

Rapports sur la santé

Amélioration du modèle OncoSim-Sein en utilisant des données canadiennes sur la densité mammaire

par Oguzhan Alagoz, Rochelle Garner, Claude Nadeau, Andrew Coldman,
Jean Hai Ein Yong, Martin J. Yaffe, James G. Mainprize et Dori Simeonov

Date de diffusion : le 20 mai 2026



Statistique
Canada

Statistics
Canada

Canada

Comment obtenir d'autres renseignements

Pour toute demande de renseignements au sujet de ce produit ou sur l'ensemble des données et des services de Statistique Canada, visiter notre site Web à www.statcan.gc.ca.

Vous pouvez également communiquer avec nous par :

Courriel à infostats@statcan.gc.ca

Téléphone entre 8 h 30 et 16 h 30 du lundi au vendredi aux numéros suivants :

- | | |
|---|----------------|
| • Service de renseignements statistiques | 1-800-263-1136 |
| • Service national d'appareils de télécommunications pour les malentendants | 1-800-363-7629 |
| • Télécopieur | 1-514-283-9350 |

Normes de service à la clientèle

Statistique Canada s'engage à fournir à ses clients des services rapides, fiables et courtois. À cet égard, notre organisme s'est doté de normes de service à la clientèle que les employés observent. Pour obtenir une copie de ces normes de service, veuillez communiquer avec Statistique Canada au numéro sans frais 1-800-263-1136. Les normes de service sont aussi publiées sur le site www.statcan.gc.ca sous « Contactez-nous » > « [Normes de service à la clientèle](#) ».

Note de reconnaissance

Le succès du système statistique du Canada repose sur un partenariat bien établi entre Statistique Canada et la population du Canada, les entreprises, les administrations et les autres organismes. Sans cette collaboration et cette bonne volonté, il serait impossible de produire des statistiques exactes et actuelles.

Publication autorisée par la ministre responsable de Statistique Canada

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par la ministre de l'Industrie, 2026

L'utilisation de la présente publication est assujettie aux modalités de l'[entente de licence ouverte](#) de Statistique Canada.

Une [version HTML](#) est aussi disponible.

This publication is also available in English.

Amélioration du modèle OncoSim-Sein en utilisant des données canadiennes sur la densité mammaire

par Oguzhan Alagoz , Rochelle Garner, Claude Nadeau, Andrew Coldman, Jean Hai Ein Yong, Martin J. Yaffe, James G. Mainprize et Dori Simeonov

DOI: <https://www.doi.org/10.25318/82-003-x202600500002-fra>

RÉSUMÉ

Contexte

Le cancer du sein est le cancer le plus fréquemment diagnostiqué chez les femmes au Canada. La densité mammaire influence considérablement le risque de cancer du sein et le rendement de la mammographie. Cependant, OncoSim-Sein, un modèle de microsimulation canadien représentant le contrôle du cancer du sein, y compris l'apparition du cancer, le dépistage et la survie, n'a pas encore explicitement pris en compte la densité mammaire. Cette étude décrit l'intégration de paramètres spécifiques à la densité au modèle OncoSim-Sein.

Données et méthodes

Des données spécifiques à la densité mammaire, provenant de cinq provinces canadiennes, ont été intégrées dans OncoSim-Sein. Trois paramètres clés — la prévalence, le risque relatif de cancer du sein et l'efficacité de la mammographie numérique (sensibilité et spécificité) — ont été estimés par groupe d'âge et par catégorie de densité mammaire, selon la classification du Breast Imaging Reporting and Data System (BI-RADS) de l'American College of Radiology (catégories A à D). Des expériences d'étalonnage et des validations internes ont été réalisées pour garantir que le modèle OncoSim-Sein mis à jour correspondait aux données observées du Registre canadien du cancer.

Résultats

La prévalence des seins denses diminue avec l'âge : les catégories BI-RADS C et D représentaient 58 % des femmes de moins de 50 ans et 26 % de celles âgées de 70 ans et plus. La sensibilité de la mammographie numérique diminuait également avec l'augmentation de la densité : chez les femmes de moins de 50 ans, la sensibilité était de 88 % pour la catégorie A et de 69 % pour la catégorie D. Le modèle OncoSim-Sein mis à jour a reproduit avec précision l'incidence selon l'âge, l'incidence ajustée selon l'âge et la répartition des stades basée sur les données historiques du Registre canadien du cancer (2010 à 2019).

Interprétation

L'intégration de paramètres spécifiques à la densité mammaire a considérablement amélioré la précision et la pertinence stratégique d'OncoSim-Sein. Le modèle mis à jour fournit un outil validé pour éclairer les décisions en matière de politique de dépistage chez les femmes canadiennes, permettant de prendre en compte l'effet de la variabilité de la densité mammaire parmi les femmes.

Mots-clés

Cancer du sein au Canada, densité mammaire, modélisation par simulation, mammographie de dépistage, dépistage complémentaire du cancer du sein

AUTEURS

Oguzhan Alagoz est au Département de génie industriel et des systèmes, Université du Wisconsin–Madison, Madison, Wisconsin, États-Unis. Rochelle Garner et Claude Nadeau travaillent à la Division de l'analyse et de la modélisation de la santé, Statistique Canada, Ottawa, Ontario, Canada. Andrew Coldman travaille à Population Health Sciences, BC Cancer, Vancouver, Colombie-Britannique, Canada. Jean Hai Ein Yong et Dori Simeonov faisaient partie de la Division des systèmes et de l'innovation en oncologie, Partenariat canadien contre le cancer, Toronto, Ontario, Canada. Martin J. Yaffe et James G. Mainprize sont affiliés à l'Institut de recherche Sunnybrook, Toronto, Ontario, Canada.

Ce que l'on sait déjà sur le sujet

- Le modèle OncoSim-Sein, développé par le Partenariat canadien contre le cancer en collaboration avec Statistique Canada, intègre des données démographiques, épidémiologiques et cliniques canadiennes de haute qualité, offrant un outil exhaustif basé sur la population pour évaluer les résultats des stratégies de dépistage du cancer du sein au Canada.
- La densité mammaire à la mammographie est associée à un risque accru de cancer du sein et à une sensibilité réduite de la mammographie.
- OncoSim-Sein n'a pas encore intégré de données spécifiques à la densité mammaire provenant des populations canadiennes.

Ce qu'apporte l'étude

- Cette étude présente une mise à jour majeure d'OncoSim-Sein qui inclut la prévalence de la densité mammaire spécifique au Canada, des estimations de risque et des données sur le rendement de la mammographie.
- Le modèle mis à jour reflète avec précision l'incidence historique et la répartition des stades du cancer du sein, offrant une meilleure précision pour orienter et évaluer les politiques de dépistage adaptées à la densité mammaire.

Le cancer du sein est le cancer le plus fréquemment diagnostiqué et la deuxième cause de décès attribuable au cancer chez les femmes au Canada¹. Le dépistage mammographique à l'échelle de la population joue un rôle crucial dans la détection du cancer du sein à des stades plus précoces et plus traitables, et demeure la seule méthode de dépistage dont les avantages en matière de réduction de la mortalité ont été démontrés dans des essais contrôlés randomisés². Malgré les avancées technologiques dans la mammographie de dépistage, la recherche indique que son efficacité varie selon les caractéristiques des patientes, la densité mammaire étant l'un des facteurs les plus importants influençant le risque de cancer du sein et la précision du dépistage³. Les femmes ayant une densité mammaire plus élevée présentent un risque accru de développer un cancer du sein tout en ayant une sensibilité réduite lors du dépistage par mammographie^{3,4}.

OncoSim, élaboré par le Partenariat canadien contre le cancer en collaboration avec Statistique Canada, est un ensemble de modèles de microsimulation basés sur des données réelles qui peuvent répondre à des questions complexes pour améliorer les résultats pour les patients et optimiser l'utilisation des ressources du système de lutte contre le cancer⁵. OncoSim a aidé les organismes et programmes de lutte contre le cancer en fournissant des renseignements pertinents pour soutenir les décisions en matière de politique, de pratique et d'allocation des ressources à l'échelle des secteurs de compétence⁵. Les utilisateurs peuvent accéder à OncoSim au moyen d'une interface Web et élaborer des scénarios personnalisés pour éclairer les décisions actuelles et futures en matière de politique de santé⁵.

OncoSim-Sein est un modèle OncoSim spécifique qui se concentre sur la modélisation du développement, du dépistage, du diagnostic et du traitement du cancer du sein⁶. OncoSim-Sein a été étalonné au moyen des données historiques sur l'incidence du cancer selon l'âge et l'année provenant du Système national de déclaration des cas de cancer (1969 à 1991) et du Registre canadien du cancer (RCC) (1992 à 2020)⁶. OncoSim-Sein représente avec succès le fardeau du cancer du sein au niveau de la population au Canada⁶.

Malgré l'association bien établie entre la densité mammaire et le risque de cancer du sein ainsi que la précision du dépistage, les versions précédentes d'OncoSim-Sein n'intégraient pas explicitement ces relations. Par conséquent, le modèle était limité dans sa capacité à évaluer des stratégies de dépistage adaptées aux femmes ayant des densités mammaires différentes. Plus précisément, il était difficile d'utiliser le modèle pour évaluer les avantages ou préjudices potentiels ou la possible rentabilité des modalités de dépistage supplémentaires, comme l'échographie mammaire, l'imagerie par résonance magnétique (IRM), la mammographie avec renforcement du contraste ou la tomosynthèse mammaire numérique, qui sont de plus en plus envisagées pour les femmes ayant un tissu mammaire dense en raison de la sensibilité réduite de la mammographie traditionnelle⁷.

Cette étude visait à améliorer le modèle OncoSim-Sein en intégrant des données canadiennes sur la densité mammaire et en validant le modèle mis à jour, renforçant ainsi sa capacité à évaluer et comparer les politiques de dépistage adaptées à la densité mammaire. À la meilleure connaissance des auteurs, OncoSim-Sein demeure le seul modèle de microsimulation spécifiquement conçu pour représenter l'épidémiologie du cancer du sein au Canada.

Tableau 1

Entrées spécifiques à la densité mammaire et à l'âge ainsi que cibles d'étalonnage dans OncoSim-Sein

	Catégorie A de BI-RADS : Seins presque entièrement adipeux	Catégorie B de BI-RADS : Zones de tissu fibroglandulaire dispersées	Catégorie C de BI-RADS : Seins d'une densité hétérogène	Catégorie D de BI-RADS : Seins extrêmement denses
Entrées et cibles d'étalonnage				
Prévalence (%)				
Groupe d'âge				
Moins de 50 ans	9	33	46	12
50 à 59 ans	10	50	33	7
60 à 69 ans	14	56	26	4
70 ans et plus	16	58	23	3
Risque relatif de cancer du sein (indexé à la moyenne canadienne spécifique à l'âge)				
Groupe d'âge				
Moins de 50 ans	0,38	0,73	1,18	1,49
50 à 64 ans	0,52	0,87	1,30	1,59
65 ans et plus	0,62	0,95	1,29	1,47
Sensibilité de la mammographie numérique (en %)				
Groupe d'âge				
Moins de 50 ans	88	80	76	69
50 à 64 ans	93	91	83	76
65 ans et plus	92	91	88	77
Spécificité relative de la mammographie numérique (indexé à la moyenne canadienne spécifique à l'âge)				
Groupe d'âge				
Moins de 50 ans	1,05	1,01	0,98	1,00
50 à 59 ans	1,03	1,00	0,99	1,00
60 à 69 ans	1,03	1,00	0,99	1,01
70 ans et plus	1,02	1,00	0,99	1,01

Notes : BI-RADS = Breast Imaging Reporting and Data System. Les cibles de prévalence et de sensibilité ont été établies à partir des données recueillies en 2024 auprès de cinq programmes provinciaux de dépistage. Les tendances en matière de risques relatifs et de spécificité étaient basées sur des données publiées, puis repondérées et ancrées à la distribution de densité canadienne. Les risques relatifs et la spécificité relative sont indexés, de sorte que la moyenne pondérée par la prévalence est égale à 1 dans chaque groupe d'âge.

Source : Calculs des auteurs utilisant des données provenant de cinq programmes provinciaux de dépistage et du Breast Cancer Surveillance Consortium.

Données et méthodes

Aperçu du modèle OncoSim-Sein

OncoSim-Sein, un modèle de microsimulation canadien conçu pour orienter les politiques de contrôle du cancer du sein, a été décrit précédemment⁶ et est brièvement résumé ici. OncoSim-Sein simule l'apparition, la croissance, la détection, la progression et les résultats du cancer du sein invasif et du carcinome canalaire *in situ* chez les femmes. Le modèle intègre des données canadiennes sur l'incidence du cancer, la mortalité, les pratiques de dépistage, les coûts et la qualité de vie, permettant la projection des résultats au niveau de la population dans différents scénarios.

Le modèle simule des femmes individuelles dans la population canadienne, en intégrant les données démographiques, les facteurs de risque (par exemple, les mutations BRCA1 et BRCA2, les antécédents familiaux, l'hormonothérapie substitutive), la biologie tumorale et l'histoire naturelle. La composante d'histoire naturelle est structurée de manière similaire à celle du Modèle de simulation du cancer du sein de l'Université du Wisconsin⁸. Les tumeurs se développent et croissent selon des fonctions de Gompertz, peuvent se propager aux ganglions lymphatiques ou métastaser, et peuvent être détectées cliniquement ou par dépistage. Lors de la détection, les caractéristiques tumorales spécifiques au stade et au sous-

type sont attribuées en fonction des données du RCC. La progression de la maladie est modélisée en utilisant la survie et les risques de récurrence spécifiques à chaque stade, étalonnés avec des données de cohortes nationales et provinciales canadiennes.

OncoSim-Sein a été validé de manière externe par rapport à l'essai en fonction de l'âge du Royaume-Uni, qui a comparé le dépistage annuel chez les femmes âgées de 40 à 49 ans avec les soins habituels au Royaume-Uni⁶. Le modèle a également été validé par recoupement avec les modèles de cancer du sein du Cancer Intervention and Surveillance Modeling Network (CISNET) des États-Unis⁹, qui ont orienté les recommandations de dépistage du cancer du sein de la United States Preventive Services Task Force (USPSTF) en 2009, 2016 et 2024^{10,11}.

Représenter la densité mammaire

La densité mammaire désigne la proportion de tissu fibroglandulaire (dense) par rapport au tissu adipeux (non dense) dans les seins d'une femme, telle que visualisée sur une mammographie. Bien que la densité mammaire soit intrinsèquement une variable continue allant de 0 % à 100 %, en pratique clinique, elle est classée en utilisant la 5^e édition du Breast Imaging Reporting and Data System (BI-RADS) de l'American College of Radiology, qui définit quatre catégories qualitatives de densité basées sur l'évaluation visuelle du tissu fibroglandulaire¹² :

- Catégorie A : Seins presque entièrement adipeux
- Catégorie B : Zones de tissu fibroglandulaire dispersées
- Catégorie C : Seins d'une densité hétérogène
- Catégorie D : Seins extrêmement denses.

Conformément à la littérature et à la structure du cadre de modélisation OncoSim-Sein, le modèle mis à jour intègre la densité mammaire en utilisant les quatre catégories de BI-RADS.

La densité mammaire est modélisée en utilisant des distributions de prévalence spécifiques à l'âge, définies pour les groupes d'âge suivants : moins de 50 ans, 50 à 59 ans, 60 à 69 ans et 70 ans et plus. Dans le modèle, chaque femme se voit attribuer une densité mammaire initiale avant l'âge de 40 ans, qui reste fixe jusqu'à l'âge de 50 ans; la densité peut changer aux âges de 50, 60 et 70 ans et reste constante dans chaque tranche d'âge. Les paramètres de densité mammaire sont ajustés pour reproduire les distributions transversales observées et spécifiques à l'âge. Les changements de densité longitudinale sont générés par un processus de transition simplifié qui produit des déclinis plausibles de la densité liés à l'âge; cependant, ce processus n'est pas étalonné empiriquement à des données longitudinales au niveau individuel.

Estimation des entrées et des cibles spécifiques à la densité mammaire pour l'étalonnage des paramètres

Pour intégrer la densité mammaire dans OncoSim-Sein, cette étude a utilisé une entrée directe et deux cibles pour l'étalonnage des paramètres (tableau 1). La prévalence de la

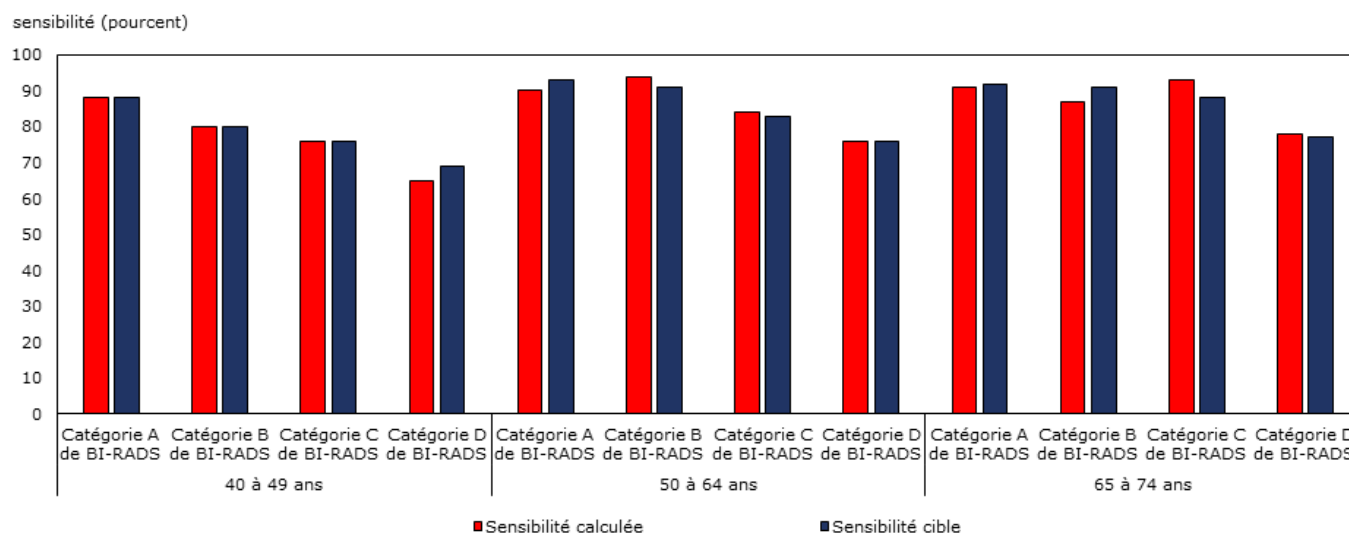
densité mammaire spécifique à l'âge a été utilisée comme entrée directe du modèle, tandis que le risque relatif de développer un cancer du sein selon la catégorie de BI-RADS et le rendement de la mammographie numérique (sensibilité et spécificité) selon l'âge et la densité ont servi de cibles pour l'étalonnage des paramètres internes du modèle. Les catégories de groupes d'âge varient entre les données d'entrée et les cibles en raison des différences dans les sources de données et de la nécessité d'assurer une puissance statistique adéquate au sein de chaque groupe. Certains paramètres d'entrée clés d'OncoSim-Sein ont été révisés afin d'harmoniser les projections du modèle avec les objectifs décrits ci-dessus et les tendances observées du cancer du sein au Canada, améliorant ainsi la capacité du modèle à évaluer les stratégies de dépistage adaptées à la densité mammaire.

Les entrées et les cibles spécifiques à la densité ont été estimées comme suit.

(1) Prévalence de la densité mammaire : L'entrée la plus essentielle pour représenter la densité mammaire dans le modèle est sa prévalence chez les femmes au Canada. Parce que la densité mammaire change à mesure que les femmes vieillissent, il est essentiel d'estimer sa répartition entre différents groupes d'âge¹³. OncoSim-Sein a d'abord inclus la prévalence de la densité mammaire dans la version 3.1.1.1 du modèle (décembre 2018), et les estimations ont ensuite été mises à jour en utilisant des données plus récentes. Pour ce faire, des données primaires sur la répartition de la densité mammaire ont été recueillies en novembre et décembre 2024 dans cinq provinces canadiennes (Ontario, Colombie-Britannique, Nouvelle-Écosse, Manitoba et Île-du-Prince-Édouard) : ces cinq provinces représentaient

Graphique 1

Comparaison de la sensibilité calculée par OncoSim-Sein et estimations cibles, stratifiées selon le groupe d'âge et la densité mammaire



Note : BI-RADS = Breast Imaging Reporting and Data System.

Source : Calculs des auteurs utilisant OncoSim-Sein et des données provenant des programmes provinciaux de dépistage.

environ 60 % de la population féminine canadienne en 2025¹⁴. Ces données, couvrant des périodes variables selon les provinces de 2018 à 2023, ont été stratifiées en quatre groupes d'âge (moins de 50 ans, 50 à 59 ans, 60 à 69 ans et 70 ans et plus). En utilisant ces estimations et en pondérant par la répartition de la population féminine dans chaque province contributrice, des moyennes pondérées ont été calculées pour les quatre groupes d'âge et selon la densité.

(2) Risque relatif de cancer du sein : Il existe de fortes preuves que le risque de développer un cancer du sein varie selon l'âge, ce qui fait en sorte qu'il est essentiel d'estimer le risque relatif par groupe d'âge¹⁵. Pour générer des valeurs cibles adaptées aux femmes canadiennes, une revue de la littérature a été réalisée afin d'identifier des études impliquant des populations canadiennes. Bien que certaines études aient constaté un risque de cancer du sein spécifique à la densité au Canada^{3,16}, aucune n'a fourni d'estimations du risque relatif stratifiées par densité mammaire (en utilisant la classification de BI-RADS) et groupe d'âge. En raison de cette limitation, les données du Breast Cancer Surveillance Consortium (BCSC) aux États-Unis ont été utilisées pour estimer le risque relatif de développer un cancer du sein selon la densité mammaire et le groupe d'âge, afin de pouvoir les utiliser dans OncoSim-Sein¹¹. Ces valeurs ont également été utilisées dans des analyses menées par les modèles de cancer du sein CISNET pour orienter les recommandations de dépistage du cancer du sein de l'USPSTF en 2016 et 2024^{11,17}. Pour refléter le contexte canadien, les estimations dérivées du BCSC ont été repondérées en fonction de la prévalence de la densité mammaire au Canada afin de générer des valeurs de risque relatif ancrées à la distribution moyenne de la densité au Canada.

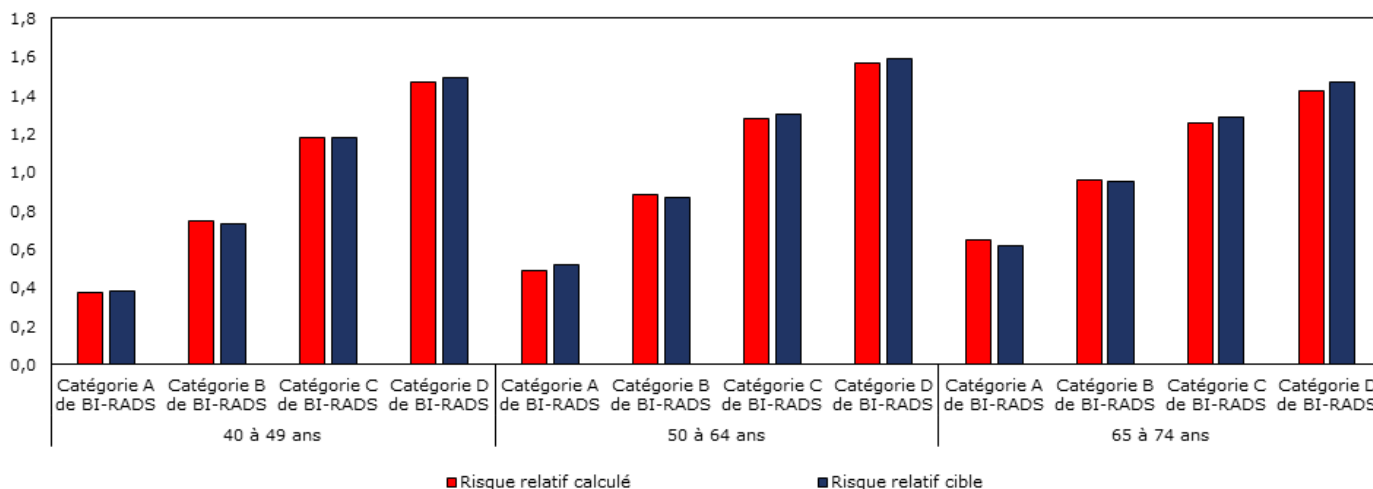
(3) Performance de la mammographie selon la densité : Le deuxième ensemble de cibles d'étalonnage concerne le rendement de la mammographie de dépistage selon la densité. Bien qu'OncoSim-Sein prenne en compte différentes technologies de mammographie, y compris la mammographie sur film et numérique, cette étude s'est concentrée exclusivement sur la mammographie numérique, car c'est la méthode de dépistage principalement utilisée au Canada. Le rendement de la mammographie est influencé non seulement par la densité mammaire, mais aussi par le groupe d'âge, ce qui rend nécessaires des estimations spécifiques à l'âge¹⁸. Différentes approches ont été utilisées pour estimer la sensibilité et la spécificité de la mammographie numérique.

Dans les calculs de sensibilité, les mammographies étaient considérées comme des faux négatifs si un cancer était diagnostiqué dans les 12 mois suivant un examen de dépistage négatif. Pour estimer la sensibilité spécifique à la densité, des données primaires ont été recueillies en novembre et décembre 2024 dans cinq provinces — Ontario, Colombie-Britannique, Nouvelle-Écosse, Manitoba et Île-du-Prince-Édouard. Cependant, en raison du faible nombre de cas de cancer signalés au Manitoba et à l'Île-du-Prince-Édouard, seules les données de l'Ontario, de la Colombie-Britannique et de la Nouvelle-Écosse ont été utilisées pour les estimations de la sensibilité. En utilisant ces données et en appliquant des pondérations basées sur la répartition de la population féminine dans chaque province contributrice, une sensibilité moyenne pondérée a été calculée selon les catégories de densité mammaire, les groupes d'âge et les séquences de dépistage (c.-à-d. les examens de dépistage initiaux par rapport aux examens de dépistage subséquents). Cette estimation ne tenait pas compte des effets

Graphique 2

Comparaison des risques relatifs de cancer du sein calculée par OncoSim-Sein et estimations cibles, stratifiées selon le groupe d'âge et la densité mammaire

risque relatif de cancer du sein



Note : BI-RADS = Breast Imaging Reporting and Data System. Les risques relatifs sont indexés à la densité mammaire moyenne pour le groupe d'âge correspondant au Canada.

Source : Calculs des auteurs utilisant OncoSim-Sein et des données provenant des programmes provinciaux de dépistage et des données publiées du Breast Cancer Surveillance Consortium.

confusionnels d'autres facteurs, comme la race et l'ethnicité, sur la densité mammaire. Pour simplifier l'étalonnage des entrées spécifiques à la densité dans OncoSim-Sein, une estimation finale de la sensibilité moyenne pondérée globale a été dérivée en combinant les valeurs des séquences de dépistage au sein de chaque groupe de densité et d'âge.

Pour estimer la spécificité selon la densité mammaire, une approche différente a été utilisée. Dans le modèle OncoSim-Sein, la spécificité de la mammographie est spécifiée uniquement au niveau agrégé par groupe d'âge et n'est pas stratifiée selon la densité mammaire. Par conséquent, aucune valeur de spécificité spécifique à la densité de référence n'était disponible pour une mise en œuvre directe. Au lieu de cela, des estimations de spécificité relative spécifiques à l'âge selon la densité mammaire provenant du BCSC ont été utilisées. Ces estimations déclarent la spécificité pour les catégories de densité mammaire BI-RADS A, C et D par rapport à la catégorie B¹⁸. En utilisant ces ratios de spécificité relative, la spécificité spécifique à la densité a été ancrée à la catégorie B, et la spécificité de base pour la catégorie B a été déterminée de manière à ce que la spécificité moyenne pondérée par la prévalence entre les catégories de densité corresponde à la spécificité agrégée spécifique à l'âge déjà utilisée dans OncoSim-Sein. Les estimations de la prévalence de la densité mammaire spécifique à l'âge provenant de cinq provinces canadiennes ont été utilisées comme pondérations dans cet étalonnage. Cette approche a désagrégé les entrées de spécificité agrégée existantes dans OncoSim-Sein en valeurs spécifiques à la densité tout en préservant la spécificité globale observée dans la population canadienne.

Étalonnage de sensibilité

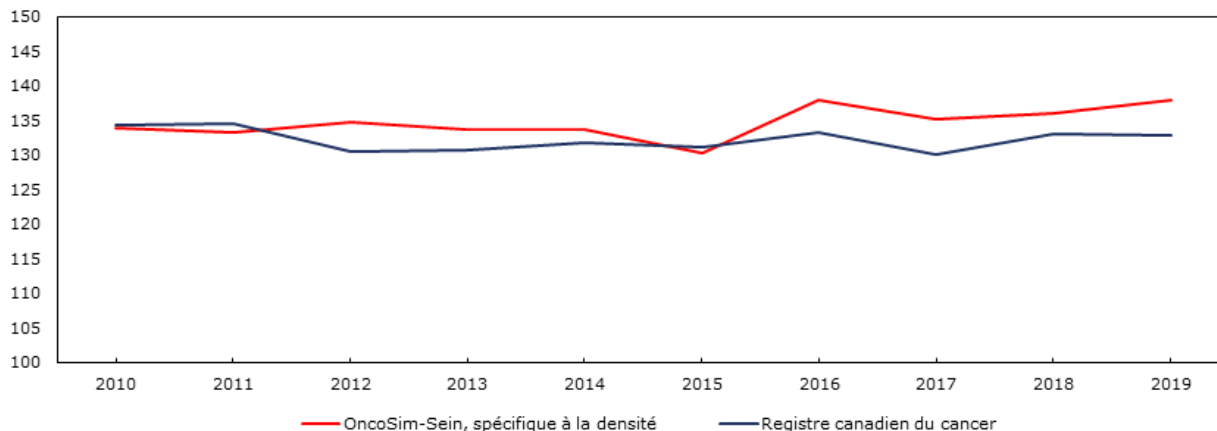
Une approche structurée a été suivie pour trouver des entrées spécifiques à la densité appropriée pour OncoSim-Sein, assurant la cohérence avec la version existante durant ce processus. La prévalence de la densité mammaire a été intégrée directement, tandis que les risques relatifs spécifiques à la densité de développer un cancer du sein ont nécessité une remise à l'échelle du risque de base dans OncoSim-Sein afin de préserver les relations de risque relatif dérivées du BCSC par densité dans les résultats simulés finaux. En revanche, l'intégration des rendements de la mammographie numérique spécifiques à la densité a nécessité des expériences approfondies en matière d'étalonnage de la sensibilité. Cette complexité est survenue parce qu'OncoSim-Sein ne permet pas l'entrée directe de la sensibilité des examens de dépistage. Au lieu de cela, il utilise une fonction de détection du cancer spécifique à la taille de la tumeur⁶. Pour y remédier, différentes valeurs pour cette fonction de détection ont été testées, et celles qui correspondaient le plus étroitement aux estimations de sensibilité cibles, basées sur les données provinciales canadiennes, ont été sélectionnées pour chaque catégorie de densité mammaire et groupe d'âge.

Des hypothèses sur les taux de participation au dépistage étaient nécessaires pour les expériences d'étalonnage de la sensibilité. Les taux de participation avant 2015 n'ont pas été modifiés dans le modèle. À partir de 2015, la participation au dépistage a été supposée constante au fil du temps. Cette hypothèse a été formulée parce que les taux de participation annuels par province au fil du temps n'étaient pas systématiquement disponibles, ou étaient déclarés pour des intervalles pluriannuels sélectionnés (p. ex. de 2018 à 2019 et de 2020 à 2021), avec une couverture variable d'une province à l'autre¹⁹.

Graphique 3

Comparaison de l'incidence du cancer du sein ajustée selon l'âge à partir des projections spécifiques à la densité d'OncoSim-Sein et du Registre canadien du cancer, 2010 à 2019

incidence du cancer du sein pour 100 000 femmes



Source : Calculs des auteurs utilisant OncoSim-Sein et des données provenant du Registre canadien du cancer.

Utiliser une participation variant dans le temps dans ces circonstances introduirait une variation temporelle artificielle due aux lacunes des données plutôt qu'à de véritables changements dans le comportement de dépistage. Par conséquent, une hypothèse de participation constante a été adoptée pour assurer la cohérence et la transparence du modèle. Les taux de participation ont été structurés séparément pour les femmes à haut risque (définies comme celles ayant des antécédents familiaux de cancer du sein au premier ou au deuxième degré) et pour toutes les autres femmes, car les données canadiennes indiquent que la rétention et le retour au dépistage sont plus élevés chez les femmes à haut risque²⁰. Ces hypothèses étaient basées sur des taux de participation spécifiques à chaque province, qui variaient de 35 % à 66 % selon le Partenariat canadien contre le cancer pour les périodes de 2018 à 2019 et de 2020 à 2021¹⁹. Cependant, dans le modèle, ces taux ont été appliqués uniformément à toutes les provinces dans OncoSim-Sein.

Validation interne

La validation interne a été réalisée en comparant les projections mises à jour d'OncoSim-Sein (incidence spécifique à l'âge, incidence ajustée selon l'âge et répartition par stade) aux données observées. Plus précisément, les taux d'incidence ajustés selon l'âge et spécifiques à l'âge projetés par le modèle OncoSim-Sein spécifique à la densité (version 3.6.7.3 d'OncoSim-Sein) ont été comparés aux données observées du RCC (2010 à 2019)²¹. La répartition par stade des cas de cancer du sein projetée par le modèle OncoSim-Sein spécifique à la densité a été comparée aux données observées du RCC (2010 à 2017)^{22,23} selon différents groupes d'âge. Bien que le RCC ait déclaré les répartitions par stade jusqu'en 2019, différents systèmes de stadification ont été utilisés de 2010 à 2017 et de 2018 à 2019. Par conséquent, les comparaisons ont été restreintes à la période de 2010 à 2017.

Analyses

Toutes les expériences numériques ont été réalisées en utilisant la version 3.6.7.3 d'OncoSim, avec une taille de simulation de 32 millions de personnes. Les taux normalisés selon l'âge ont été calculés en utilisant la normalisation directe sur la population canadienne type au 1^{er} juillet 2011, conformément aux rapports de Statistique Canada sur les taux d'incidence et de mortalité normalisés selon l'âge au moment de l'analyse, et exprimés pour 100 000 femmes²⁴.

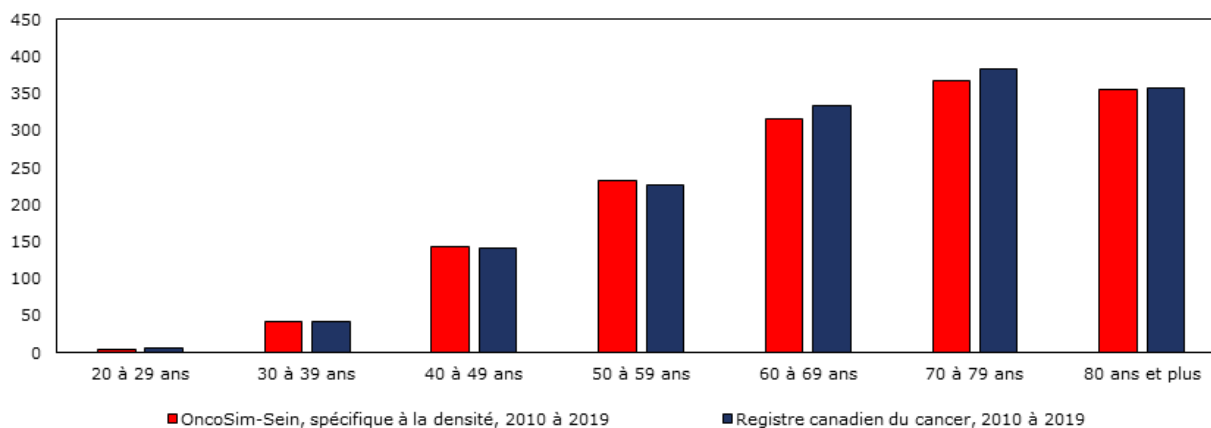
Résultats

Le tableau 1 présente les valeurs d'entrée et cibles spécifiques à la densité utilisées pour mettre à jour OncoSim-Sein. La prévalence des femmes ayant des seins denses au Canada diminue avec l'âge. Par exemple, les proportions de femmes ayant une densité mammaire de catégorie C et de catégorie D de BI-RADS étaient respectivement de 46 % et 12 % chez les moins de 50 ans, de 33 % et 7 % chez les 50 à 59 ans, de 26 % et 4 % chez les 60 à 69 ans, et de 23 % et 3 % chez les 70 ans et plus (tableau 1). De plus, la sensibilité de la mammographie diminue considérablement avec l'augmentation de la densité mammaire. Par exemple, chez les femmes de moins de 50 ans, la sensibilité cible de la mammographie numérique selon la densité mammaire était de 88 % pour la catégorie A, 80 % pour la catégorie B, 76 % pour la catégorie C et 69 % pour la catégorie D. Dans la plupart des cas, la sensibilité augmente avec l'âge chez les femmes ayant des seins denses. Par exemple, pour la densité de catégorie D, la sensibilité cible de la mammographie numérique augmente pour passer de 69 % chez les moins de 50 ans à 76 % chez les 50 à 64 ans et à 77 % chez les femmes de 65 ans et plus.

Graphique 4

Comparaison de l'incidence du cancer du sein selon l'âge à partir des projections spécifiques à la densité d'OncoSim-Sein et du Registre canadien du cancer, de 2010 à 2019

incidence du cancer du sein pour 100 000 femmes



Source : Calculs des auteurs utilisant OncoSim-Sein et des données provenant du Registre canadien du cancer.

Résultats de l'étalonnage

Le graphique 1 compare les valeurs de sensibilité mammographique calculées avec les valeurs cibles (tableau 1). Les résultats indiquent que l'écart moyen entre les valeurs de sensibilité estimées et cibles était inférieur à 2 % dans toutes les catégories de densité mammaire et groupes d'âge, ce qui est cohérent avec les résultats d'étalonnage de la sensibilité des modèles CISNET pour le cancer du sein (graphique 1)²⁵. Cela confirme que les entrées spécifiques à la taille de la tumeur utilisées dans OncoSim-Sein pour représenter la sensibilité spécifique à la densité reproduisent avec précision la sensibilité de la mammographie numérique observée au Canada. Le graphique 2 compare les risques relatifs spécifiques à la densité avec les valeurs cibles (tableau 1). Les écarts sont minimes dans toutes les catégories de densité et groupes d'âge, ce qui indique qu'OncoSim-Sein reproduit fidèlement les risques estimés spécifiques à la densité.

Résultats de validation

Le graphique 3 compare les taux d'incidence ajustés selon l'âge projetés par le modèle OncoSim-Sein spécifique à la densité avec les données observées du RCC (2010 à 2019)²¹, démontrant que le modèle mis à jour a réussi à reproduire les tendances d'incidence réelles au Canada durant cette période. De même, le graphique 4 compare les taux d'incidence selon l'âge du modèle mis à jour aux données observées du RCC (2010 à 2019), confirmant que le modèle reflète avec précision les tendances réelles à travers les différents groupes d'âge. De

plus, le graphique 5 compare la distribution par stade des cas de cancer du sein projetée par OncoSim-Sein spécifique à la densité aux données observées du RCC (2010 à 2017)^{22,23}. Étant donné que la distribution par stade varie selon le groupe d'âge, des comparaisons ont été faites entre différents groupes d'âge. Les résultats indiquent que la répartition par stade projetée par le modèle correspond étroitement aux données déclarées.

Enfin, le graphique 6 compare les taux de mortalité attribuable au cancer du sein ajustés selon l'âge projetés par OncoSim-Sein spécifique à la densité avec les données observées de la Base canadienne de données de l'état civil – Décès de 2010 à 2019²⁶, montrant une étroite correspondance entre les projections du modèle et les tendances observées concernant la mortalité.

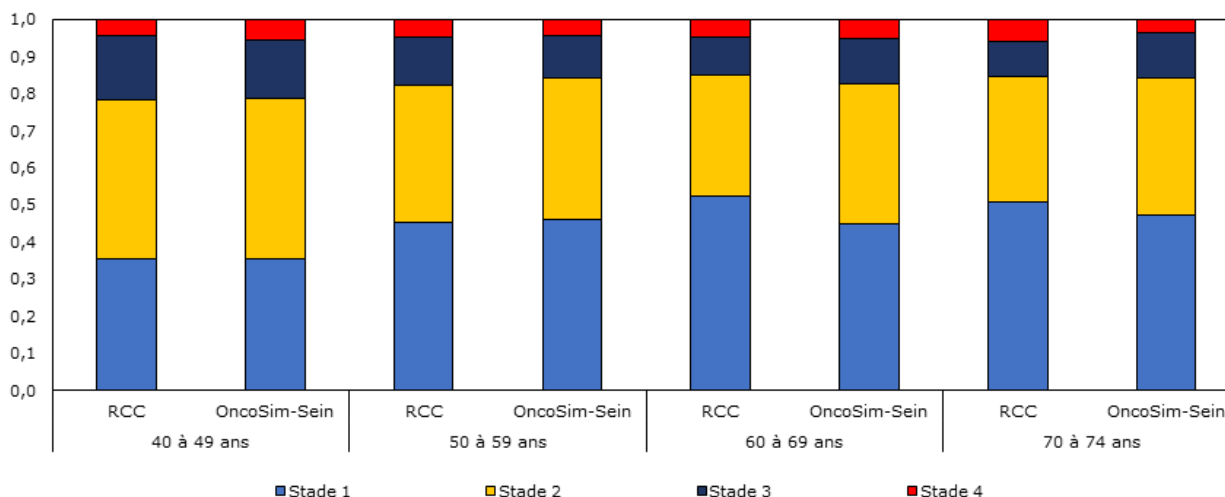
Discussion

Cette étude décrit l'estimation et l'intégration de données canadiennes clés spécifiques à la densité mammaire dans OncoSim-Sein, améliorant ainsi sa capacité à modéliser plus précisément les résultats du dépistage du cancer du sein. Des comparaisons approfondies avec des données observées confirment la fiabilité du modèle mis à jour, qui intègre la prévalence de la densité mammaire, le risque relatif spécifique à la densité du cancer du sein et le rendement spécifique à la densité de la mammographie numérique. Ces améliorations ont renforcé la capacité d'OncoSim-Sein à modéliser l'influence de la densité mammaire sur le risque et les résultats du dépistage.

Graphique 5

Comparaison de la répartition par stade selon les projections spécifiques à la densité d'OncoSim-Sein et du Registre canadien du cancer, par groupe d'âge, 2010 à 2017

proportion de cancers du sein invasifs



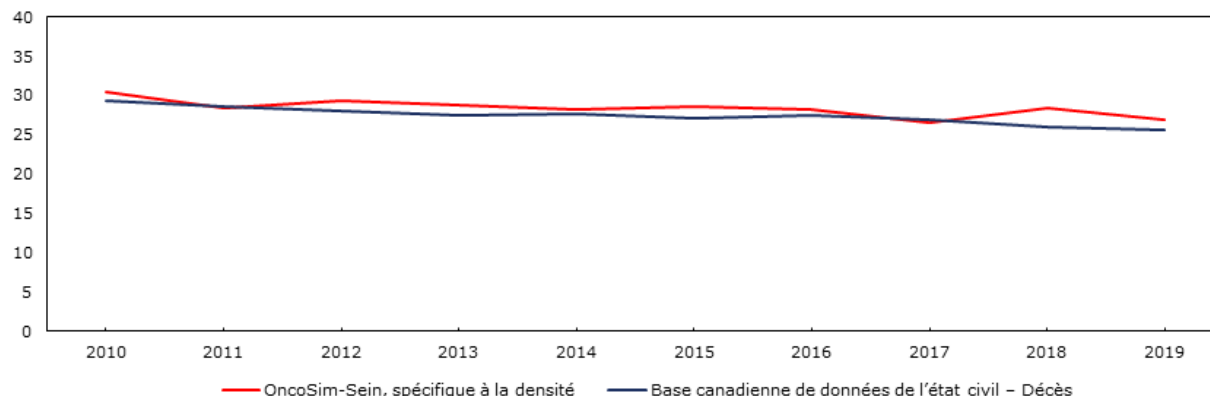
Note : RCC = Registre canadien du cancer.

Source : Calculs des auteurs utilisant OncoSim-Sein et des données provenant du Registre canadien du cancer.

Graphique 6

Comparaison de la mortalité attribuable au cancer du sein ajustée selon l'âge à partir des projections spécifiques à la densité d'OncoSim-Sein et de la Base canadienne de données de l'état civil – Décès, 2010 à 2019

mortalité attribuable au cancer du sein pour 100 000 femmes



Source : Calculs des auteurs utilisant OncoSim-Sein et des données provenant de la Base canadienne de données de l'état civil – Décès.

Les données sur la prévalence de la densité mammaire au Canada incluses dans le modèle OncoSim-Sein mis à jour présentent des tendances liées à l'âge semblables à celles observées dans d'autres pays, notamment en Europe²⁷, en Corée du Sud²⁸, et aux États-Unis¹³, ainsi qu'aux estimations précédemment déclarées pour les femmes canadiennes²⁹. Plus précisément, la prévalence des femmes ayant des seins denses (c.-à-d. les catégories C et D de BI-RADS) diminue avec l'âge, et la catégorie D (extrêmement dense) est systématiquement moins fréquente que la catégorie C (densité hétérogène) dans tous les groupes d'âge. Par exemple, chez les femmes de moins de 50 ans, la proportion ayant une densité de catégorie C est de 47 % aux États-Unis comparativement à la proportion de 46 % utilisée dans cette mise à jour, 39 % comparativement à 33 % chez les 50 à 59 ans, 33 % comparativement à 26 % chez les 60 à 69 ans, et 29 % comparativement à 23 % chez les 70 ans et plus¹³. De même, les proportions de femmes ayant une densité de catégorie D aux États-Unis et dans les données de prévalence utilisées pour mettre à jour OncoSim-Sein étaient respectivement de 15 % et 12 % chez les femmes de moins de 50 ans, de 8 % et 7 % chez les femmes âgées de 50 à 59 ans, de 5 % et 4 % chez les femmes âgées de 60 à 69 ans, et de 3 % dans les deux cas chez les femmes de 70 ans et plus¹³.

À la connaissance des auteurs, aucune étude antérieure n'a indiqué d'estimations spécifiques à la densité pour la sensibilité de la mammographie provenant de plusieurs provinces au Canada; par conséquent, une comparaison directe des estimations dans cet article n'est pas possible. Des études antérieures utilisant des données de dépistage provenant de la Colombie-Britannique²⁹ et de l'Ontario³⁰ ont permis de constater que la sensibilité de la mammographie diminue à mesure que la densité mammaire augmente, ce qui est conforme aux estimations de cette étude. Les valeurs de sensibilité estimées à partir des données provinciales au Canada suivent

également des tendances semblables à celles observées aux États-Unis¹¹.

Le risque accru de cancer du sein et la précision réduite de la mammographie numérique chez les femmes ayant des seins plus denses ont suscité un intérêt croissant pour les modalités d'imagerie supplémentaires à utiliser dans le dépistage du cancer du sein⁷. Cependant, le rôle du dépistage supplémentaire reste controversé. Il n'y a pas de consensus sur les technologies qui devraient être recommandées systématiquement, sur les sous-groupes de femmes qui devraient être ciblées, ni sur la manière d'évaluer ces approches en termes de coût et d'efficacité. Les preuves issues des essais contrôlés randomisés, tels que l'essai DENSE (Dense Tissue and Early Breast Neoplasm Screening), démontrent que le dépistage par IRM supplémentaire chez les femmes ayant des seins extrêmement denses peut réduire considérablement les cancers d'intervalle^{31,32}. De même, il a également été signalé que l'échographie améliore les taux de détection du cancer chez les femmes ayant des seins plus denses³³. Cependant, ces modalités peuvent aussi augmenter les taux de rappel, les biopsies inutiles, l'anxiété des patientes et le fardeau sur le système de santé^{34,35}. Les questions d'accès, de rentabilité et d'équité compliquent davantage la mise en œuvre. Ainsi, des preuves supplémentaires sont nécessaires pour déterminer quelles femmes sont les plus susceptibles de bénéficier d'un dépistage supplémentaire et pour soutenir l'élaboration de lignes directrices stratifiées selon le risque, qui tiennent compte de l'équilibre entre les avantages, les préjudices et les contraintes liées aux ressources. Le travail actuel, en représentant plus précisément le risque de cancer du sein et le rendement de la mammographie numérique dans cette population selon les catégories de densité, constitue une première étape essentielle pour permettre à OncoSim-Sein de faire des estimations qui éclairent les questions stratégiques

liées au dépistage de la population chez les femmes ayant des densités mammaires variées.

Une limitation majeure de la présente étude est que les mises à jour du modèle ont été comparées avec des cibles dérivées de seulement cinq provinces. De plus, des variations dans la qualité et le contenu des données, comme la manière dont la densité mammaire est catégorisée, peuvent exister d'une administration à l'autre. De plus, bien que les données spécifiques à la densité aient été intégrées avec succès dans OncoSim-Sein et validées à l'interne, aucune donnée nationale de premier plan stratifiée par densité mammaire BI-RADS n'était disponible pour soutenir la validation externe. Cela reste un domaine important pour les recherches à venir. De plus, cette étude a utilisé des hypothèses de participation au dépistage au niveau national, car la mise à jour de la modélisation visait à représenter les données nationales sur le cancer du sein. L'extension du modèle aux applications spécifiques à chaque province nécessitera un étalonnage des estimations de participation propres à chaque province. Ce travail est laissé aux recherches à venir.

En conclusion, cette étude décrit l'intégration des données spécifiques à la densité mammaire du Canada dans le modèle OncoSim-Sein. Le modèle mis à jour fournit un outil validé, tenant compte de la densité mammaire, pour soutenir la prise de

décision des programmes de dépistage et des décideurs canadiens. Ses résultats correspondent étroitement aux tendances observées en matière de cancer, ce qui améliore son utilité pour l'évaluation des politiques de dépistage qui tiennent compte de la densité mammaire.

Remerciements

Les auteurs remercient les membres du Réseau canadien de dépistage du cancer du sein, y compris Greg Doyle (président), Shari Dworkin, Brian Chan et Caitlyn Timmings du Partenariat canadien contre le cancer, pour leurs précieux commentaires qui ont contribué à améliorer ce manuscrit. Les auteurs reconnaissent également les contributions des programmes de dépistage qui ont fourni des données cruciales provenant de diverses provinces canadiennes, ainsi que John Hutchinson de l'Université de Calgary pour son aide avec les expériences numériques. Oguzhan Alagoz a été soutenu en partie par les National Institutes of Health dans le cadre de la subvention U01CA253911 du National Cancer Institute.

Références

- Brenner DR, Gillis J, Demers AA, et coll. Projection du fardeau du cancer au Canada en 2024. *JAMC*. 2024; vol. 196, n° 18 : E615-E623.
- Nelson HD, Fu R, Cantor A, et coll. Effectiveness of breast cancer screening: Systematic review and meta-analysis to update the 2009 US Preventive Services Task Force recommendation. *Annals of Internal Medicine*. 2016; vol. 164, n° 4 : p. 244 à 255.
- Boyd NF, Guo H, Martin LJ, et coll. Mammographic density and the risk and detection of breast cancer. *New England Journal of Medicine*. 2007; vol. 356, n° 3 : p. 227 à 236.
- Lowry KP, Coley RY, Miglioretti DL, et coll. Screening performance of digital breast tomosynthesis vs digital mammography in community practice by patient age, screening round, and breast density. *JAMA Network Open*. 2020; vol. 3, n° 7 : e2011792-e2011792.
- Gauvreau CL, Fitzgerald N, Memon S, et coll. The OncoSim model : Development and use for better decision-making in Canadian cancer control. *Current Oncology*. 2017; vol. 24, n° 6 : p. 401.
- Yong JH, Nadeau C, Flanagan WM, et coll. The OncoSim-Breast cancer microsimulation model. *Current Oncology*. 2022; vol. 29, n° 3 : p. 1619 à 1633.
- Paulis LV, Lewin AA, Weinstein SP, et coll. ACR Appropriateness Criteria® Supplemental Breast Cancer Screening Based on Breast Density: 2024 Update. *Journal of the American College of Radiology*. 2025; vol. 22, n° 5 : S405-S423.
- Alagoz O, Ergun MA, Cevik M, et coll. The University of Wisconsin breast cancer epidemiology simulation model: An update. *Medical Decision Making*. 2018; vol. 38(1_suppl) : 99S-111S.
- Alagoz O, Nadeau C, Yong JHE, et coll. Comparaison du modèle OncoSim-Sein du Canada et des modèles pour le cancer du sein du Cancer Intervention and Surveillance Modeling Network (CISNET) des États-Unis. *Rapports sur la santé*. 2025; vol. 36, n° 6 : p. 3.
- Alagoz O, Berry DA, de Koning HJ, et coll. Introduction to the Cancer Intervention and Surveillance Modeling Network (CISNET) breast cancer models. *Medical Decision Making*. 2018; vol. 38(1_suppl) : 3S-8S.
- Trentham-Dietz A, Chapman CH, Jayasekera J, et coll. Collaborative modeling to compare different breast cancer screening strategies: A decision analysis for the US Preventive Services Task Force. *JAMA*. 2024; vol. 331, n° 22 : p. 1947 à 1960.
- American College of Radiology. *Breast Imaging Reporting and Data System (BI-RADS®) Atlas*. 5e éd. Reston, VA : American College of Radiology; 2013.
- Sprague BL, Gangnon RE, Burt V, et coll. Prevalence of mammographically dense breasts in the United States. *Journal of the National Cancer Institute*. 2014; vol. 106, n° 10 : dju255.
- Statistique Canada. Tableau : 17-10-0009-01 (anciennement CANSIM 051-0005) Estimations de la population, trimestrielles. 2025; https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=1710000901&request_locale=fr. Consulté le 29 janvier 2026.
- Kerlikowske K, Cook AJ, Buist DS, et coll. Breast cancer risk by breast density, menopause, and postmenopausal hormone therapy use. *Journal d'oncologie clinique*. 2010; vol. 28, n° 24 : p. 3830 à 3837.
- Seely JM, Peddle ET, Yang H, et coll. Breast density and risk of interval cancers: The effect of annual versus biennial screening mammography policies in Canada. *Journal de l'Association canadienne des radiologistes*. 2022; vol. 73, n° 1 : p. 90 à 100.
- Mandelblatt JS, Cronin K, de Koning H, et coll. Modeling Report: Collaborative Modeling of U.S. Breast Cancer Screening Strategies: Breast Cancer: Screening. U.S. Preventive Services Task Force. 2015; <https://www.uspreventiveservicestaskforce.org/uspstf/document/modeling-report-collaborative-modeling-of-us-breast-cancer-1/breast-cancer-screening-january-2016#bootstrap-panel-1>, September 25, 2024.
- Stout NK, Miglioretti DL, Su Y-R, et coll. Breast cancer screening using mammography, digital breast tomosynthesis, and magnetic resonance imaging by breast density. *JAMA Internal Medicine*. 2024; vol. 184, n° 10 : p. 1222 à 1231.
- Partenariat canadien contre le cancer. Participation au dépistage du cancer du sein chez les personnes âgées de 50 à 74 ans ayant subi un dépistage dans le cadre d'un programme de dépistage par mammographie, par territoire de compétence et par période de dépistage – 2018-2019 et 2020-2021. 2025; <https://www.partnershipagainstcancer.ca/fr/data-tables-breast-indicators/#participate>. Consulté le 31 janvier 2025.
- BC Cancer Provincial Health Services Authority. Breast Screening Program Results 2023. 2023; <https://www.bccancer.bc.ca/screening/Documents/Breast-Screening-Program-Report-2023.pdf>. Consulté le 29 janvier 2025.
- Statistique Canada. Tableau 13-10-0111-01 Nombre et taux de nouveaux cas de cancer primitif, selon le type de cancer, le groupe d'âge et le sexe. 2025; https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=1310011101&request_locale=fr. Consulté le 5 février 2025.
- Wilkinson AN, Billette J-M, Ellison LF, et coll. The impact of organised screening programs on breast cancer stage at diagnosis for Canadian women aged 40–49 and 50–59. *Current Oncology*. 2022; vol. 29, n° 8 : p. 5627 à 5643.
- Statistique Canada. Tableau 13-10-0761-01 Nombre et taux de nouveaux cas de cancer primitif, selon le stade au moment du diagnostic, certains types de cancer, le groupe d'âge et le sexe. 2025; https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/cv.action?pid=1310076101&request_locale=fr. Consulté le 28 août 2025.
- Statistique Canada. Taux normalisés selon l'âge et population canadienne type de 2011. 2025; https://www.statcan.gc.ca/fr/programmes-statistiques/document/3207_D12_V4. Consulté le 29 janvier 2026.
- Alagoz O, Caswell-Jin JL, de Koning HJ, et coll. Mathematical Modeling to Address Questions in Breast Cancer Screening: An Overview of the Breast Cancer Models of the Cancer Intervention and Surveillance Modeling Network. *Journal of Breast Imaging*. 2025; vol. 7, n° 2 : p. 141 à 154.

26. Statistique Canada. Tableau 13-10-0392-01 Décès et taux de mortalité par groupe d'âge, selon certains groupes de causes. 2026; https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=1310039201&request_locale=fr. Consulté le 30 janvier 2026.
27. Mann RM, Athanasiou A, Baltzer PA, et coll. Breast cancer screening in women with extremely dense breasts recommendations of the European Society of Breast Imaging (EUSOBI). *European Radiology*. 2022; vol. 32, n° 6 : p. 4036 à 4045.
28. Jo H-M, Lee EH, Ko K, et coll. Prevalence of women with dense breasts in Korea: Results from a nationwide cross-sectional study. *Cancer Research and Treatment: Official Journal of Korean Cancer Association*. 2019; vol. 51, n° 4 : p. 1295 à 1301.
29. Mar C, Sam J, McGahan CE, et coll. The influence of breast density on breast cancer diagnosis: A study of participants in the BC Cancer Breast Screening Program. *British Columbia Medical Journal*. 2019; vol. 61, n° 10.
30. Chiarelli AM, Prummel MV, Muradali D, et coll. Digital versus screen-film mammography: Impact of mammographic density and hormone therapy on breast cancer detection. *Breast Cancer Research and Treatment*. 2015; vol. 154, n° 2 : p. 377 à 387.
31. Bakker MF, de Lange SV, Pijnappel RM, et coll. Supplemental MRI screening for women with extremely dense breast tissue. *New England Journal of Medicine*. 2019; vol. 381, n° 22 : p. 2091 à 2102.
32. Veenhuizen SG, de Lange SV, Bakker MF, et coll. Supplemental breast MRI for women with extremely dense breasts: Results of the second screening round of the DENSE trial. *Radiology*. 2021; vol. 299, n° 2 : p. 278 à 286.
33. Sprague BL, Ichikawa L, Eavey J, et coll. Performance of supplemental US screening in women with dense breasts and varying breast cancer risk: Results from the Breast Cancer Surveillance Consortium. *Radiology*. 2024; vol. 312, n° 2 : e232380.
34. Henderson JT, Webber EM, Weyrich MS, et coll. Screening for breast cancer: evidence report and systematic review for the US Preventive Services Task Force. *JAMA*, vol. 331, n° 22, p. 1931 à 1946.
35. Yuan W-H, Hsu H-C, Chen Y-Y, et coll. Supplemental breast cancer-screening ultrasonography in women with dense breasts: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Cancer*. 2020; vol. 123, n° 4 : p. 673 à 688.