Santé Québec Bas-Saint-Laurent

L'évolution de la radio-oncologie

Docteure Andrée-Anne Bernard et Frédéric Dion

23 octobre 2026

Santé Québec

Conflits d'intérêts

Aucun

Introduction

La physique, les mathématiques et la médecine

- Physique, mathématiques et applications médicales
- Accélérateurs de particules

- Qu'est-ce que ça prend ?



LHC, CERN, PHOTO VALENTIN FLAURAUD, ARCHIVES AGENCE FRANCE-PRESSE

Accélérateurs de particules en médecine

- Accélérateurs électrostatiques
- Accélérateurs cycliques

Différences

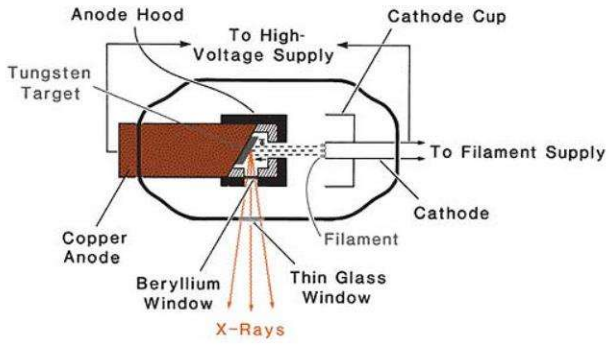
1. Manière que champ électrique qui accélère les particules est produit
2. Comment ce champ agit sur les particules

Santé Québec Bas-Saint-Laurent

Accélérateurs de particules en médecine

Accélérateurs électrostatiques

- Tubes à rayons X



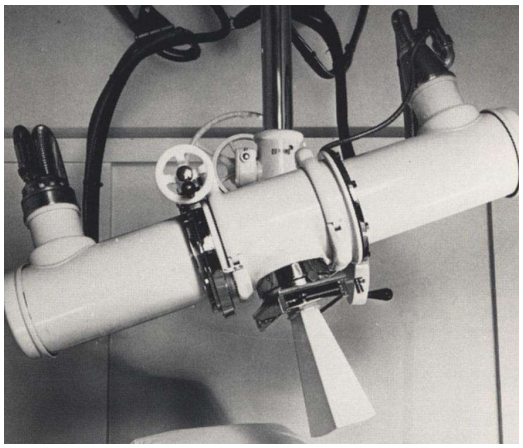
Tube à rayons X, Physics of Radiation Therapy 3rd edition, Khan, 2003



Deux tubes à rayons X modernes

Accélérateurs de particules en médecine

Tubes à rayons X



Tube à rayon X de 200 kV (orthovoltage) utilisé pour la radiothérapie externe, 1938.



SOMATOM go.SIM, Siemens Healthineers

Santé Québec Bas-Saint-Laurent

Accélérateurs de particules en médecine

Accélérateurs cycliques en radiothérapie

- Betatron
- Cyclotron
- Synchrotron
- **Accélérateur linéaire**



Siemens Betatron, 1952

Accélérateurs de particules en médecine

Cyclotron

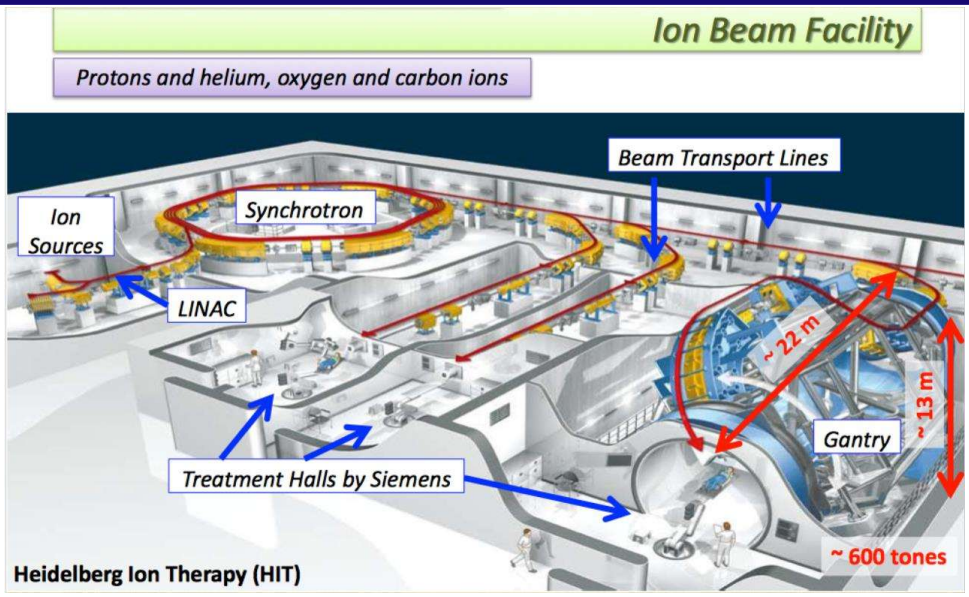


Cyclotron, Hôpital de l'Enfant-Jésus, Québec



TEP-CT, Hôpital régional de Rimouski

Accélérateurs de particules en médecine



Accélérateurs de particules en médecine



IRM-LINAC, CHU de Québec-Université Laval, 2025

Accélérateurs de particules en médecine

Accélérateur linéaire



Varian Clinac 21EX, Hôpital régional de Rimouski, 2022



Varian TrueBeam, Hôpital régional de Rimouski, 2026

Le physicien médical clinique

- Délivrer la dose prescrite par le radio-oncologue
  - Précision des appareils de traitement et d'imagerie
  - Développement des techniques et procédures
  - Revue de littérature
- Mise en service des appareils et logiciels
- Radioprotection
- Contrôles de qualité

Le physicien médical clinique

- Généralement invisible dans le parcours patient
- Toujours un physicien médical qui passe sur l'ensemble des dossiers
- Intervenir dans les cas complexes



Harry Potter à l'école des sorciers, 2001

Mise en service et développement clinique

- Responsables de la mise en service des appareils et logiciels
- Utilisation sécuritaire des appareils
- Résolution de problèmes et jugement clinique
- Collaboration avec les fournisseurs
- Sécurité du patient et du personnel

Radioprotection

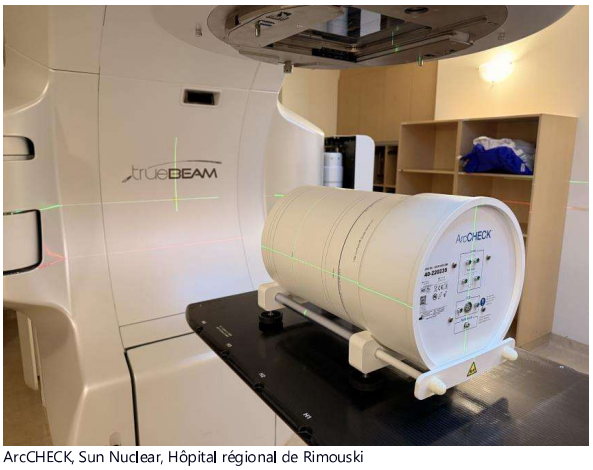
- Ensemble des mesures prises pour se protéger des effets potentiellement néfastes de la radiation
- Assurer une utilisation sécuritaire du rayonnement
- Limiter l'exposition au rayonnement pour le public, le travailleur et l'environnement
- Respecter la réglementation de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN)

Contrôles de qualité sur les appareils et logiciels

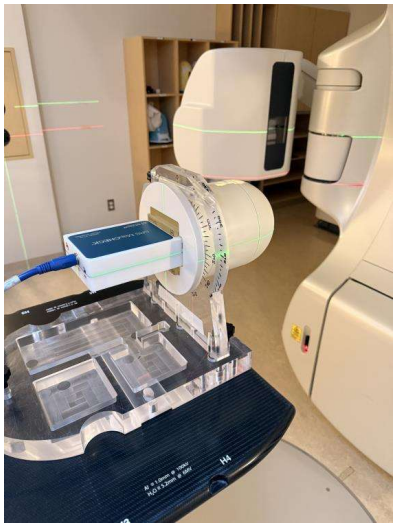
- Responsables d'établir un programme d'assurance qualité sur les appareils et logiciels utilisés en radiothérapie
- QA quotidiens, mensuels, trimestriels et annuels
- Assurance qualité spécifique au patient (PSQA)
  - Calcul de dose indépendant pour chaque plan de traitement
  - Mesures personnalisées
  - Analyses des logs de la machine

Appareils de mesures

Mesures patients



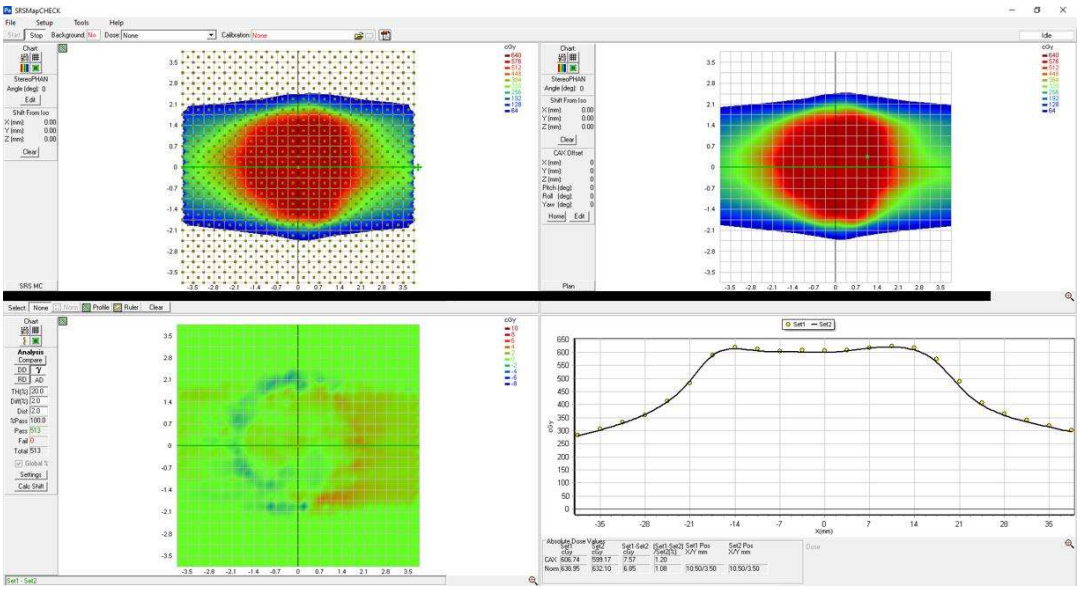
ArcCHECK, Sun Nuclear, Hôpital régional de Rimouski



SRS MapCHECK, Sun Nuclear, Hôpital régional de Rimouski

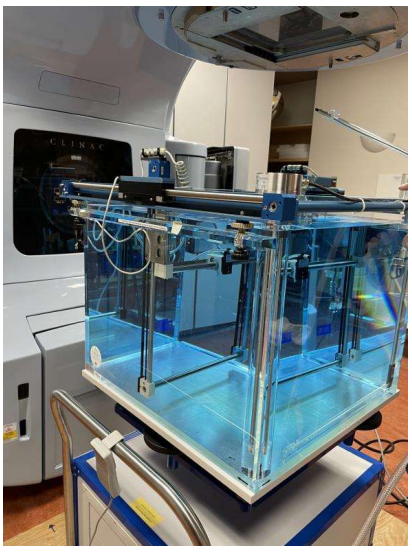
Santé Québec Bas-Saint-Laurent

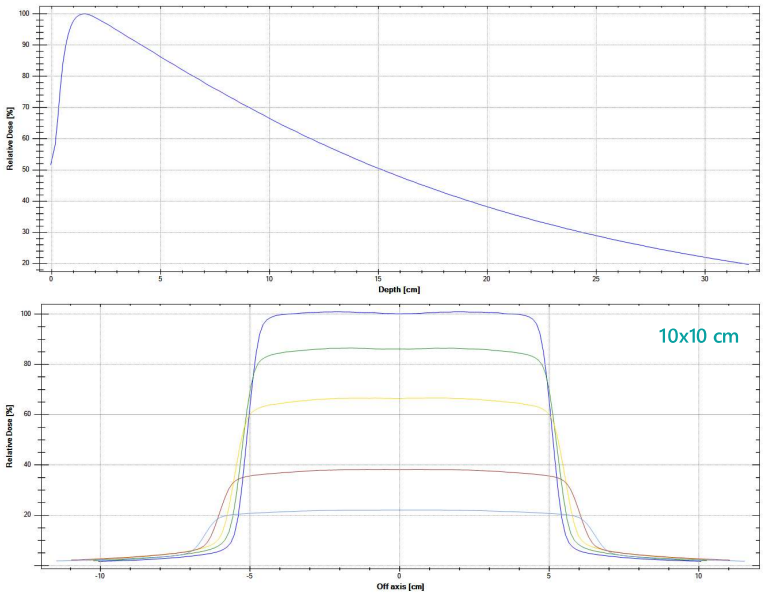
Appareils de mesures



Santé Québec Bas-Saint-Laurent

Contrôles de qualité sur les appareils et logiciels





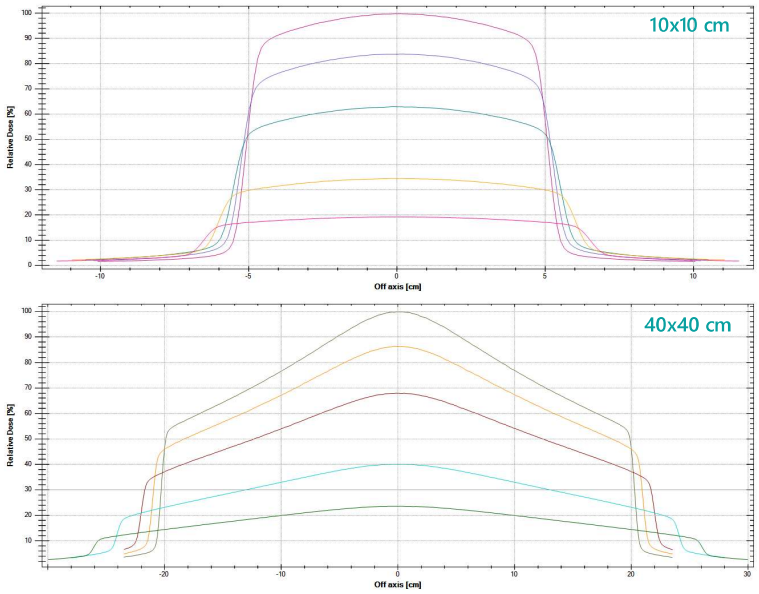
Technique sans filtre égalisateur (FFF)

Avantages

- Augmentation du débit de dose
- Réduction temps de traitement
- Diminution du diffusé
- Stéréotaxie et petites tumeurs

Inconvénients

- Uniformité et modulation
- Complexité planification
- Ne s'applique pas aux grands champs
- Contrôles qualité accrus



Point de vue clinique

Facteurs permettant l'évolution de la radiothérapie

- Avancement de la technologie
  - Technique IMRT
  - Meilleure imagerie
- Compréhension de la biologie tumorale et radiobiologie
- Meilleurs traitements systémiques

Hypofractionnement

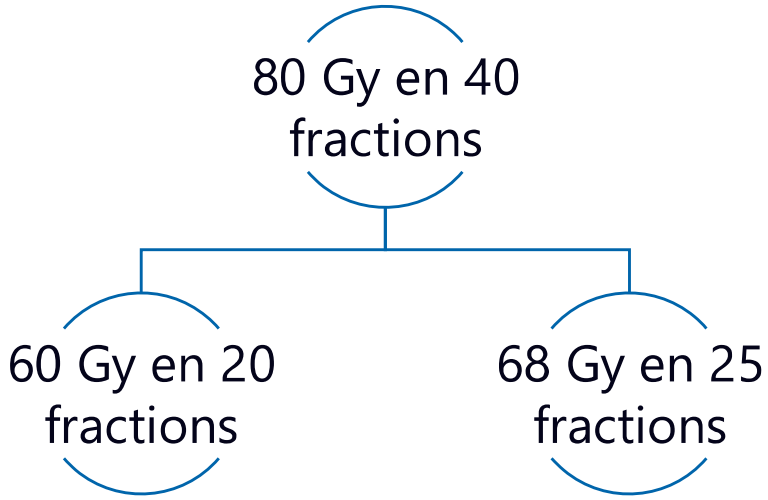
Santé Québec Bas-Saint-Laurent

Cancer du sein



Santé Québec Bas-Saint-Laurent

Cancer de la prostate



Niazi T, Nabid A, Malagon T ... Hypofractionated Dose Escalation Radiotherapy for High-Risk Prostate Cancer: the survival analysis of the Prostate Cancer Study-5 (PCS-5), a GROUQ-led phase III trial. European Urology, 2024; 87, 314-323
Dearnaley D, Syndikus I, Mossop H et al. Conventional versus hypofractionated high-dose intensity-modulated radiotherapy for prostate cancer: 5-year outcomes of the randomised, non-inferiority, phase 3 CHHiP trial. The Lancet Oncology, 2016; 17, 1047-1060

Cancer de la prostate (suite)

- Surimpression par curiethérapie HDR de 15 Gy
  - 44 Gy en 22 fractions vs 25 Gy en 5 fractions

Radiothérapie stéréotaxique

Santé Québec Bas-Saint-Laurent

Cancer pulmonaire

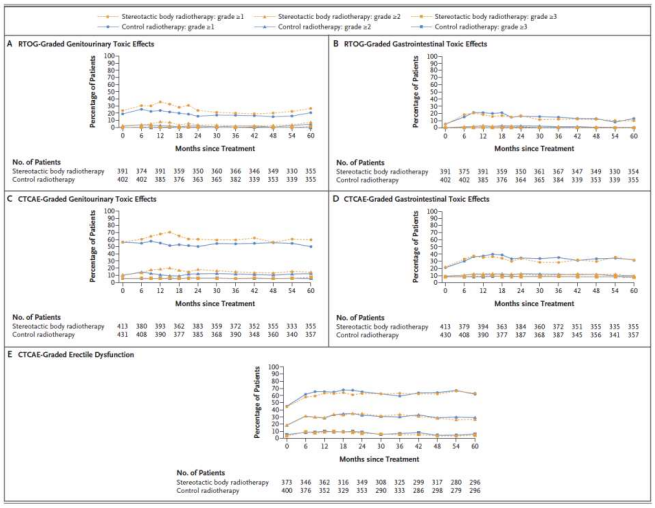
- 48 Gy en 3 ou 4 fractions ou 50 Gy en 5 fractions
- Survie sans progression: 86 %

Chang J, Senan S, Paul M et al. Stereotactic ablative radiotherapy versus lobectomy for operable stage I non-small-cell lung cancer: a pooled analysis of two randomised trials
The Lancet Oncology, 2015; 16, 630-637
Jan Nyman, Andreas Hallqvist, Jo-Åsmund Lund, Odd-Terje Brustugun, Bengt Bergman, Per Bergström, Signe Friesland, Rolf Lewensohn, Erik Holmberg, Ingmar Lax, SPACE – A randomized study of SBRT vs conventional fractionated radiotherapy in medically inoperable stage I NSCLC, Radiotherapy and Oncology, Volume 121, Issue 1, 2016,Pages 1-8, ISSN 0167-8140,https://doi.org/10.1016/j.radonc.2016.08.015.

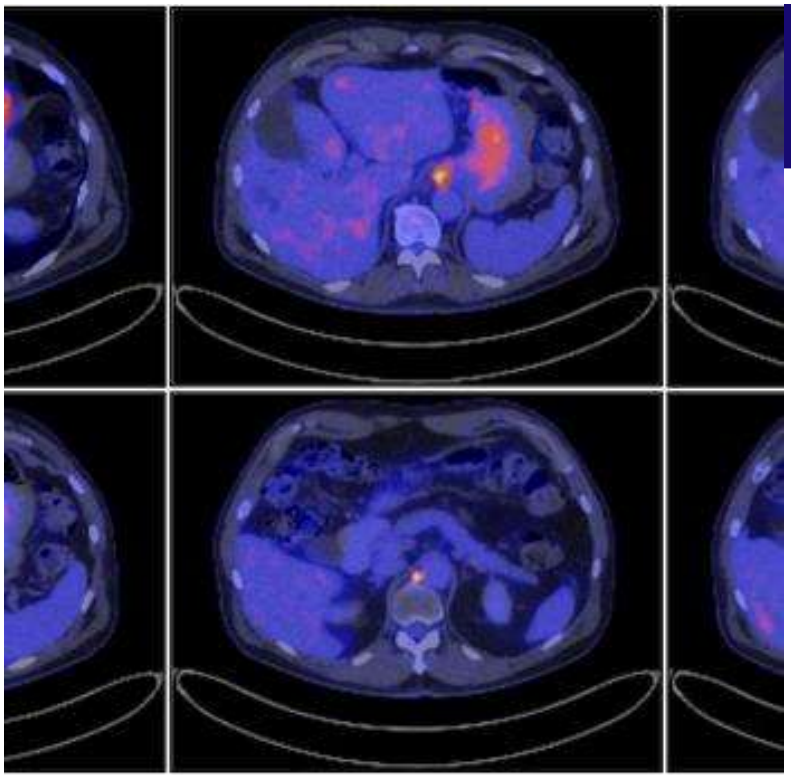
Santé Québec Bas-Saint-Laurent

Cancer de la prostate

- 36,5 à 40 Gy en 5 fractions
- Survie sans récidive biochimique à 5 ans: 95,8 %



van As N, Tree A, Patel J ... 5-Year Outcomes from PACE B: An International Phase III Randomized Controlled Trial Comparing Stereotactic Body Radiotherapy (SBRT) vs. Conventionally Fractionated or Moderately Hypo Fractionated External Beam Radiotherapy for Localized Prostate Cancer International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics, 117, e2-e3



Maladie oligométastatique

- Définition
  - 1 à 5 métastases

Santé Québec Bas-Saint-Laurent

Maladie oligométastatique (suite)

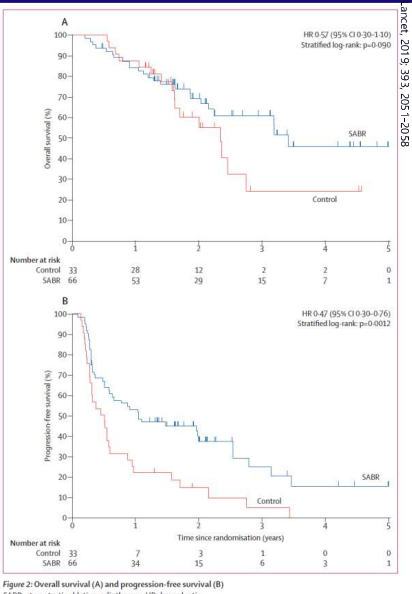


Figure 2: Overall survival (A) and progression-free survival (B)
SABR=stereotactic ablative radiotherapy. HR=hazard ratio.

Palma D, Olson R, Harrow S, et al. Stereotactic ablative radiotherapy versus standard of care palliative treatment in patients with oligometastatic cancers (SABR-COMET): a randomised, phase 2, open-label trial. The Lancet, 2019; 393: 2051–2058

Santé Québec Bas-Saint-Laurent

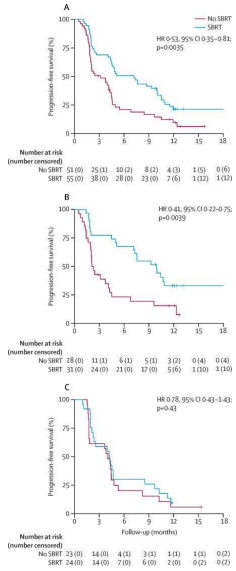
Maladie oligométastatique (suite)

- Survie sans traitement systémique à 1 an
  - 69,7 %

Willmann J, von Wachter C, Zehnder R, et al. Stereotactic Body Radiotherapy Without Systemic Therapy for Oligometastatic Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. JAMA Netw Open. 2025;8(12):e2549685. doi:10.1001/jamanetworkopen.2025.49685

Santé Québec Bas-Saint-Laurent

Maladie oligoprogressive



Tsai C, Yang J, Shaverdian N et al. Standard-of-care systemic therapy with or without stereotactic body radiotherapy in patients with oligoprogressive breast cancer or non-small-cell lung cancer (Consolidative Use of Radiotherapy to Block (CURB) oligoprogression): an open-label, randomised, controlled, phase 2 study. The Lancet. 2023; 403; 171–182



Impacts monétaires

Santé Québec Bas-Saint-Laurent

Cancer de la prostate

- Fractionnement conventionnel
  - 12 284 $
- Hypofractionnement
  - 6 992 $
- Ultra-hypofractionnement
  - 3 033 $

Alyamani, Najlaa, Jiheon Song, Sasha van Katwyk, Kednapa Thavorn, Julie Renaud, Alain Haddad, Miller Macpherson and Marc Gaudet. "Cost–Utility Analysis of Radiation Treatment Modalities for Intermediate-Risk Prostate Cancer." Current Oncology 28 (2021): 2385 - 2398.

Santé Québec Bas-Saint-Laurent

Cancer du sein

- Hypofractionné
  - 1 415,47 $
- Ultra-hypofractionné
  - 904,94 $

Yaremko HL, Locke GE, Chow R, Lock M, Dinniwell R, Yaremko BP. Cost Minimization Analysis of Hypofractionated Radiotherapy. Curr Oncol. 2021 Jan 30;28(1):716-725. doi: 10.3390/curroncol28010070. PMID: 33573158; PMCID: PMC7985773.

Santé Québec Bas-Saint-Laurent

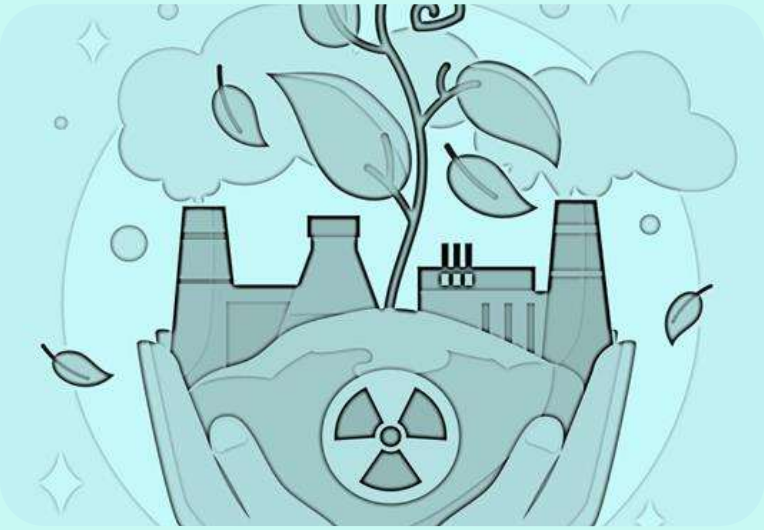
Coût pour les patients

- Coûts pour les déplacements et le stationnement
  - 263 à 505 $

Lauzier, S.; Levesque, P.; Mondor, M.; Drolet, M.; Coyle, D.; Brisson, J.; Masse, B.; Provencher, L.; Robidoux, A.; Maunsell, E. . (2013). Out-of-Pocket Costs in the Year After Early Breast Cancer Among Canadian Women and Spouses. JNCI Journal of the National Cancer Institute, 105(4), 280–292. doi:10.1093/jnci/djs512



Impacts environnementaux



Fractionnement

- Fractionnement ultra-hypofractionné
  - Diminution de 69 à 77 % des gaz à effets de serre

Lichter K, Charbonneau K, Lewy J et al. Quantification of the environmental impact of radiotherapy and associated secondary human health effects: a multi-institutional retrospective analysis and simulation The Lancet Oncology, 25, 790-801

Santé Québec Bas-Saint-Laurent

Fractionnement (suite)

- Cancer de la prostate
  - Traitement conventionnel: 17,34 kg CO_2
  - Traitement ultra-hypofractionnement: 2,18 kg CO_2
- Cancer du sein:
  - Traitement hypofractionné: 7,19 kg CO_2
  - Traitement ultra-hypofractionnement: 3 kg CO_2

Shenker R, Johnson T, Ribeiro M, Rodrigues A, Chino J. Estimating CO2 emissions and Direct Power Consumption of LINAC based External Beam Radiotherapy. Adv Radiat Oncol 2022. https://doi.org/10.1016/j.adro.2022.101170.

Santé Québec Bas-Saint-Laurent

Déplacement des patients

- Patients traités pour un cancer du rectum
  - Distance quotidienne moyenne: 85 à 99 km
  - Trajet total:
    - Normo-fractionné: 2 280,44 km, 665,3 kg CO2
    - Hypofractionné: 513,38 km, 149,9 kg CO2
    - Différence: 515,4 kg CO2



Frick M, Baniel C, Qu V ... Effect of Radiation Schedule on Transportation-Related Carbon Emissions: A Case Study in Rectal Cancer Advances in Radiation Oncology, 2023; 8

Et ensuite?

Cancer du sein

- Surimpression simultanée intégrée
  - 40/48 Gy en 15 fractions
  - 25/30 Gy en 5 fractions

Coles C, Haviland J, Kirby A et al. Dose-escalated simultaneous integrated boost radiotherapy in early breast cancer (IMPORT HIGH): a multicentre, phase 3, non-inferiority, open-label, randomised controlled trial The Lancet, 2023; 401, 2124-2137
Kirby A, Cafferty F, Poole K et al. Testing a 5-fraction Simultaneous Integrated Boost in Radiotherapy for Breast Cancer: The UK FAST-Forward Boost Trial Opens to Recruitment Clinical Oncology, 2025; 45

Santé Québec Bas-Saint-Laurent

Cancer de la prostate

- 40 Gy à la prostate et 25 Gy au pelvis en 5 fractions

Santé Québec Bas-Saint-Laurent

Cancer du poumon

- 18 Gy en une seule fraction

Santé Québec