'année 2017 ($2,78\text{E}+11 \text{ Bq}$).

Ces résultats pourraient s'expliquer par l'utilisation et le recyclage du carbone-14 qui a été émis aux effluents liquides entre les années 2014 et 2017. Ce carbone radioactif, rejeté sous forme inorganique, peut alors suivre différentes voies (figure 8-39).

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 2021 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 entre le moment de l'apport de carbone-14 dans le milieu et celui d'une variation de 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 dans 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 proportionnellement plus rapide, avec une concentration moyenne en 1983 réduite d'environ 70 % par rapport à ce qu'elle était en 1979.

Un constat similaire est observé dans la chair des poissons de l'anse à Lemarier, avec une concentration moyenne en carbone-14 réduite de 84 % en 2021 par rapport à ce qu'elle était en 2018. Une plus faible variabilité au sein des concentrations mesurées est également observée pour l'année 2021. En marge des constats de l'étude expérimentale précitée et du fait qu'il n'y aura dorénavant plus d'apport important de carbone-14 aux effluents liquides radioactifs des installations de Gentilly-2, ces diminutions devraient encore se poursuivre au cours des quelques prochaines années.

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

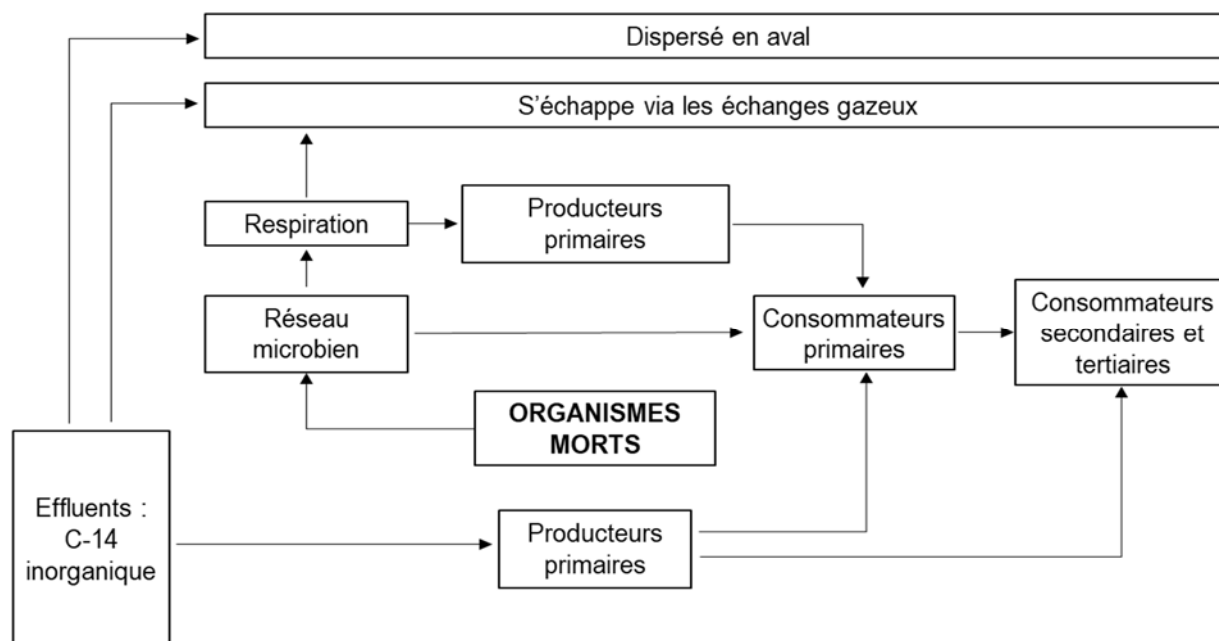


Figure 8-40 : Relation entre les concentrations de carbone-14 aux effluents liquides et dans les plantes aquatiques récoltées dans l'anse à Lemarier pour la période 2014-2021

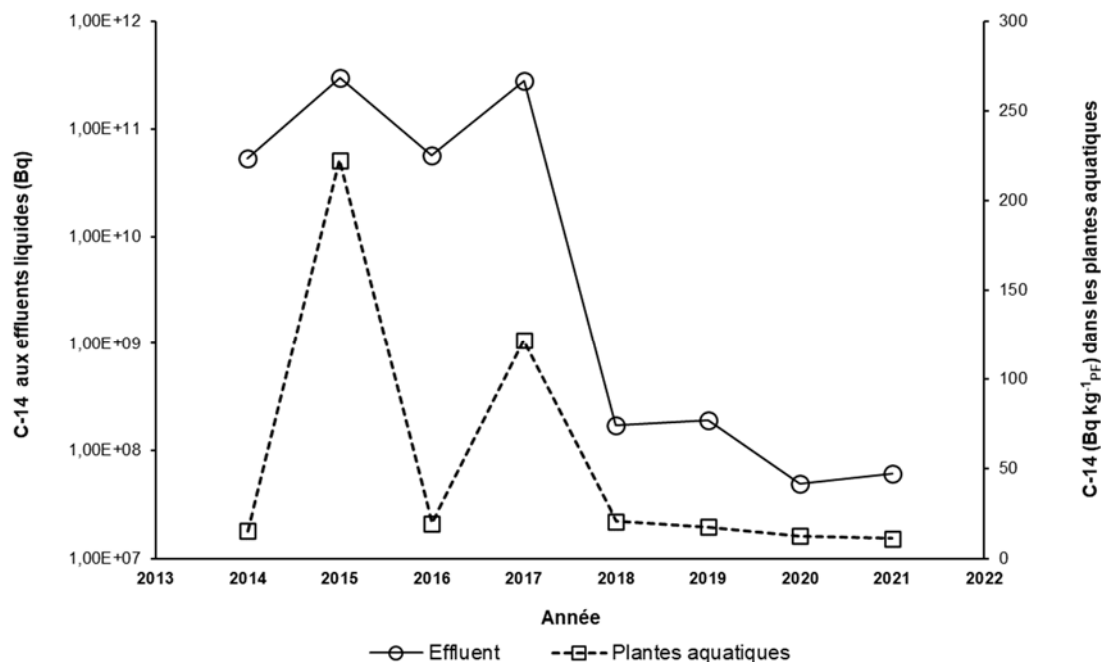
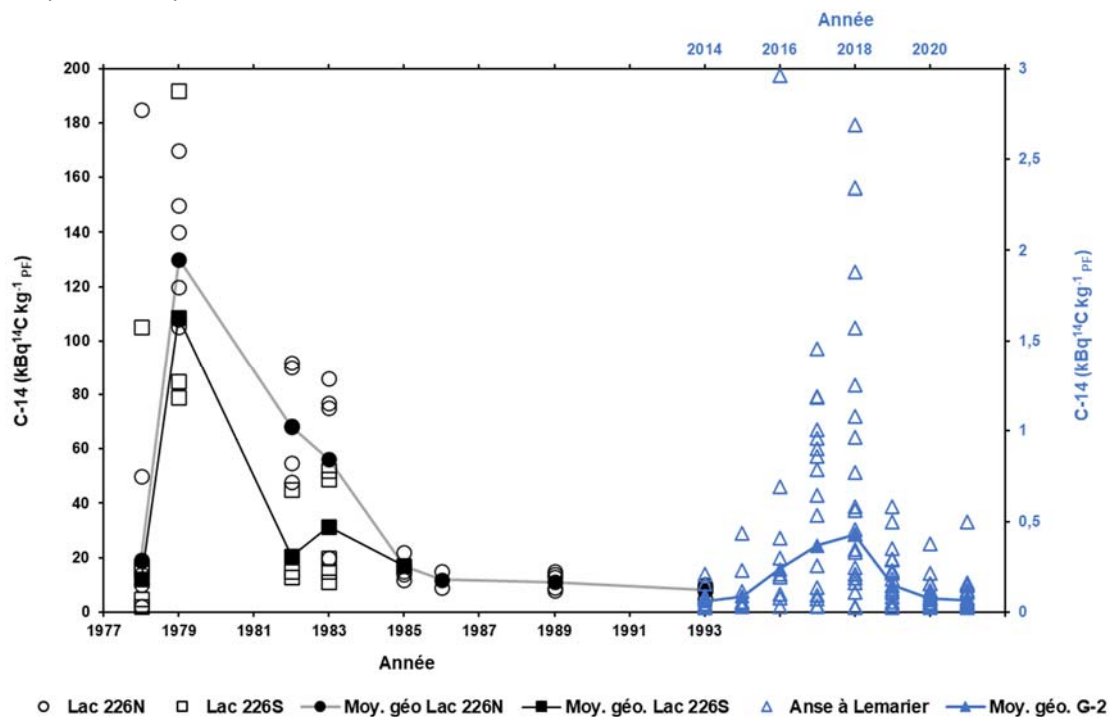


Figure 8-41 : Évolution temporelle du carbone-14 dans les poissons du lac 226 (1978 à 1993) et de l'anse à Lemarier (2014 à 2021)



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

La valeur de la moyenne géométrique de 2020 a été corrigée en raison d'une erreur de calcul. La valeur présentée dans le rapport annuel précédent (0,157 kBq¹⁴C kg⁻¹) était supérieure à la valeur corrigée du présent rapport (0,074 kBq¹⁴C kg⁻¹).

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 producteurs 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-Gertrude, 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 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 au sirop d'érable, les analyses sont réalisées sur un seul échantillon.

En 2021, aucune concentration de tritium n'a été détecté dans les 24 échantillons composés de lait pour chacune des fermes. Concernant, les 12 échantillons composés de lait en provenance des deux fermes, aucune concentration d'iode-131 et de césium-137 n'a été détectée (LD variant de 0,10 à 0,13 Bq L⁻¹). Du potassium-40, d'origine naturelle, a toutefois été mesuré dans tous ces échantillons, à des concentrations variant de 1 729 à 1 829 Bq kg⁻¹.

En 2021, les tomates, choux, carottes et pommes ont été acquis localement en août et septembre. Aucune concentration de tritium ou de cobalt-60 n'a été détectée dans ces fruits et légumes. Les LD étaient inférieures à 5 Bq kg⁻¹ pour le tritium et à 0,53 Bq kg⁻¹ pour le cobalt-60. Du césium-137 a été détecté seulement dans les pommes à une concentration de 0,35 Bq kg⁻¹. Des concentrations de carbone-14 ont été mesurées dans tous les fruits et légumes, les valeurs variant de 6 Bq kg⁻¹ PF (choux) à 13 Bq kg⁻¹ PF (tomates).

Certains autres radionucléides, non associés aux rejets de l'installation nucléaire de Gentilly-2, ont aussi été détectés, soit du béryllium-7 dans les pommes (2,8 Bq kg⁻¹) ainsi que du potassium-40 dans tous les fruits et légumes, à des concentrations variant de 265 Bq kg⁻¹ (pommes) à 1 630 Bq kg⁻¹ (tomates).

Un échantillon d'eau d'érable et un de sirop d'érable ont été récoltés en avril 2021. Aucune concentration en tritium n'a été mesurée dans l'eau d'érable. Du césium-137

et du potassium-40 ont été détectés dans le sirop d'érable à des concentrations respectives de 2,7 Bq kg⁻¹ et 88 Bq kg⁻¹.

Dans l'ensemble, les concentrations de radioactivité mesurées en 2021 dans les produits comestibles sont semblables à celles mesurées les années précédentes.

8.7 Données météorologiques

En décembre 2019, Hydro-Québec avait complété la mise en retrait de son équipement météorologique en procédant au démantèlement de la tour et de tous ses instruments de mesure. Cette avenue s'imposait en vue de l'adaptation nécessaire de l'organisation et du site, en préparation à la période de stockage sous surveillance. Hydro-Québec avait conséquemment retenu l'alternative d'une tour instrumentée du MELCC, située à Bécancour, pour pallier l'absence de données recensées au site même de Gentilly-2. Cette tour 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 être mises à profit en lieu et place de celles de la tour de Gentilly-2. Par ailleurs, afin de s'assurer de l'obtention des données fiables et complètes du MELCC pour une période équivalente à celle de son actuel permis fédéral de déclassement, Hydro-Québec a reconduit sa participation lors du renouvellement (2020) 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 2021, 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).

À titre de comparaison, la figure 8-43 reprend quant à elle toutes les données colligées aux années 2013 à 2017, relevées exclusivement à l'ancienne tour d'Hydro-Québec située à même le site 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 d'un peu plus de sept kilomètres l'une de l'autre, la rose de l'origine des vents de l'année 2021 (Bécancour) et celle recensant toutes les données de la période 2013-2017 (Gentilly-2) présentent encore 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 13,6 % en 2021, 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 surfaces au pourtour y est possiblement plus élevée, il est plausible 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 2021, les mêmes observations à la tour du MELCC se révèlent plutôt à 8,1 %. À ce chapitre, c'est plutôt la provenance du sud-sud-ouest qui se trouve dominante en 2021, avec une occurrence de 10,4 %.

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 été sommées, à Bécancour en 2021, à une valeur similaire 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 18 %.

En 2021, les taux d'indisponibilité de données pour cause de verglas ou de tout autre défaut de signal à la tour instrumentée du MELCC à Bécancour ont été inférieur à 0,1 %, et ce, pour tous les intrants de direction, de vitesse, de température, de précipitations et de rayonnement solaire. Le taux global de disponibilité des données météorologiques de la tour de Bécancour avoisine donc 100 %. Ce taux rencontre la valeur cible de 90 % recommandée dans la norme N288.2-14 du groupe CSA (*Calcul des conséquences radiologiques pour le public d'un rejet de matières radioactives dans l'air dans le cas des accidents de réacteurs nucléaires*). Par ailleurs, toutes les données de l'année 2021 nécessaires au calcul des doses de rayonnements à la population, notamment celles des fréquences de direction, de vitesse, de stabilité atmosphérique ainsi que la sommation des précipitations annuelles, sont cohérentes avec les années antérieures.

L'analyse des deux roses d'origine des vents, annuelle pour 2021 et récapitulative de la période 2013-2017, confirme encore une fois le statut des vents dominants à ceux suivant généralement 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 2021

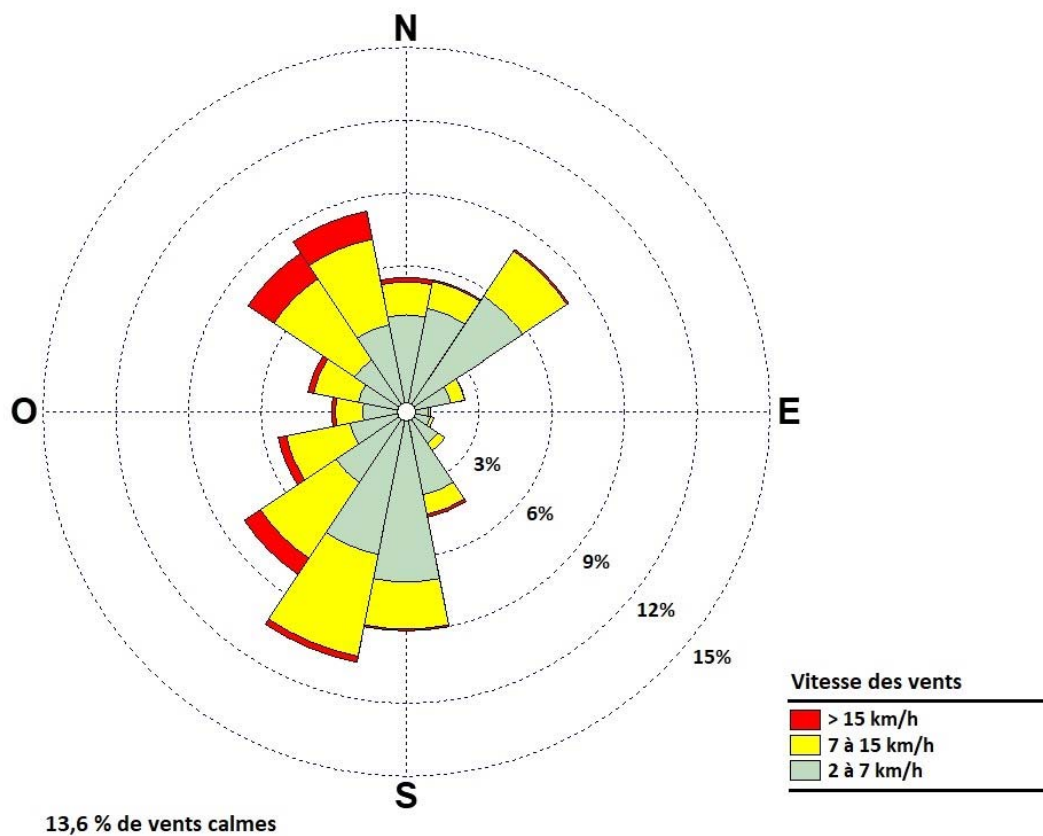
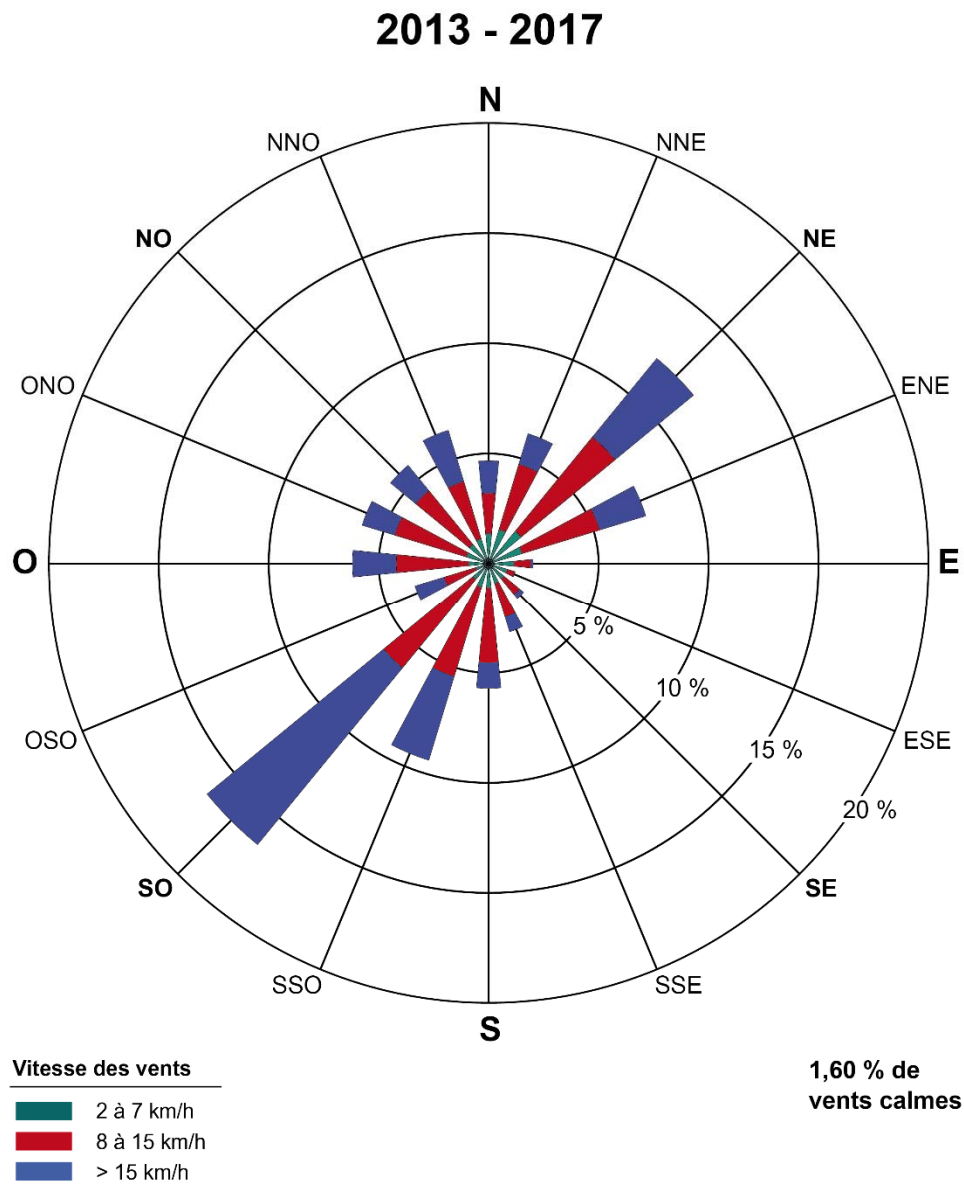


Figure 8-43 : Rose de l'origine des vents au site des installations de Gentilly-2 pour la période 2013-2017



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 également 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 :

$$C = K_a \cdot Q$$

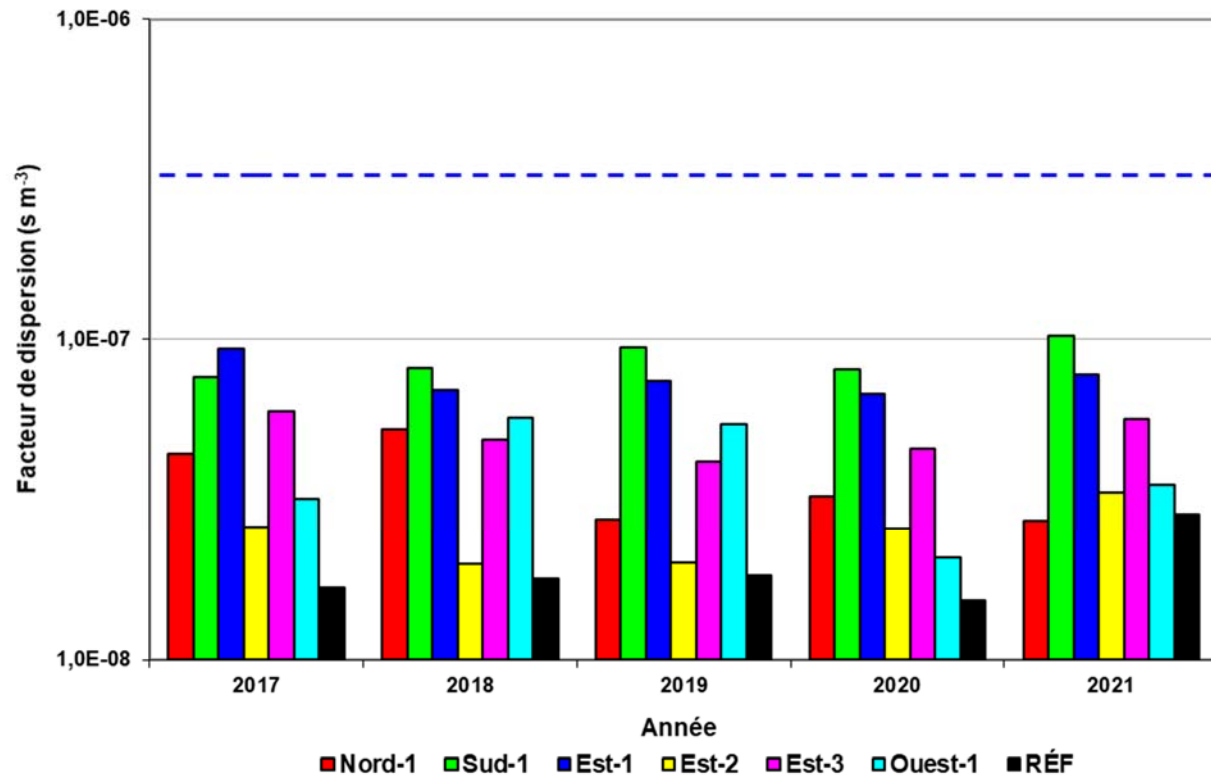
où Q représente le taux de relâche (Bq s^{-1}) et K_a le coefficient de dispersion (s m^{-3}).

La figure 8-44 présente, pour les années 2017 à 2021, 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 moyennes de concentration de tritium atmosphérique quantifiées à ces sept stations.

En 2021, la valeur la plus élevée du coefficient de dispersion, pour toutes les SCR de ce regroupement, fut de $1,02 \times 10^{-7} \text{ s m}^{-3}$, associée au point Sud-1. Ce point est aussi celui où sont prélevés plusieurs échantillons environnementaux. Les valeurs d'analyses qui en résultent 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 des installations de Gentilly-2. Les individus de ce groupe résident réellement à la Ferme n° 1, située au même emplacement que le point Sud-1 (carte A-4 de l'annexe A). Historiquement, c'est aussi à cet endroit où la dispersion atmosphérique est la plus faible. 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 $1,02 \times 10^{-7} \text{ s m}^{-3}$ 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 2017. Ces calculs de LOD avaient aussi 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 jamais été réellement mesurée par le passé. À ce compte, elle suppose une dispersion moindre 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 de LOD gazeuses appliquées depuis 2017, en comparaison des facteurs de dispersion des sept SCR.

Figure 8-44 : Facteurs moyens de dispersion du tritium atmosphérique des relâches des installations de Gentilly-2 pour la période 2017-2021



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 l'exposition à la radioactivité émise lors des activités de déclasserement toujours menées par Hydro-Québec. En 2021, toutes ces doses ont été estimées au moyen de la paramétrisation du modèle mathématique IMPACT 5.5.2, progiciel permettant l'application des coefficients de conversion de doses stipulés à la norme N288.1-14 (Groupe CSA, 2014). L'actuelle base de données du progiciel, rendue disponible en 2018, faisait 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 du transfert entre les organismes.

En plus de considérer la dispersion environnementale des émissions radioactives réellement quantifiées à la surveillance à la source des rejets de l'installation nucléaire de Gentilly-2, le progiciel intègre aussi plusieurs voies d'exposition humaine, réelles ou réalistement possibles. Certaines voies sont soutenues par le modèle d'écoulement hydraulique SMS (*Surface Water Modeling System*). De plus, 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 2021. Finalement, dans le but de caler adéquatement le modèle, de nombreuses valeurs provenant directement de l'application des modalités du PSRE de l'année 2021 y sont imposées, en fonction de la localisation précise 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).

D'autres 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 des installations de Gentilly-2. Enfin, un dernier groupe est nommé chasseurs-pêcheurs, présumés résidents du secteur Bécancour. Ce groupe est notamment 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 aussi 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, dont tous ceux quantifiés aux effluents radioactifs des installations de Gentilly-2.

En 2021, 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 2017, permettait par ailleurs déjà la prise en compte des mesures de radioactivité quantifiées dans la faune aquatique. Cette amélioration au modèle avait notamment fait en sorte qu'un changement du groupe récepteur le plus exposé y soit survenu, spécifiquement pour les installations de Gentilly-2.

Ainsi, en 2021, 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 1 μSv (Calian, 2022). Cette valeur maximale de dose représente un dixième 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 ainsi que de la radiation nette la nuit.

Par le passé, il a été prouvé que cette méthode dérivée implique une marge de sûreté puisque la distribution de fréquences des classes de stabilité sous-estime les réelles occurrences en classes atmosphériques instables (classes de Pasquill A-B-C) et qu'à l'inverse, elle surestime 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 au fur et à mesure du déclassement avaient contribué à un changement du groupe le plus exposé.

Tableau 9-1 : Dose annuelle de rayonnements aux membres du groupe le plus représentatif de la population en 2021 (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	0,0E+00	1,1E-16	2,5E-16	
	Inhalation	2,5E-09	1,4E-13	9,3E-15	
	Dépôt – sol	0,0E+00	0,0E+00	1,4E-11	
	Ingestion - animaux terrestres	3,1E-09	1,1E-09	1,8E-13	
	Ingestion - plantes terrestres	5,7E-09	3,0E-10	1,0E-13	
	Ingestion - animaux aquatiques	3,7E-09	6,9E-07	3,0E-07	
	Total	1,5E-08	6,9E-07	3,0E-07	1,0
Enfant 10 ans	Immersion – air	0,0E+00	1,1E-16	2,5E-16	
	Inhalation	2,9E-09	2,0E-13	1,4E-14	
	Dépôt – sol	0,0E+00	0,0E+00	1,4E-11	
	Ingestion - animaux terrestres	1,9E-09	7,2E-10	2,7E-13	
	Ingestion - plantes terrestres	4,3E-09	2,5E-10	8,8E-14	
	Ingestion - animaux aquatiques	3,1E-09	6,3E-07	1,5E-07	
	Total	1,2E-08	6,3E-07	1,5E-07	0,8
Enfant 1 an	Immersion – air	0,0E+00	1,1E-16	3,2E-16	
	Inhalation	2,1E-09	1,5E-13	1,2E-14	
	Dépôt – sol	0,0E+00	0,0E+00	1,8E-11	
	Ingestion - animaux terrestres	3,0E-09	1,1E-09	4,9E-13	
	Ingestion - plantes terrestres	3,6E-09	1,8E-10	7,1E-14	
	Ingestion - animaux aquatiques	2,2E-09	4,3E-07	6,4E-08	
	Total	1,1E-08	4,3E-07	6,4E-08	0,5
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.					

Par ailleurs, 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 2021.

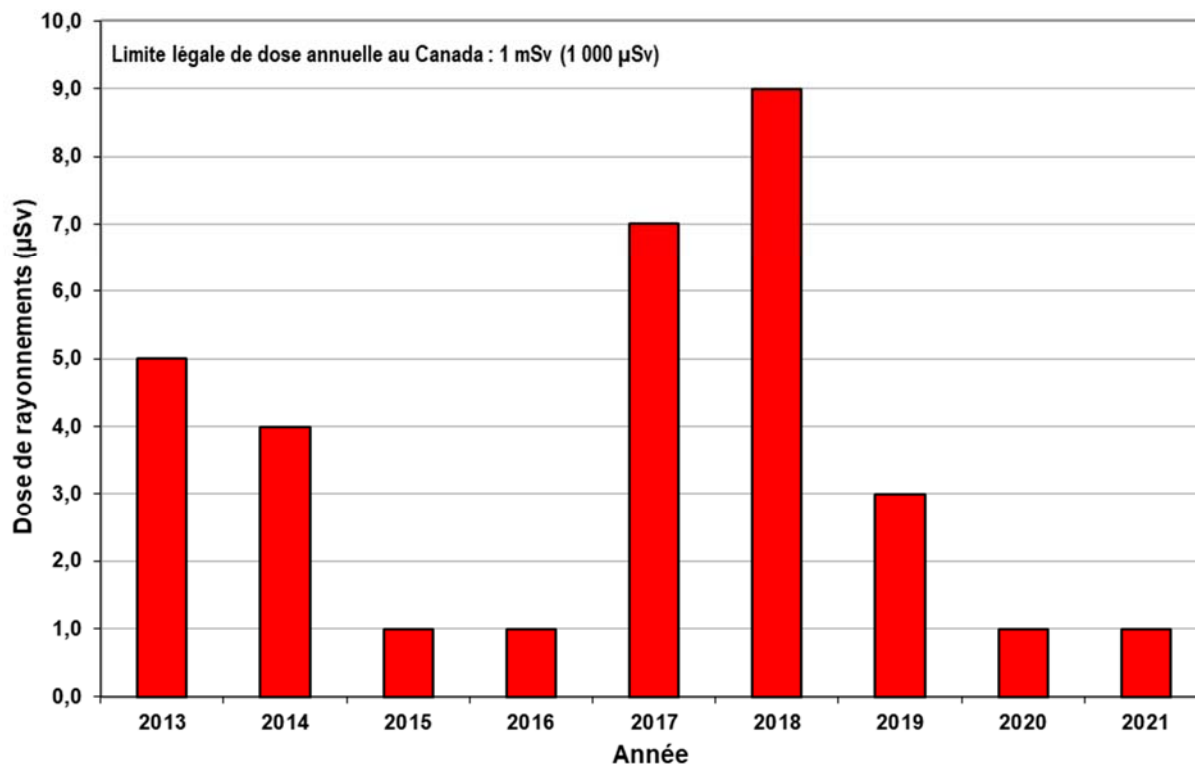
Tableau 9-2 : Exposition prépondérante liée au membre de la population pour lequel la dose est la plus élevée en 2021

Individu	Voie d'exposition prépondérante	Dose modélisée (Sv a ⁻¹)			Dose totale ^a (μSv a ⁻¹)
		HTO	¹⁴ C	Bêta totale	
Adulte	Inhalation	5,7E-09	-	-	1,0
	Ingestion - animaux aquatiques	-	6,9E-07	3,0E-07	
	Ratios de la dose totale	0,57 %	69,00 %	30,00 %	99,57 %
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 délivrées à la population, estimées pour la période couvrant les années 2013 à 2021, soit depuis que les installations de Gentilly-2 sont en processus de déclassement nucléaire.

Figure 9-1 : Dose annuelle de rayonnements estimée pour un membre représentatif de la population liée au déclassement des installations de Gentilly-2 pour la période 2013-2021



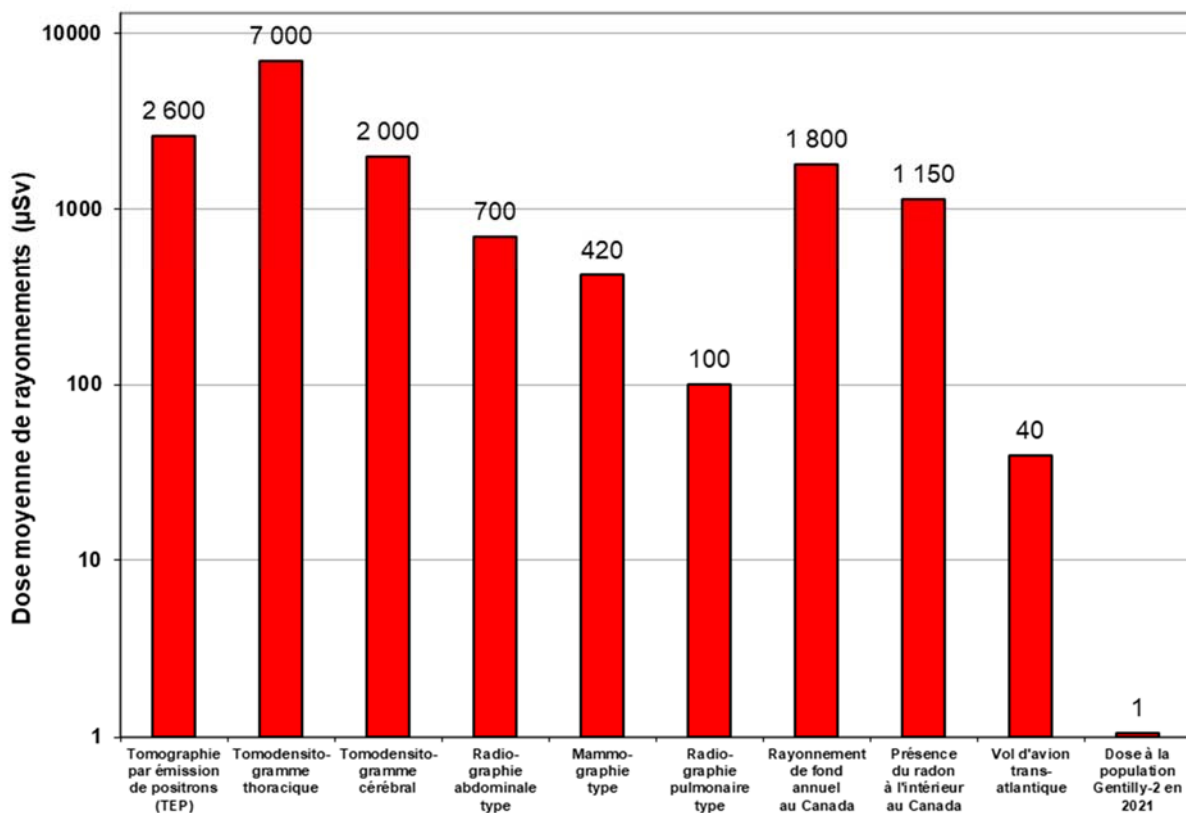
La dose annuelle de rayonnements induite à la population, estimée pour l'année 2021, correspond à un dixième d'un pour cent de la limite de dose efficace pour le public établie par la CCSN à 1 mSv (1 000 μSv). Mais cette dose correspond à une fraction

plus faible encore de la dose annuelle moyenne reçue par un individu de la population canadienne, résultant cette fois d'expositions (irradiation externe gamma et inhalation) à des sources naturelles qui elle s'établit à environ 1 800 μSv (CCSN, 2020).

Cette valeur estimée de dose annuelle de rayonnements à la population de l'année 2021 est toujours principalement tributaire des concentrations de radioactivité plus élevées dans quelques matrices environnementales suivies au PSRE. Ces valeurs impliquent particulièrement 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. Nonobstant cela, la tendance des quelques dernières années témoigne tout de même d'une diminution constante des concentrations relevées dans la chair du poisson.

La figure 9-2 met quant à elle en perspective la dose annuelle de rayonnements induite à la population, et spécifiquement liée aux activités en cours aux installations de Gentilly-2 en 2021, 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 au Canada (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

Au cours de l'année 2021, un exercice d'intercomparaison comprenant diverses matrices environnementales a de nouveau été complété par le laboratoire de radioécologie d'Hydro-Québec, celui responsable de la majorité des résultats du PSRE.

Cet exercice 2021 a été coordonné par le groupe *Environmental Resource Associates* (ERA) et est identifié MRAD-35 (ERA, 2021). 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 l'ensemble des résultats de cette intercomparaison. Lors de cet exercice, neuf des 39 résultats soumis par le laboratoire n'étaient pas compris dans l'intervalle attendu. Cependant, seule la valeur soumise pour l'uranium-238 est considérée inacceptable puisque le score z était supérieur à 3. Le résultat, mesuré par Hydro-Québec sur un filtre d'air, était de $12,7 \text{ pCi filtre}^{-1}$ et les limites acceptables étaient de $6,34$ à $8,64 \text{ pCi filtre}^{-1}$. Afin de corriger la situation, Hydro-Québec a mis à jour les courbes d'étalonnage des détecteurs gamma du laboratoire de radioécologie. Concernant les huit autres résultats qui n'étaient pas compris dans les limites attendues, il s'agit seulement de paramètres à surveiller puisqu'ils ont obtenu des scores z inférieurs à 3 (les scores variant $2,09$ à $2,76$). Ces résultats ont été mesurés dans l'échantillon de sol pour le césium-137, le cobalt-60, l'uranium-238 et le zinc-65 (tableau D-1B) et dans l'échantillon de végétaux pour l'américium-241, le césium-137, le cobalt-60 et le potassium-40 (tableau D-1C).

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 deux 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 2021.

- Janvier, février, mars, avril, juin, juillet, septembre, novembre, décembre 2021 : des échantillons instantanés de l'effluent de procédé (USI 79210) n'ont pu être expédiés

à un laboratoire externe pour les analyses des HP C₁₀-C₅₀, du pH et des métaux puisque l'activité radiologique dépassait les critères de libération inconditionnelle du *Règlement sur les substances nucléaires et les appareils à rayonnement* (RSNAR).

- Janvier, février, août, décembre 2021 : les échantillons pour les analyses du tritium et de l'activité bêta totale n'ont pu être prélevés au point S-16 à l'ASDR puisqu'il était sec ou gelé.
- Janvier, février, décembre 2021 : les échantillons pour les analyses du tritium et de l'activité bêta totale n'ont pu être prélevés au point S-17 à l'ASDR puisqu'il était gelé.
- Février 2021 : l'échantillon pour l'analyse du tritium n'a pu être prélevé au point d'échantillonnage 1520-V1 (IGDRS) puisqu'il était gelé.
- Avril 2021 : le résultat de l'analyse de tritium a été rejeté pour l'échantillon Nord-1 puisque la pompe était défectueuse. Le volume d'échantillon analysé était insuffisant.
- Mai 2021 : l'analyse du tritium dans les précipitations des points d'échantillonnage Ouest-2, Sud-1, Est-2, SCR-2 à 5, SCR-8, SCR-12 et IGDRS 5 à 8 n'a pu être réalisée, les échantillons ayant tous été évaporés pour l'analyse de l'activité bêta totale.
- Mai, juin, juillet, août 2021 : la surveillance du carbone-14 atmosphérique n'a pas été effectuée aux points d'échantillonnage SCR-3, 4, 5 et 12 à la suite de l'application de la révision 1.3 du PSRE. Comme la CCSN a par la suite demandé à reprendre ces suivis, les bacs d'hydroxyde de potassium (KOH) ont donc été réinstallés en septembre à ces points d'échantillonnage.
- 4^e trimestre 2021 : la mesure du niveau des regards R1 et R3 n'a pas été prise à la suite d'une lacune de planification.

11 Conclusion

Le rapport annuel *Résultats de la surveillance de l'environnement des installations de Gentilly-2* (G2-RT-2022-00518-001) présente l'ensemble des données issues des deux plans de surveillance environnementale appliqués au cours de l'année 2021 au site des installations de Gentilly-2. Ces résultats regroupent à la fois les résultats d'analyses radiologiques et physico-chimiques liées aux rejets à la source, puis subséquentement 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 2021, 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 à la fois trait à la radioactivité présente aux effluents et à celle quantifiée dans les eaux souterraines. Ils 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 à la 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 de même pour les variations les plus significatives. Une surveillance environnementale des 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 déclassement, en période de préparation à la phase de stockage sous surveillance. Hydro-Québec considère cette surveillance comme un gage de protection de la population et de l'environnement.

Pour l'ensemble des paramètres physico-chimiques prévus au PSE en vigueur en 2021, seule une série de résultats d'analyses a dépassé un critère, celle portant spécifiquement sur les exigences de suivi des eaux souterraines des installations de Gentilly-2. Pour cette série, 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 causée par la nature spécifique du socle rocheux en présence dans la province géologique de la plate-forme du Saint-Laurent. Et contrairement aux quelques années précédentes, aucun dépassement de cible n'est survenu au chapitre de la concentration minimale en oxygène dissous, à l'effluent final de l'installation de traitement des eaux usées sanitaires.

En ce qui a trait à la surveillance des effluents radioactifs de l'installation nucléaire, la diminution drastique du carbone-14, constatée en 2018, s'est maintenue en 2021. Elle marquait particulièrement les effluents liquides et avait suivi la finalisation des travaux de récupération et de transfert des résines usées échangeuses d'ions des systèmes nucléaires, en 2017. Par ailleurs, en 2021, certaines étapes de déclassement ont suscité une hausse des concentrations de tritium aux mêmes effluents liquides.

Tout au long de l'année 2021, la valeur maximale d'activité radiologique recensée aux effluents liquides fut celle du tritium en décembre, dont le ratio équivalent était de 0,041 % LOD (mensuelle) alors que pour les effluents gazeux, cette même valeur était plutôt de 0,063 % LOD (hebdomadaire) toujours liée au tritium, mais à la 27^e semaine.

En 2021, les rejets radioactifs gazeux et liquides ont donc encore tous été en deçà d'une valeur équivalente à 1 % des LOD respectives, hebdomadaires ou mensuelles. Cette valeur spécifique est celle d'un objectif interne d'exploitation à Hydro-Québec.

La finalisation des travaux de décontamination de matériel absorbant généré durant les années d'exploitation de la centrale nucléaire de Gentilly-2, ainsi que le rinçage et la gestion finale de barils ou de réservoirs à faible contenu d'eau lourde à son centre de décontamination, ont modulé les principales variations observées en 2021.

Concernant l'activité radiologique quantifiée dans les matrices environnementales échantillonnées au PSRE, elle fut à la baisse dans une majorité d'entre elles au cours de l'année 2021. Ces baisses impliquent encore cette année 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 documenter ce constat 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, conséquente des activités toujours en cours aux installations de Gentilly-2, fut réalisée par la modulation des paramètres d'entrée du progiciel IMPACT 5.5.2. En 2021, la dose annuelle de rayonnements reçue aux abords du site de Gentilly-2 par les membres représentatifs de la population la plus exposée a de nouveau été estimée à 1 μ Sv.

Cette valeur de dose annuelle estimée pour l'année 2021 confirme également une diminution substantielle qui s'était elle-même amorcée quelques années auparavant. Les plus récentes valeurs de concentration de radioactivité dans la chair du poisson n'y sont certes pas étrangères. Cette dose estimée correspond par ailleurs à un dixième 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 peut être considérée comme négligeable lorsque comparée à la dose moyenne de 1 800 μ Sv provenant d'expositions à des sources naturelles au Canada (CCSN, 2020) ou à d'autres sources d'expositions, à l'exemple de celles d'examens ou de traitements médicaux.

En 2021, 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 est négligeable, voire imperceptible, hors de la zone d'exclusion de près d'un kilomètre de rayon.

Ces mêmes conclusions d'Hydro-Québec avaient antérieurement 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 ainsi mesurée par une tierce partie 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 par ailleurs toujours disponibles à la section dédiée au PISE (rubrique *Ressources*) du site internet officiel de la CCSN (Gouvernement du Canada).

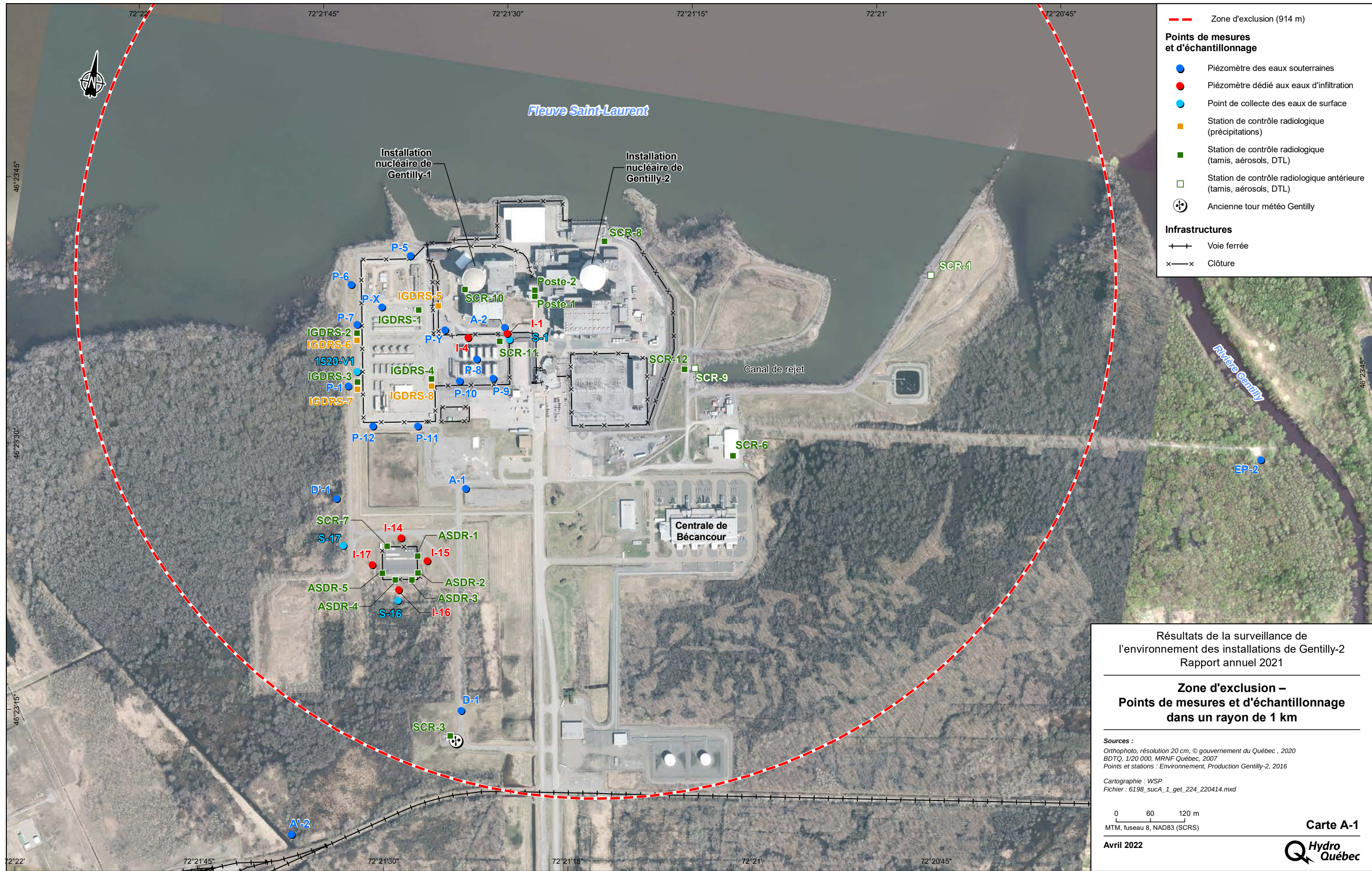
12 Références

- 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.
- BÉLAND, F. 1995. Iode-131 dans le fleuve St-Laurent : variations spatio-temporelles et contributions des centrales nucléaires. Thèse de maîtrise. Université Laval, Département de chimie. 90 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. 2022. *Calcul de la dose de rayonnements aux membres représentatifs de la population autour des installations de Gentilly-2, année 2021*. Rapport Calian HYDROQ-0018-01 Révision 2.0. 60 p.
- COMMISSION CANADIENNE DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE (CCSN). 2020. *Doses de rayonnement*. En ligne : <http://www.cnscccsn.gc.ca/fra/resources/radiation/introduction-to-radiation/radiation-doses.cfm>. Consulté en avril 2022.
- COMMISSION CANADIENNE DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE (CCSN). 2019. *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 avril 2022.
- 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 avril 2022.
- 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). 2021. *MRAD-35 - Final Report. MraDTM Proficiency Testing*. Rapport émis le 2021-12-01. 50 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. 2021. *Plan de surveillance radiologique de l'environnement – Installations de Gentilly-2 en état de stockage sûr – Révision 1.3*. 23 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). 2015. *Fiches radionucléides*. En ligne : https://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/fiches-radionucleides/environnement/Documents/Carbone_VF_2015.pdf. Consulté en avril 2022.
- 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



— Zone d'exclusion (914 m)

Points de mesures et d'échantillonnage

- Piézomètre des eaux souterraines
- Piézomètre dédié aux eaux d'infiltration
- Point de collecte des eaux de surface
- Station de contrôle radiologique (précipitations)
- Station de contrôle radiologique (tamis, aérosols, DTL)
- Station de contrôle radiologique antérieure (tamis, aérosols, DTL)
- ⊕ Ancienne tour météo Gentilly

Infrastructures

- Voie ferrée
- Clôture

Résultats de la surveillance de
l'environnement des installations de Gentilly-2
Rapport annuel 2021

**Zone d'exclusion –
Points de mesures et d'échantillonnage
dans un rayon de 1 km**

Sources :
Orthophoto, résolution 20 cm, © gouvernement du Québec, 2020
BDTQ, 1/20 000, MRNF Québec, 2007
Points et stations : Environnement, Production Gentilly-2, 2016

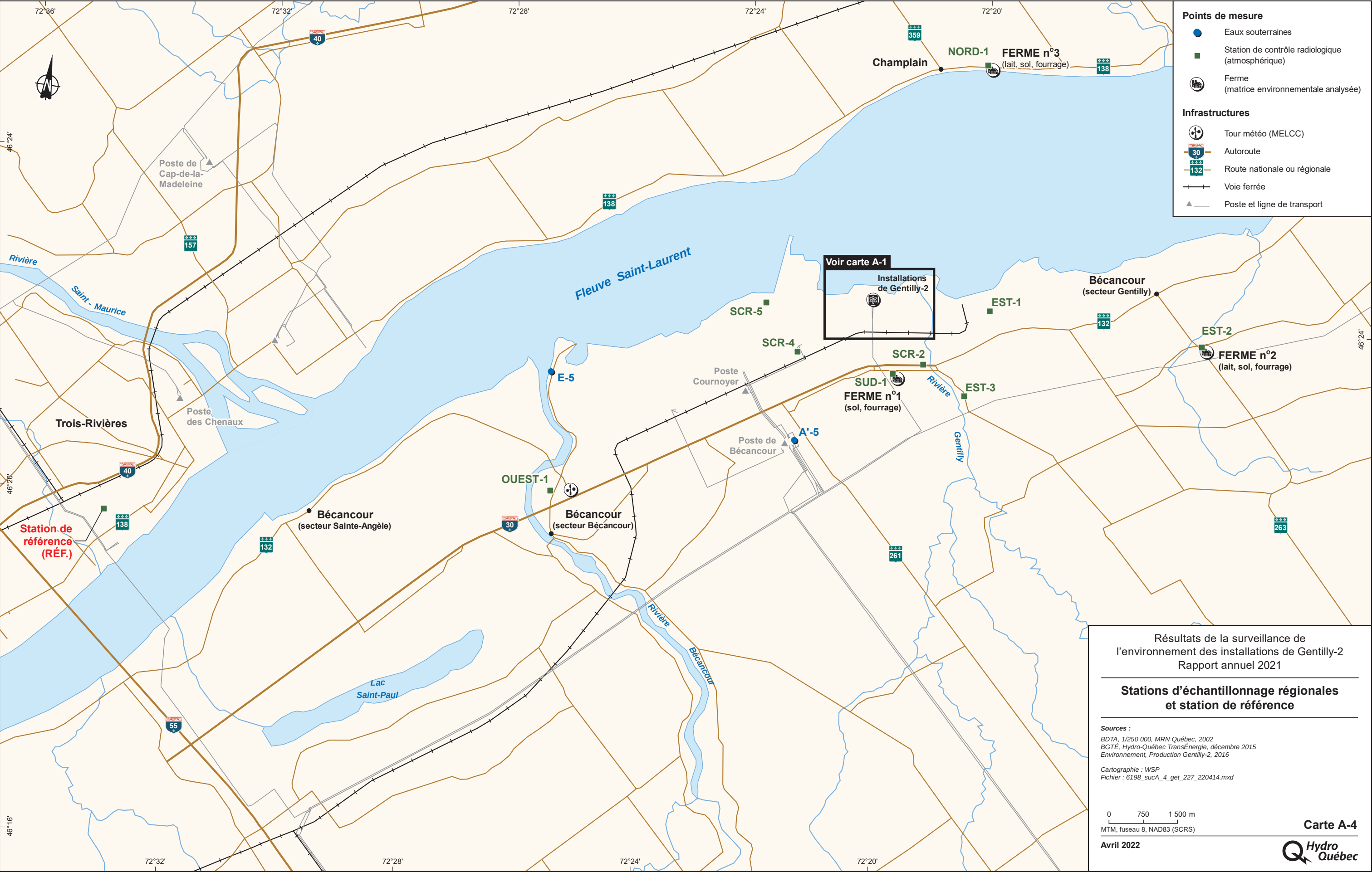
Cartographie : WSP
Fichier : 6198_sucA_1_get_224_220414.mxd

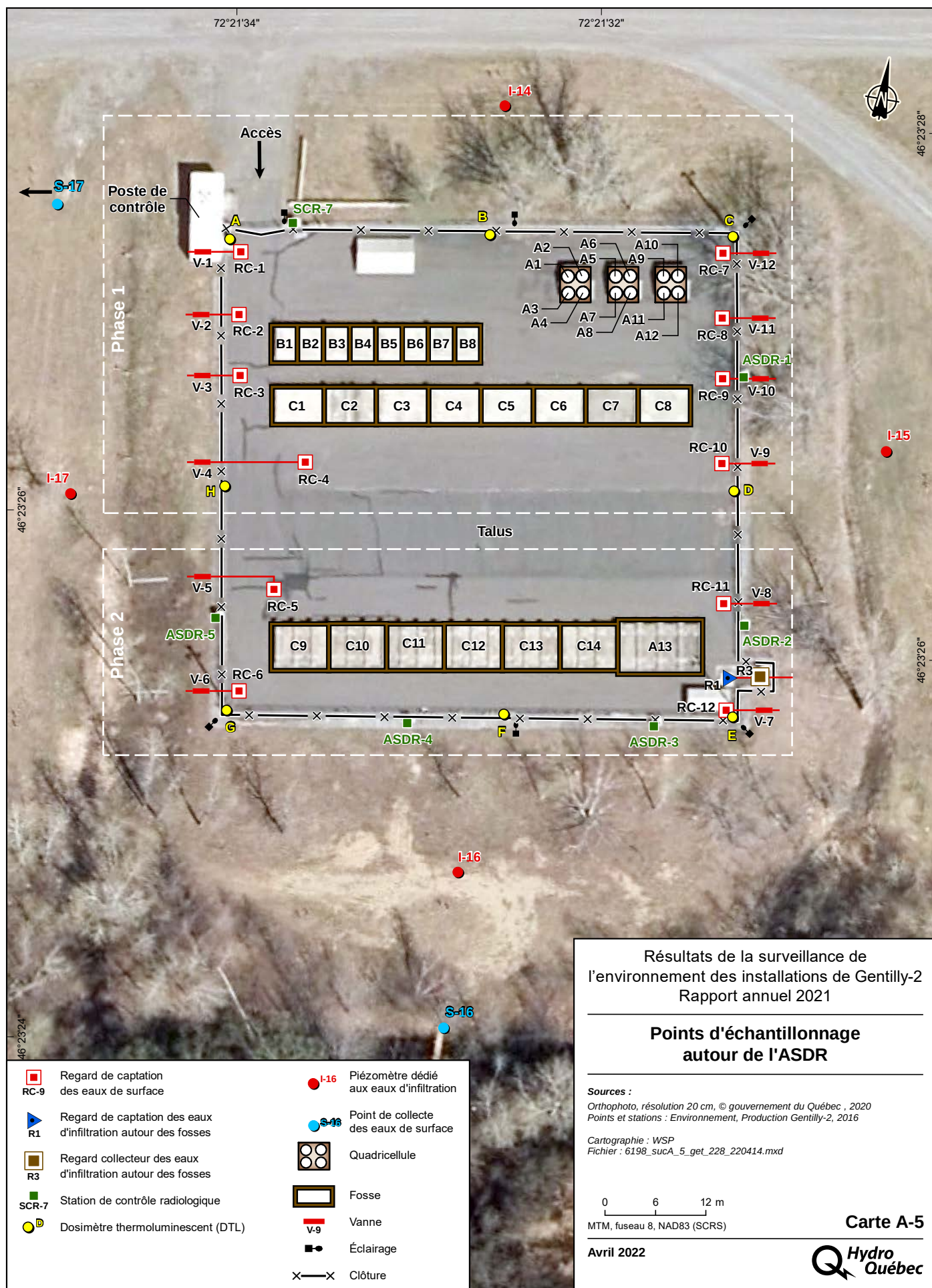
0 60 120 m
MTM, fuseau 8, NAD83 (SCRs)

Avril 2022











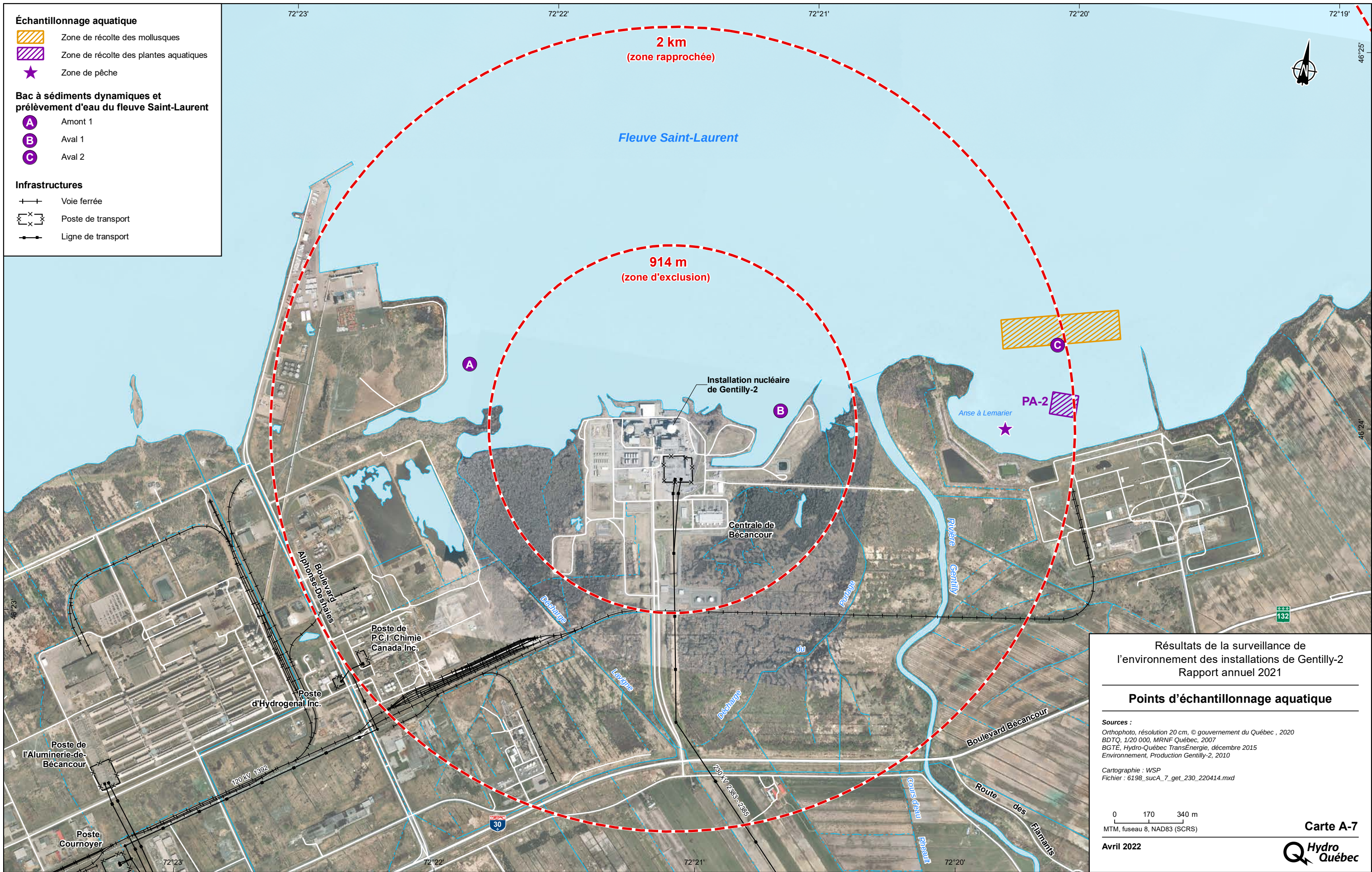
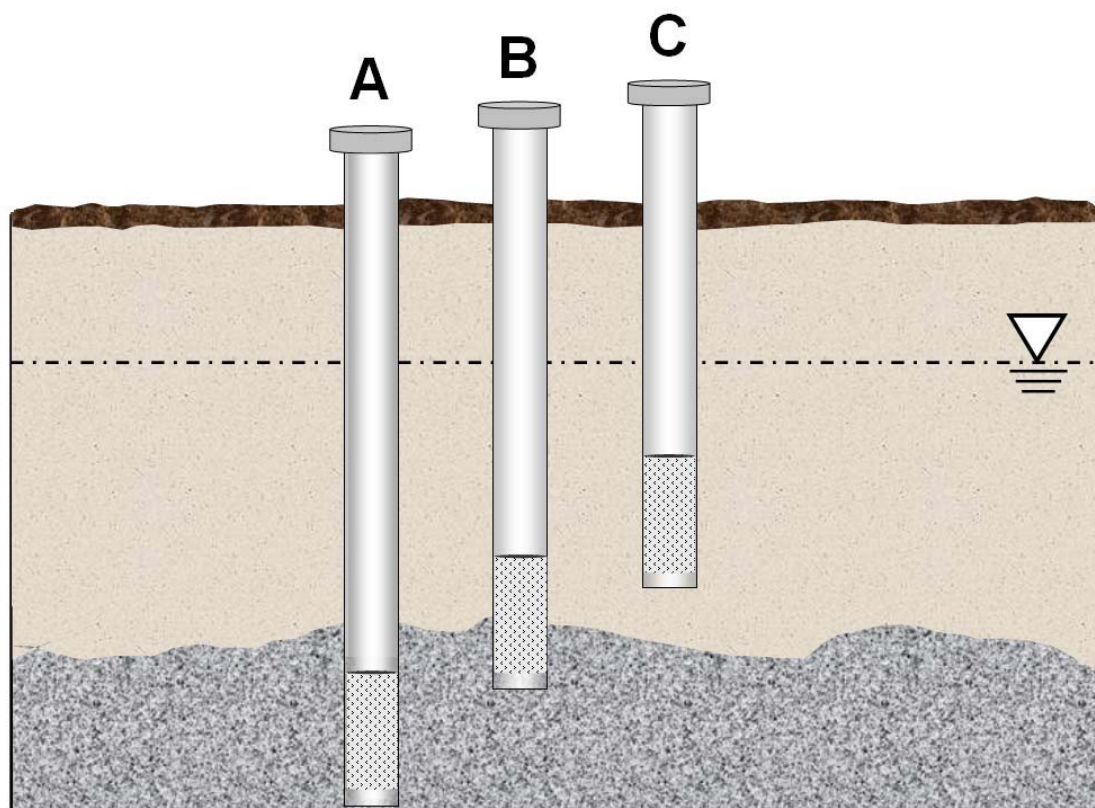


Figure A-1 : Schéma type d'un aménagement piézométrique



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 2021 - 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 2021 – Points de rejet (suite)

Point de rejet	Source	Paramètre	Mesure/Fréquence
EFFLUENT FINAL PLUVIAL MCH-1 (15200) Canal de rejet (débit moyen : 74 m³/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 m³/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 m³/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	Mensuelle
		Conductivité	
		COT-CIT	

Tableau B-1B : Plan de surveillance de l'environnement de l'année 2021 – 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)

Tableau B-1C : Plan de surveillance de l'environnement de l'année 2021 – 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 (piézométrie)	Instantanée (2/année) 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 2021

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	50	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 2021 (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 2021 (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	116	Eau souterraine ASDR	Semestrielle	-	12	-		-	-
			Eau souterraine zone 2	Trimestrielle	-	24	-	24	^a	-
			Regards ASDR	Trimestrielle	-	8	-	-	-	-
			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 (CaF ₂ [Dy]). Cette technique permet d'obtenir un débit de dose moyen puisque les DTL sont laissés pour une longue période aux points d'échantillonnage.
<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 (KOH) 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 m ² . 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 germanium « hyperpur » (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 organiquement 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 m ² . 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 m ² 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 organiquement 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>	
Les légumes sont achetés chez des producteurs locaux. Trois paramètres sont analysés : • Tritium non organiquement lié (³H dans l'eau des légumes) • Gamma • Carbone-14 organique	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>	
Les fermes échantillonnées sont celles qui participent au PSRE. 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 2021
(filtres d'air, échantillons de sol, de végétaux et aqueux)

Tableau D-1A : Résultats du programme d'assurance qualité pour 2021 : intercomparaison ERA, filtres d'air (MRAD-35)

Analyses	Activité par filtre (pCi filtre ⁻¹)			
	G-2	ERA	Limites acceptées	G-2/ERA
α total	87,0	85,1	63,3 – 107	1,02
β total	102	88,8	67,9 – 110	1,15
²⁴¹ Am	31,1	28,8	23,8 – 33,8	1,08
¹³⁴ Cs	197	226	158 – 293	0,87
¹³⁷ Cs	224	200	155 – 245	1,12
⁶⁰ Co	362	334	280 – 387	1,08
⁵⁴ Mn	< 50,0	< 50,0	0 – 50,0	s. o.
²³⁸ U	12,7	7,5	6,34 – 8,64	1,70
⁶⁵ Zn	500	419	318 – 520	1,19
s. o. : Sans objet.				
En gras : Valeur non comprise à l'intérieur des limites acceptées et ayant un score z supérieur à 3.				

Tableau D-1B : Résultats du programme d'assurance qualité pour 2021 : intercomparaison ERA, échantillons de sol (MRAD-35)

Analyses	Activité (pCi kg ⁻¹)			
	G-2	ERA	Limites acceptées	G-2/ERA
²²⁸ Ac	3 600	3 210	2 480 – 3 950	1,12
²⁴¹ Am	1 110	872	460 – 1 280	1,27
²¹² Bi	4 220	3 160	1 170 – 5 140	1,34
²¹⁴ Bi	1 490	1 420	975 – 1 860	1,05
¹³⁴ Cs	2 660	2 520	1 960 – 3 090	1,06
¹³⁷ Cs	4 430	3 710	3 160 – 4 260	1,19
⁶⁰ Co	5 460	4 730	4 020 – 5 430	1,15
²¹² Pb	3 810	3 360	2 450 – 4 270	1,13
²¹⁴ Pb	1 610	1 470	1 130 – 1 800	1,10
⁵⁴ Mn	< 18,0	< 1 000	0 – 1 000	s. o.
⁴⁰ K	28 600	25 000	19 600 – 30 300	1,14
²³⁸ U	4 270	2 690	1 550 – 3 830	1,59
⁶⁵ Zn	6 160	5 110	4 100 – 6 120	1,21
s. o. : Sans objet.				
En gras italique : Valeur non comprise à l'intérieur des limites acceptées et ayant un score z inférieur à 3.				

Tableau D-1C : Résultats du programme d'assurance qualité pour 2021 : intercomparaison ERA, échantillons de végétaux (MRAD-35)

Analyses	Activité (pCi kg ⁻¹)			
	G-2	ERA	Limites acceptées	G-2/ERA
²⁴¹ Am	5 650	4 380	3 290 – 5 470	1,29
¹³⁴ Cs	1 040	928	798 – 1 060	1,12
¹³⁷ Cs	2 810	2 340	1 960 – 2 720	1,20
⁶⁰ Co	2 010	1 720	1 470 – 1 980	1,17
⁵⁴ Mn	< 300	< 300	0 – 300	s. o.
⁴⁰ K	40 500	32 600	25 900 – 39 400	1,24
²³⁸ U	1 720	1 500	1 260 – 1 740	1,15
⁶⁵ Zn	1 540	1 330	1 070 – 1 580	1,16
s. o. : Sans objet.				
<i>En gras italique</i> : Valeur non comprise à l'intérieur des limites acceptées et ayant un score z inférieur à 3.				

Tableau D-1D : Résultats du programme d'assurance qualité pour 2021 : intercomparaison ERA, échantillons aqueux (MRAD-35)

Analyses	Activité (pCi L ⁻¹)			
	G-2	ERA	Limites acceptées	G-2/ERA
α total	53,0	82,1	39,8 – 124	0,65
β total	76,0	89,5	57,2 – 122	0,85
²⁴¹ Am	54,0	60,9	44 – 77,7	0,89
¹³⁴ Cs	595	613	537 – 690	0,97
¹³⁷ Cs	2 270	2 160	2 000 – 2 320	1,05
⁶⁰ Co	1 030	984	890 – 1 080	1,05
⁵⁴ Mn	< 10,0	< 100	0 – 100	s. o.
⁶⁵ Zn	457	412	335 – 488	1,11
³ H	12 400	12 500	10 600 – 14 500	0,99
s. o. : Sans objet.				