



ASTRO 2025 : actualités de la radiothérapie

Stéphanie Laurent¹, Catarina Faria Carneiro², Jérôme Derrien³, Yann Evrard⁴, Damien Ferre⁵, Hervé Szymczak⁶

1. Ingénieur biomédical, Institut Gustave-Roussy, Villejuif, France
2. Ingénieur biomédical, Institut Paoli-Calmettes, Marseille, France
3. Ingénieur biomédical, Institut du cancer de Montpellier, Montpellier, France
4. Ingénieur biomédical, CHU de Brest, Brest, France
5. Ingénieur biomédical, Institut inter-régional de cancérologie, Le Mans, France
6. Ingénieur biomédical, Centre Oscar-Lambret, Lille, France

Correspondance :

Hervé Szymczak, Centre Oscar-Lambret, 3, rue Frédéric-Combemale, BP 307,
59020 Lille cedex, France.
H-Szymczak@o-lambret.fr

Introduction

Le congrès annuel de l'**American Society for Radiation Oncology (ASTRO)** est le rendez-vous incontournable des professionnels de la radiothérapie. Pour cette édition 2025, San Francisco a accueilli des milliers de participants venus du monde entier pour explorer les **dernières avancées technologiques**, les **résultats cliniques les plus récents**, et les **stratégies innovantes** en matière de traitement du cancer.

Sous le thème « **Rediscovering Radiation Medicine and exploring new indications** », le congrès a proposé :

- des **sessions scientifiques** sur les innovations en radiothérapie, radiochirurgie et imagerie ;

- des **ateliers collaboratifs** et storytelling pour favoriser les échanges entre disciplines ;
- un **format hybride**, avec une option virtuelle pour les participants à distance ;
- un **focus sur l'intelligence artificielle**, la personnalisation des traitements et l'accessibilité mondiale

Ce congrès a été marqué par une volonté claire : **Redécouvrir la radiothérapie et explorer les nouvelles indications** en intégrant les technologies les plus avancées tout en plaçant le patient au cœur du parcours thérapeutique.

Prétraitement

Les séances de prétraitement en radiothérapie (souvent appelées simulation ou planification) sont des étapes essentielles avant de commencer l'irradiation proprement dite. Elles permettent de préparer un traitement personnalisé, précis et sécurisé avec généralement un scanner parfois complété par une imagerie IRM ou PET scan.

Le scanner fournit l'anatomie et les coefficients d'atténuation (HU), indispensables au calcul de dose. Cette imagerie pauvre en contraste pour les tissus mous est complétée par une imagerie IRM qui permet de mieux distinguer les structures anatomiques. L'imagerie TEP apporte l'activité biologique de la tumeur par un ciblage plus précis des zones actives.

En 2025, la tendance marquée du secteur est la montée des workflows *IRM-only* (grâce notamment à l'évolution qualitative des *synthetic CT*) et l'arrivée des scanners à comptage photonique dédiés à la radiothérapie, ouvrant la voie à une imagerie plus précise, plus stable et mieux intégrée aux approches adaptatives, tout en étant moins irradiantes.

Scanner

Philips

Rembra RT & Areta RT

Philips a dévoilé lors de cette édition 2025 ses futurs scanners dédiés à la radiothérapie, le **Rembra RT** (figure 1) et l'**Areta RT** (agrément FDA et marquage CE en cours (au 13/11/2025)). Ces scanners proposent un tunnel de 85 cm et promettent un FOV étendu jusqu'à cette limite, le tout permettra une vision optimale des structures périphériques.



FIGURE 1

Scanner Philips Rembra RT (source : D. Ferre)

La table a été pensée pour la RT avec une double indexation (**Elekta/Varian**) étendue sur 2 mètres.

La vitesse de rotation est annoncée à 0,34 s/tour associée à de nouveaux détecteurs HD (**NanoPanel Precise XD**), d'une largeur de 4 cm pour le **Rembra RT**, 2 cm pour l'**Areta RT**.

Les deux plateformes sont équipées d'une imagerie 4D-TDM de dernière génération, conçue pour couvrir un cycle respiratoire entier et supporter des fréquences respiratoires allant de 4 à 40 cycles par minute.

La nouvelle interface tactile bilatérale rend accessible plus de fonctionnalités tout en permettant au manipulateur de rester à proximité du patient. La reconstruction est quant à elle annoncée à 106 images par seconde.

Ces deux éléments combinés promettent un flux optimisé au bénéfice des manipulateurs et du patient.

Pour optimiser encore le flux, Philips annonce un partenariat avec la société **MVISION** pour intégrer leur outil basé sur l'intelligence artificielle **Contour+**™ permettant le contournage automatique des OAR (Organes à risque) et des aires ganglionnaires. Enfin côté durabilité et maintenance, Philips s'engage sur une durée de vie de la machine de 20 ans (avec un tube garanti 10 ans) ainsi qu'un nouvel outil de maintenance à distance assistée par l'IA prévu pour 2026.

Philips rejoint ainsi Siemens et GE sur le segment des scanners dédiés RT à large FOV.

Siemens Healthineers

Scanner Naeotom Alpha Prime for RT

Siemens a également présenté un nouveau scanner de simulation haut de gamme, à comptage photonique. La technologie apporte un atout important en radiothérapie avec une meilleure différenciation des tissus mous et du système circulatoire grâce à la double énergie, et une amélioration drastique du rapport signal sur bruit grâce au comptage de photons d'une part, et à la reconstruction assistée par l'IA d'autre part. Le scanner est également équipé d'un outil de détection automatique des organes à risque basé sur IA.

Chez Siemens, la double énergie est obtenue avec une seule source Rx.

Doté d'une interface moderne s'appuyant sur l'IA du positionnement aux reconstructions automatisées, comme pour l'IRM (voir chap. Magnetom Flow RT), les écrans du statif deviennent des tablettes offrant ergonomie et souplesse aux utilisateurs. Le détecteur de 6 cm permet des coupes de 0,4 mm, et jusqu'à 0,2 mm d'épaisseur avec l'option Quantum HD.

Les principales caractéristiques de la machine :

- Détecteur à comptage de photons 6 cm ;
- 144 coupes à 0,4 mm ; 120 coupes à 0,2 mm ;
- Résolution en mode Quantum HD de 0,11 mm ;
- Puissance : 120 KW ;
- Vitesse maximum de 345 mm/s.

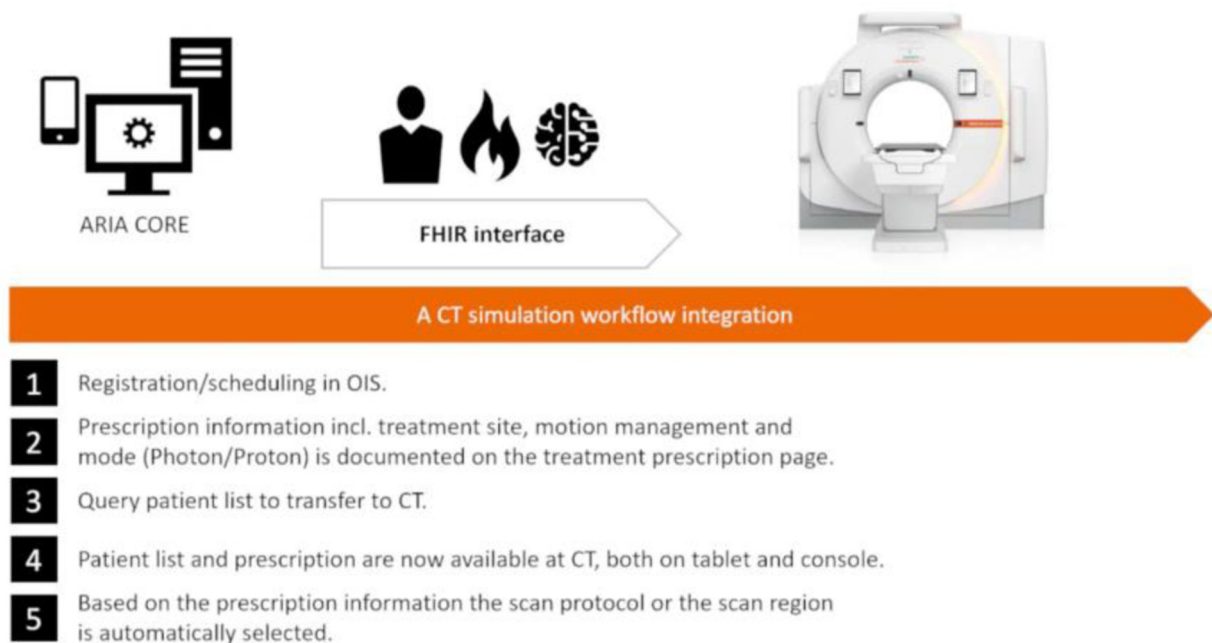


FIGURE 2

Workflow dématérialisé intégré à l'environnement Varian, source : <https://www.siemens-healthineers.com/>

Ce scanner orienté radiothérapie propose des options spécifiques tels que :

- le FOV étendu à 82 cm par IA nommé HD FOV 5.0, algorithme de reconstruction à champ de vision étendu supporté par un réseau neuronal convolutionnel ;
- l'acquisition 4D sous 2 modes Fast4D ou Direct i4D, acquisition réelle qui corrige les décalages avec ZeeFreeRT ;
- l'export direct vers le TPS de la densité électronique et *mass density* avec 1 seule courbe d'étalonnage.

Il est à noter que Siemens intègre désormais ses équipements directement dans l'environnement Aria, profitant pleinement du rachat de Varian (figure 2).

Cet équipement est marqué CE au même titre que le scanner de diagnostic. L'agrément FDA est toujours en attente.

IRM

Philips

Blue Seal XE RT

La société Philips a dévoilé son nouvel IRM optimisé pour la radiothérapie avec un tunnel de 70 cm et un aimant scellé BlueSeal qui contient environ 7 litres d'hélium avec une intensité de champ magnétique de 1,5 Tesla. Ce système permet d'éviter les contraintes de tube de quench mais également limite les arrêts de maintenance, la consommation d'énergie et simplifie l'installation.

Le logiciel d'accélération SmartSpeed Precise basé sur l'IA permet de renforcer la fiabilité des simulations et la précision des images du logiciel RTGo installé. RTGo est un logiciel qui offre

des fonctionnalités IRM-RT, notamment MRCAT (MR for Calculating ATtenuation) qui permet de générer des pseudo-CT pour les localisations suivantes : prostate, pelvis, cerveau, tête et cou. L'IRM possède également un plateau de table dédié pour la RT nommé MRCouchTop avec des indexations uniques pour les systèmes Elekta, Unity et Varian ainsi qu'un partenariat avec Macromedics pour la contention.

Cette IRM est approuvée FDA et le marquage CE est également disponible.

Siemens Healthineers

Siemens a dévoilé un couple CT/IRM dédié Simulation en radiothérapie.

IRM 1,5T Magnetom Flow RT Pro Edition

Siemens rejoint Philips dans la course à l'économie d'Hélium avec un aimant compact qui fonctionne avec seulement 0,7 litre d'Hélium. Cette économie permet de faciliter l'installation en s'affranchissant du tube de quench, et permet de remonter en champ en quelques dizaines de minutes. Siemens annonce également une réduction significative de la consommation énergétique, jusqu'à -45 % par an.

L'IRM est équipée d'un nouveau plateau RT très léger et fabriqué par Siemens, avec indexations Varian et Elekta intégrées permettant d'éviter l'achat d'un plateau chez un fournisseur tiers. Trois nouvelles tailles d'antennes flex arrivent avec l'IRM (figure 3) pour des positionnements simplifiés dont Contour L et Contour S dédiés RT ainsi qu'un support dédié pour la réalisation des scanners crânes avec masques (figure 4). Les antennes



FIGURE 3
IRM Magnetom Flow RT Pro Edition (source : S. Laurent)

flexibles Contour, conçues pour épouser au plus près l'anatomie, améliorent le SNR (rapport signal sur bruit) et la reproductibilité du positionnement tout en facilitant les acquisitions dédiées à la planification en IRM-RT.

Cette IRM permet de générer des pseudo-CT pour le pelvis et le cerveau via la solution « MR-based Synthetic CT » intégrée en option dans la suite logicielle syngo.via RT Image Suite.

La machine intègre des capteurs respiratoires et cardiaques intégrés pour la prise en compte des mouvements patients.

Côté ergonomie, les écrans du statif s'avèrent être des tablettes « détachables » pouvant servir de télécommandes.

Ses principales caractéristiques :

- Champ de 1,5 T ;
- Tunnel de 70 cm ;
- 0,7 litre d'hélium dans un aimant scellé ;
- 3,4 tonnes ;
- Hauteur de transport inférieure à 2 mètres.

Siemens n'annonce pas d'équivalent 3 T pour l'instant dans cette gamme, et se trouve toujours en attente de l'agrément FDA et du marquage CE.

Traitement

Après les avancées observées en prétraitement, le salon consacré au traitement met en lumière l'évolution rapide des accélérateurs, des modalités guidées par l'image et des approches adaptatives. Les constructeurs convergent vers des machines plus intégrées, plus rapides et capables de s'ajuster quotidiennement à l'anatomie du patient. L'amélioration des systèmes d'imagerie embarquée, des workflows automatisés et l'IA

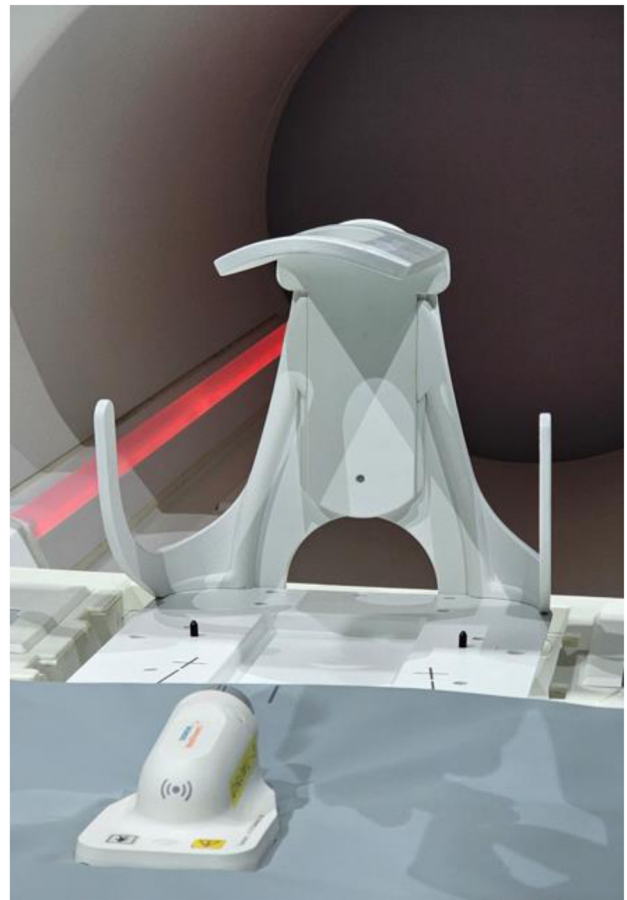


FIGURE 4
Support tête (source : H. Szymczak)

restructurent profondément la délivrance des rayonnements, ouvrant la voie à une radiothérapie plus précise, plus personnalisée et plus efficace.

Accélérateurs

Accuray Stellar

Accuray a présenté plusieurs innovations, notamment autour du système Accuray Helix et sa nouvelle plateforme tout-en-un pour la radiothérapie adaptative Stellar™ (figure 5).

La suite adaptative assure le suivi et la correction des mouvements grâce à Synchrony, des protocoles adaptatifs hors ligne avec PreciseART et une interface compatible avec l'adaptatif en ligne, prérequis pour la radiothérapie adaptative en ligne (OART). A également été présentée la fonctionnalité Adapt LTE (Learn, Trial and Evaluate) disponible uniquement sur la plateforme Stellar, permettant d'analyser les données de traitement antérieures par rapport aux objectifs thérapeutiques initiaux. Cette fonctionnalité est déjà FDA et son marquage CE est estimé à 2026.

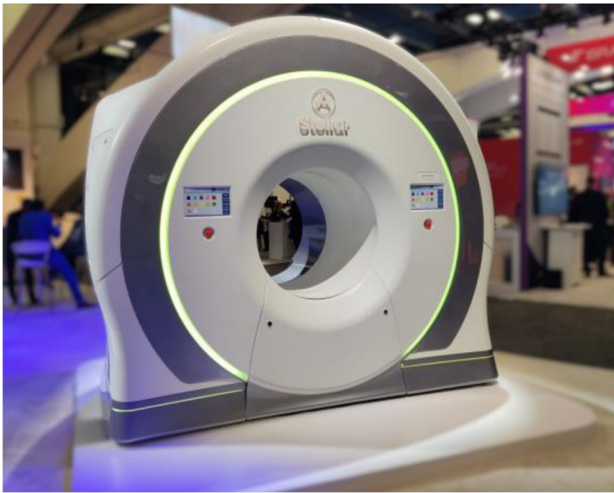


FIGURE 5
Stellar (Source D. Ferre)

L'imagerie ClearRT hélicoïdale kVCT, un système d'imagerie CT à faisceau en éventail hélicoïdal à kilovoltage (kV) réglable, sert de base à la technologie de radiothérapie adaptative.

Le Radixact™ actuel sera upgradable en Stellar™ car le détecteur est identique et seul un serveur additionnel sera nécessaire.

Akesis

Akesis est une société californienne fondée en 2017 et basée à Concord dont le nom est celui du dieu grec de la guérison. La société a présenté l'alliance communiquée en septembre 2024 avec la société canadienne MagnetX Oncology Solutions Ltd, concepteur, fabricant et distributeur de l'IRM Linac Aurora-RT. La société Akesis travaille conjointement avec la société Macromedics depuis 2022 pour la contention tête et cou et également depuis avril 2025 avec la société californienne Pro-ness basée à Concord pour la partie TPS, IA et autocontouring. Présente à l'ASTRO depuis 2018, la société Akesis a présenté plusieurs modèles lors de cette édition :

Gemini RT

La société Akesis a présenté le système Gemini RT qui allie 18 sources de Cobalt et un accélérateur Linac pour les traitements adaptatifs.

L'alliance de sources Cobalt avec un Linac permettrait de pouvoir traiter les petits volumes avec les sources et les plus grands avec le Linac.

Le Gemini RT est équipé de 18 sources focalisées couplées avec 7 tailles de collimateurs de 6 à 35 mm et d'un linac de 6MV FFF couplé avec un MLC de 120 lames permettant un champ maximal de 40 × 40 cm avec un débit de 1 400 cGy/min.

Cet équipement est validé FDA et serait marqué CE en 2026.

CyberArc

Le CyberArc (figure 6) est une plateforme en cours de développement, annoncée pour offrir une radiothérapie de type

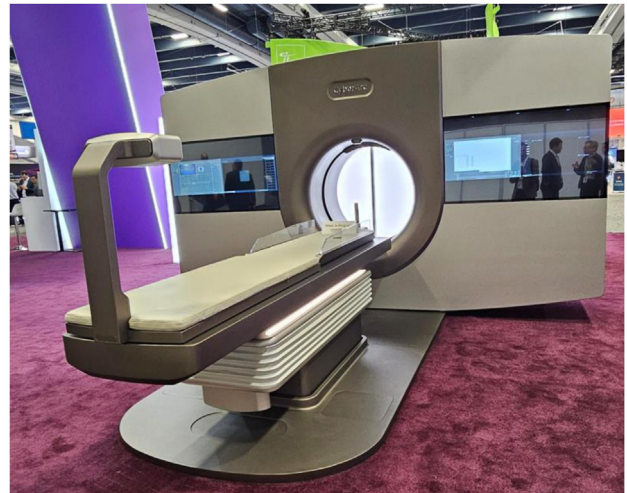


FIGURE 6
Akesis CyberArc (source : H. Szymczak)

adaptative à un coût plus accessible. Bien qu'il ne soit pas encore approuvé FDA, ses caractéristiques techniques peuvent être intéressantes :

- plateforme rotative à 360° continus ;
 - LINAC 6MV délivrant jusqu'à 1200 cGy sur un champ de 40 × 40 cm ;
 - imagerie intégrée KV CBCT pour le guidage en temps réel (IGRT) ;
 - compatible avec tous les types de traitements :
 - IMRT/VMAT,
 - 3D-CRT,
 - SBRT ;
 - planification ouverte avec intégration possible de systèmes comme RayStation ou Eclipse ;
 - caméra embarquée pour le repositionnement surfacique ;
 - AutoQA intégré pour le contrôle qualité machine automatique ;
 - planification adaptative (ART) incluse, idéale pour les traitements courts et ciblés ;
 - IA embarquée pour optimiser les flux de travail et la précision ;
- La machine est annoncée avec une capacité de traiter 68 patients en 8 heures sur des créneaux de traitement de 7 min. L'utilisation de l'adaptatif n'est pas obligatoire.

Galaxy RTi

La société a également présenté le Galaxy RTi, système de radiothérapie stéréotaxique (SRS/SRT) déjà présenté lors de l'ASTRO 2023 [1] basé sur des sources au Cobalt au nombre de 30 montées sur cassettes. Celles-ci permettent un changement de sources plus rapide et une précision annoncée inférieure à 0,5 mm. L'Akesis Galaxy RTi intègre une imagerie CBCT et kV/kV, ce qui permet de vérifier et corriger la position du patient sans interrompre le traitement.

Contrairement au Gamma Knife qui possède des sources fixes et permettant une irradiation sectorielle, le Galaxy RTi possède des sources rotatives pour une délivrance dynamique et une couverture plus uniforme selon le constructeur. Il possède en complément un système d'imagerie dans le plan de traitement qui permet d'éviter les déplacements du patient.

Le système a reçu la clearance FDA 510(k) en 2024 et en juillet 2025, le Seidman Cancer Center de Cleveland est devenu le premier centre aux États-Unis à l'implémenter pour les traitements cliniques.

MagnetTX Aurora-RT

Akasis et MagnetTx ont conclu en septembre 2024 une alliance stratégique pour unir leurs forces dans le domaine de la radiothérapie [1].

MagnetTX est une société canadienne basée à Alberta qui propose son IRM Linac nommé Aurora-RT couplant un aimant supraconducteur de 0,5 Tesla sans hélium et un accélérateur de 6 MV intégré.

La particularité de cette machine est que le champ magnétique est parallèle au faisceau du linac, ce qui limite l'effet de retour d'électron (ERE : Electron Return Effect) et possède un tunnel large de 110 cm. L'ouverture du tunnel n'étant pas circulaire, du fait de la géométrie de l'aimant bipolaire, reste de 110 cm sur 60 cm. Au final, l'ouverture limitante est de 60 cm puisque l'aimant tourne autour du patient.

La différence avec les autres systèmes est également que l'IRM tourne autour du patient contrairement à la concurrence dont l'IRM est fixe. Cette architecture implique un poids grandement supérieur pour cet équipement qui atteint les 40 tonnes.

Une seule machine est pour l'instant exploitée à Edmonton au Canada et la distribution est assurée en France par la société Seemed.

Elekta

La société suédoise propose cette année quelques améliorations pour les équipements déjà connus, comme Elekta Studio, le GammaKnife ou encore l'Unity. Ce qui a le plus été mis en avant ce sont tous les outils mis en œuvre pour rendre l'adaptatif online possible et fluide au travers de l'EVO, Elekta ONE et les différents partenariats pour améliorer l'offre logicielle comme MIM ou encore GrayOS. Ce dernier sera présenté dans le chapitre Logiciels.

IRM Linac Unity

D'abord, le module Visual Guidance du MR-Linac d'Elekta améliore le confort du patient pendant le traitement en combinant plusieurs fonctionnalités :

- Un miroir et un écran : le miroir est positionné au niveau de l'antenne et permet de visualiser l'écran situé à l'arrière de l'accélérateur. Sur cet écran, le patient peut choisir des images apaisantes et des sons agréables pour favoriser sa détente ;
- BioFeedback (BF) pour la synchronisation respiratoire : le système affiche en temps réel le schéma respiratoire du

patient sur l'écran, l'aidant à mieux synchroniser sa respiration avec le traitement.

Le Visual Guidance est compatible avec le mode Compressive Motion Management (CMM), une technologie présentée il y a deux ans. Ce mode permet :

- Le *True Tracking* : compensation en temps réel des mouvements lors de l'émission des faisceaux ;
- Le *gating* : une interruption automatique des faisceaux si l'organe cible sort de la zone de traitement définie.

À ce jour, 3 sites français possèdent l'Elekta Unity :

- Hôpital Lyon Sud, premier centre équipé en France en 2020 ;
- Centre Eugène Marquis, premier CLCC équipé en 2023 ;
- Hôpital Henri Mondor, mise en service en juin 2025.

EVO

Lors de l'ESTRO 2024, Elekta avait lancé l'EVO, l'évolution du Versa HD [2]. Cet accélérateur linéaire (LINAC) intègre une imagerie haute définition améliorée par l'IA ainsi qu'une boucle adaptative complète hors ligne et en ligne grâce à Elekta ONE [2], permettant la personnalisation et l'adaptation en temps réel des traitements.

Depuis sa sortie, 80 accélérateurs EVO ont été vendus dont la moitié sont déjà installés. Le premier fin 2024 en Allemagne, puis s'ensuit à Naples (Italie) et le premier en France a été utilisé pour la première fois à Rennes en début du deuxième semestre de 2025. La Table 6D HexaPod annoncée pour 2025 n'a pas encore son marquage CE, il est annoncé pour le deuxième semestre de 2026. Sur cet accélérateur, tout comme sur le VERSA, peut être installé un système qualité ayant un algorithme de calcul indépendant, fabriqué par la société allemande iRT, permettant de vérifier à chaque point de contrôle la précision du traitement délivré. Le Moniteur de Qualité Intégral (IQM) est positionné après le collimateur, et il garantit que chaque paramètre de traitement est appliqué exactement comme prévu : le MU et énergie, l'emplacement du segment de faisceau, la taille ou forme du segment de faisceau, l'orientation du portique et du collimateur [3].

Elekta ONE

Elekta ONE est une plateforme moderne, intégrée et modulaire développée par Elekta, conçue pour unifier et optimiser l'ensemble du workflow en radiothérapie, de la planification à la livraison du traitement. Elle se superpose à Mosaiq afin d'améliorer l'expérience utilisateur grâce aux différents logiciels qui la composent. Aujourd'hui, on y trouve déjà plusieurs logiciels tels que Elekta ONE : Analytics, Brachy, Contouring, Planning, Smart View, Smart Flow, QA. . .

Elekta ONE Planning [4], intègre les solutions logicielles Monaco-logiciel de planification développé par Elekta-et MIM, permettant la création d'un plan de traitement plus rapide, en 15 min, et un recalcul de plan en 15 secondes, ce qui convient pour l'adaptatif. La société suédoise a lancé un partenariat avec la société MIM Inc en 2024 pour la partie imagerie du logiciel, tout en gardant en interne la partie calcul de dose.

Lors du congrès, Smart View nous a été présenté, qui permet la visualisation organisée et claire des informations du patient comprenant le diagnostic, les allergies, alertes, ainsi que ses rendez-vous. Le module Smart Forms de ce même logiciel rend la création et l'utilisation de formulaires de consentement plus facile au quotidien.

Le logiciel Smart Flow permet la création intelligente d'un tel protocole de traitement pour telle prescription, possible dans un service utilisant de multiples logiciels de planification ou d'OIS, en spécifiant pour chaque étape le nom du logiciel utilisé. Sur Smart Flow, il est également possible de suivre l'état d'avancée des protocoles en cours et consulter les informations du patient à chaque étape comme par exemple son plan de traitement, ou ses images de simulation. Il est marqué CE et déjà utilisé à Dijon.

Elekta Studio

Pour la partie curiethérapie, Elekta offre une solution complète précise guidée par Image 3D, permettant aux soignants de réaliser l'intégralité du processus de curiethérapie sans déplacer le patient d'une salle à une autre.

Au cœur d'Elekta Studio, l'anneau d'imagerie mobile, ImagingRing (figure 7), possède un diamètre de 121 cm permettant l'imagerie du patient en position de lithotomie (« genoux relevés »), notamment pour les patients atteints de cancers gynécologiques ou de la prostate.



FIGURE 7
ImagingRing de MedPhoton (source : MedPhoton)

Cette solution proposée par Elekta est le fruit d'un partenariat de distribution exclusif de ce mobile avec la société MedPhoton GmbH (Salzbourg, Autriche) depuis 2020.

Côté caractéristiques, ImagingRing possède un détecteur de 43×43 cm pour un poids de 520 kg et le temps de prise du Combined CT serait de 22 s. Une caméra et des lasers sont intégrés à l'anneau, permettant de visualiser les points d'incision avec une très bonne précision.

Le tout est accompagné d'une télécommande sans fil, le RingPad, permettant la gestion des réglages, le contrôle de l'équipement ou la visualisation et exportation des images. Celles-ci peuvent être transférées au système de planification Brachy Planning d'Elekta ONE ou autres plannings de brachythérapie concurrents.

Concernant les sources de curiethérapie, Elekta a mis dans l'ombre le Flexitron pour mettre en avant le système de brachythérapie électronique Elekta Xofter Axxent (eBx), certifié CE et FDA [5]. Cette technologie, initialement développée par la société Xofter, est désormais commercialisée en exclusivité par Elekta depuis le rachat de Xofter en 2023 par le groupe suédois. Contrairement aux systèmes traditionnels utilisant des isotopes radioactifs, Xofter emploie une source de rayons X à basse énergie, diminuant drastiquement ainsi les contraintes logistiques et réglementaires liées à la manipulation, au stockage et à l'élimination des sources radioactives.

Ce contrôleur utilise une petite source de curiethérapie électronique à rayons X de 50 kV, et possède un écran tactile permettant l'affichage des instructions. Une panoplie d'applicateurs de ballonnet, de surface, vaginaux et cervicaux existent déjà pour délivrer la dose, des nouveaux pour le rectum sont prévus pour 2026. Elekta envisagerait de développer pour ce système des applicateurs plus ergonomiques et confortables, dans la philosophie des applicateurs Geneva et Venezia.

GammaKnife

On ne pouvait pas faire cet article sans mentionner le GammaKnife. Annoncée à l'ESTRO 2022, la 8ème génération du Gamma Knife intitulée Esprit® [6], délivre une très forte dose avec précision allant de 1 mm à 0,3 mm, le tout dans un tube fermé. Après avoir soigné plus de 2 millions de patients dans le monde, le Leksell GammaKnife fait de plus en plus ses preuves sur d'autres indications non tumorales comme par exemple les malformations artérioveineuses cérébrales, les troubles neurologiques comme la névralgie du trijumeau (trigéminal), l'épilepsie ou encore les tremblements essentiels [7].

Hitachi

OXRAY

Le système de radiothérapie, initialement connu sous le nom de MHI-TM2000 par Mitsubishi Heavy Industries (MHI), puis distribué sous le nom de Vero (ou Vero4DRT) par BrainLab, est maintenant repris depuis 2016 par l'entreprise Hitachi High-Tech.

Le Vero (ou Vero4DRT) a été lancé autour de 2008 et se distinguait par une tête de faisceau montée sur cardan permettant

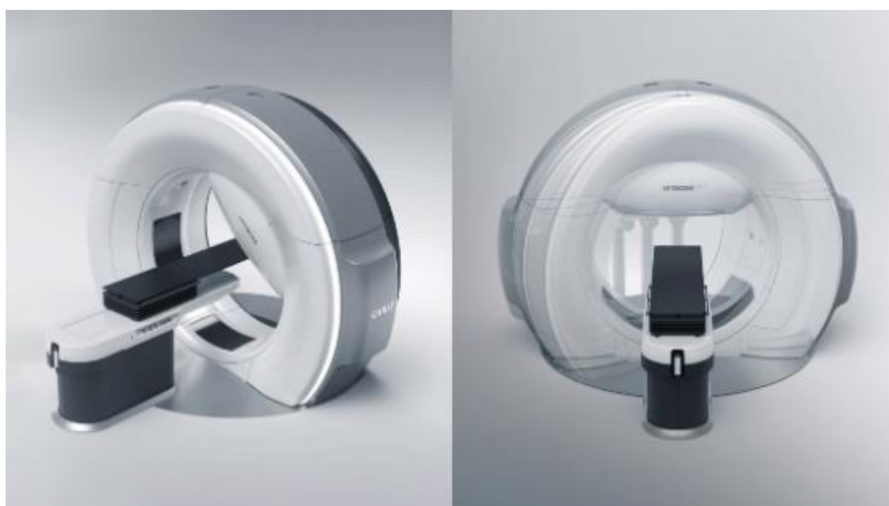


FIGURE 8

OXRAY d'Hitachi High-Tech (source : Hitachi High-Tech)

le suivi dynamique des tumeurs en mouvement, une structure en anneau O-ring facilitant l'émission de faisceaux non coplanaires sans rotation de la table. Il était conçu pour apporter des capacités avancées en SBRT (radiothérapie stéréotaxique du corps entier) avec imagerie en temps réel.

Malgré ses innovations, le Vero a eu une durée de vie commerciale limitée, avec une vingtaine d'équipements installés dans le monde dont une machine à Toulouse.

Le Vero a fait l'objet de plusieurs rappels aux États-Unis, au Canada, en Allemagne et en Italie, dont notamment des erreurs de logiciel entraînant une localisation de faisceau incorrecte et également d'autres problèmes de positionnement.

Ce système, commercialisé initialement au prix de 10 millions de dollars, subira de nombreuses alertes et sera abandonné avec une disponibilité limitée des pièces détachées et un support minimal.

En 2017, la société Hitachi High Tech a repris les droits de propriété intellectuelle afin de faire une refonte du système. Elle propose depuis 2023, un nouveau système avec l'ensemble de la tête dynamique modifié sous le nom d'OXRAY (figure 8). Elle intègre un nouveau système d'imagerie plus rapide, de traitement adaptatif et une intégration logicielle en partenariat avec Raysearch.

Les premiers traitements cliniques ont débuté en juin 2024 à l'hôpital universitaire de Kyoto. A ce jour, 9 machines sont installées au Japon et 2 nouvelles sont en commande.

Les caractéristiques de cette nouvelle machine sont :

- énergie FFF de 6 MV avec un débit maximum de 1 200 UM/min ;
- une précision annoncée à l'isocentre de 0,1 mm ;
- une taille de champ de 20 cm × 20 cm ;
- un MLC retravaillé avec 16 paires de lames de 2,5 mm au centre (4 cm) et 32 paires de 5 mm (16 cm) ;

- un Gantry qui permet une rotation de $\pm 185^\circ$ et un pivot de $\pm 60^\circ$;
- un CBCT avec 2 sources permettant un FOV de 21 cm ;
- un TPS développé avec Raystation ;
- compatible Mosaic et Aria.

Il permet notamment d'effectuer des traitements non coplanaires par les mouvements simultanés de la rotation et du pivot du gantry ainsi que des mouvements de la table. La tête de traitement avec le MLC bascule également de $\pm 3^\circ$ et permet une extension de champ de ± 50 mm mais aussi de réaliser du tracking dynamique.

Un premier tracking VMAT d'une tumeur hépatique s'est d'ailleurs déroulé fin mars 2025.

La refonte de ce système novateur apporte, avec L'OXRAY, un renouveau d'une technologie prometteuse.

La société distribue cet équipement uniquement au Japon pour l'instant mais une distribution en France pourrait être possible prochainement après un marquage CE.

LEO Cancer Care

La société Leo Cancer Care travaille depuis 2016 sur un système de positionnement patient en position verticale, couplé à un scanner permettant de réaliser l'imagerie également en position verticale. L'ensemble repose sur la philosophie de la verticalisation : déplacer le patient plutôt que déplacer le faisceau. Le système Marie a déjà été présenté depuis 2022, à l'Estro comme à l'Astro, en partenariat avec des industriels qui développent des machines de traitement par particules. On peut citer notamment Thyryq avec le Deepflash (électrons à très haute énergie), Hitachi ou Mevion en protonthérapie. Les 6 degrés de liberté offerts par le système Marie (figure 9) et sa position verticale offrent un avantage majeur pour les accélérateurs de ces constructeurs, puisque la délivrance du faisceau à l'horizontal peut rester fixe, pas besoin de mobiliser de mécanique lourde et



FIGURE 9
Système de positionnement patient Leo (source : H. Szymczak)

coûteuse, un simple collimateur multi-lames en bout de course suffit.

Grace

La grosse nouveauté pour la société à l'Astro 2025, c'est l'annonce du développement de leur propre accélérateur linéaire couplé au système Marie, l'ensemble prenant le nom de Grace (figure 10), et possédant les caractéristiques suivantes :

Positionnement :

- précision à l'isocentre inframillimétrique ;
- translation en X : $\pm 13,5$ cm ;
- translation en Y : $+15$ cm / -35 cm ;
- translation en Z : course de 70 cm ;
- Pitch&roll : $\pm 3^\circ$;
- inclinaison dossier : $\pm 15^\circ$;
- rotation 360° continue.

Imagerie :

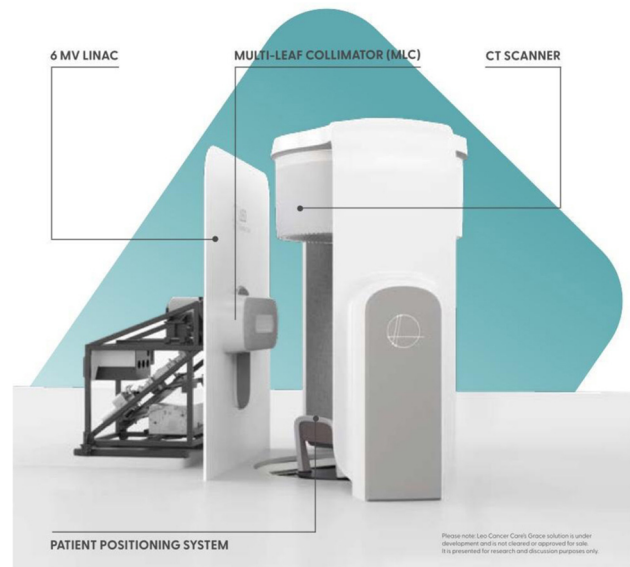


FIGURE 10
Grace de Leo Cancer Care (source : <https://leocancercare.com>)

- tunnel de 84 cm ;
- FOV de 62,3 cm ;
- énergie de 120 kV ;
- tilt : $\pm 15^\circ$;
- épaisseurs de coupes : 0,625/1/2/4/5 mm.

Accélérateur :

- faisceau FFF de 6 MV ;
- débit de dose de 1200 cGy/min ;
- distance source/isocentre 100 cm ;
- taille de champ : 30×30 cm ;
- MLC : vitesse des lames de 10 cm/s, tilt de $\pm 15^\circ$.

Les localisations envisagées en priorité sont la poitrine, le foie, les poumons, la prostate, l'ORL. La société s'appuie sur diverses publications pour mettre en avant ces localisations, qui profiteraient avantageusement de la position verticale du patient.

À ce jour seul le système Marie a obtenu un marquage FDA pour utilisation aux États-Unis et un marquage CE serait annoncé en 2026.

Reflexion

Scintix

Le principe du Scintix de Reflexion repose sur une radiothérapie dite biologie-guidée (bgRT) : le traitement utilise directement les signaux émis par la tumeur elle-même (via un traceur radioactif injecté) pour guider en temps réel la délivrance des rayons.

La société Reflexion a présenté 15 communications scientifiques lors de l'ASTRO 2025 notamment sur les premiers résultats cliniques sur une étude pilote chez l'homme avec une approche

Scintix dirigée par PSMA (antigène membranaire spécifique de la prostate) pour le cancer de la prostate.

La dernière génération permet d'étendre les radiotraceurs compatibles au-delà du FDG, le PSMA pour la prostate et d'autres marqueurs tumoraux. Elle permet également d'améliorer le FOV de 5,3 cm à 21,5 cm et de traiter simultanément de multiples cibles.

La partie logicielle a été revue avec une amélioration du contourage et homogénéité avec une réduction du temps de calcul annoncée à 37 %.

Actuellement 10 systèmes sont installés dans des centres académiques hospitaliers américains qui participent aux études cliniques et 2 systèmes seraient en cours d'installation.

Le Scintix a obtenu son agrément FDA depuis 2023 pour les tumeurs pulmonaires et osseuses mais la société valide encore de nouveaux protocoles. Un marquage CE serait-il possible pour 2026 ou 2027 ?

Theryq

Theryq est une société basée à Aix en Provence, employant actuellement 70 personnes, et spécialisée dans la thérapie flash, qui consiste à délivrer à la tumeur une très forte dose (> 40 Gy) en un temps très court (< 1s).

Trois machines sont en cours de développement chez Theryq, et n'ont pour l'instant pas de marquage pour une utilisation clinique :

Flashlab

C'est un équipement dédié recherche translationnelle en radiobiologie qui délivre jusqu'à 7 MeV, pour un débit de dose de 300 Gy/s. Le but de ce nouvel équipement est de proposer un appareil compact pour une intégration aisée dans les bunkers ou laboratoires de recherche afin d'explorer les mécanismes de l'effet Flash qui reste encore méconnus.

La conception de Flashlab (figure 11) a débuté il y a une dizaine d'années avec le Linac Oriatron eRT6 installé au centre hospitalier universitaire de Lausanne (CHUV).

Une machine est actuellement installée à Houston.

FlashKnife

L'appareil de traitement qui se veut mobile, dédié aux traitements superficiels et préopératoires compte un prototype installé à l'Institut Gustave-Roussy depuis 2024 comme annoncé à l'ESTRO 2024, un à Lisbonne depuis décembre 2024, et un à Bruxelles depuis le mois d'avril. Une installation est prévue en janvier 2026 au MD Anderson (Houston, États-Unis d'Amérique). La machine délivre 6 ou 9 MeV jusqu'à 3 cm de profondeur maximum, le robot Kuka est positionné manuellement grâce à une poignée haptique. L'appareil pèse 1,5 tonne et nécessite une pièce technique pour le refroidisseur et le modulateur. L'appareil fonctionne en *stand alone* sans besoin de logiciel de planification de traitement. Le coût annoncé de cet équipement est entre 1,5 à 1,8 millions d'euros.



FIGURE 11

Flashlab de Theryq (source : Theryq)

Flashdeep

L'objectif de cette machine est de traiter du crâne au pelvis avec des électrons de très haute énergie (VHEE) de 140 MeV. La machine étant encore en cours de développement, des modifications sur les composants de la machine ont récemment été effectuées. Ces modifications suivent plusieurs objectifs : baisser les coûts de production, augmenter la fiabilité du système, préparer le système à une mise sur le marché en orientant un développement plus industriel et moins « recherche ». Les changements portent notamment sur les points suivants :

- la diffusion active PBS (Pencil Beam Scanning) du faisceau abandonnée au profit d'une diffusion passive ;
- changement de banc de génération des X ;
- remplacement de la base de l'accélérateur.

Actuellement la section accélératrice a pu être réduite à une longueur de 13 m. La société cible un coût comparable aux accélérateurs IRM entre 8 et 9 millions d'euros.

Une première installation devrait se réaliser à Lausanne en 2027.

La société cherche encore des partenaires pour développer la partie logicielle de planification de traitement.

Varian

Halcyon

C'est la machine n°1 pour la société Varian actuellement. La France représente déjà 20 % du marché mondial avec 135 machines installées. C'est logiquement principalement autour de l'Halcyon que la communication de Varian s'est concentrée sur le congrès pour ce qui est du hardware. Varian

a donc annoncé à l'Astro 2025 la disponibilité de 3 grosses évolutions pour leur plateforme star :

- Table PerfectKinetic 6D : profitant enfin d'un développement conjoint entre Varian et Siemens, la nouvelle table est 20 cm plus longue, et peut supporter jusqu'à 280 kg de charge maximale. La mobilité de la table dans 6 degrés de liberté (plus ou moins 3 degrés sur les nouveaux mouvements) offre à l'Halcyon de nouvelles perspectives de positionnements patients avec une précision infra millimétrique et donc un éventail d'abord étendu dans la planification de traitement. Les 2 axes distincts entre le pilier et le plateau permettent un repositionnement facilité entre isocentres multiples.

La fluidité des déplacements héritée du savoir-faire de Siemens permet à Varian d'envisager pour l'avenir des traitements dynamiques avec la table en mouvement. Ils ont notamment annoncé le « Fast couch uploading » qui permet d'accélérer la vitesse de la table pour mettre en place plus rapidement le patient.

La flèche de la table est calculée selon le tilt sans nécessité de référence de poids, ce qui simplifie les contrôles.

Il faudra compter 2 jours de montage pour remplacer une table sur un système existant. Le seul impératif est d'être en version 5 sur l'Halcyon.

Cette table n'est pas encore disponible sur Ethos mais est prévue pour l'année prochaine avec la version Ethos 3. Le marquage CE est prévu en octobre 2025 et Varian est également en attente FDA pending.

- Hypersight : déjà présenté lors de l'ESTRO notamment, l'Hypersight augmente le FOV, la résolution du CBCT et la fiabilité des Unités Hounsfield pour permettre entre autres l'utilisation du CBCT seul pour réajuster le plan de traitement.

Pour la mise à jour d'un Halcyon avec l'Hypersight, il faudra compter 3 jours hors acceptation et 2 jours pour la table. Le coût d'une mise à jour est annoncé aux alentours du million d'euros pour l'upgrade Table 6D et Hypersight.

- Beam Hold Identify : la reconnaissance surfacique Identify ajoute à l'Halcyon un niveau de sécurité en contrôlant à la fois la position et les mouvements du patient avec une précision infra millimétrique. Le système Beam Hold permet la coupure du faisceau (Auto Beam Off) de façon manuelle et automatique en MV et CBCT. Les 3 caméras stéréo positionnées autour du statif et le grand écran mural de visualisation permettent également le coaching respiratoire du patient pour l'aider à contrôler les phases d'apnée.

Couplé à la Table 6D, Identify permettrait à certains centres de supprimer les masques de contentions (vérification position et repositionnement patient).

Néanmoins le système Identify peut être installé sur les Halcyon sans Table 6D ni Hypersight.

Varian nous a indiqué que le RapidArc Dynamic est en cours de développement sur l'Halcyon, pour une présentation probable à l'Astro 2026.

Ethos

Peu d'annonces cette année sur l'Ethos par rapport à 2023-2024, la version adaptative de l'Halcyon. Les nouveautés comme la compatibilité avec la Table 6D, la sommation et/ou comparaison de plans de traitements et l'intégration des images IRM dans le workflow adaptatif, sont attendues en 2026 pour la sortie d'Ethos 3.

La priorité de Varian était clairement le développement de l'Halcyon, l'Ethos passant au second plan à cause de son environnement informatique à part. L'Ethos 3 devrait cependant améliorer partiellement son intégration dans ARIA.

L'option Hypersight est quant à elle déjà disponible sur l'Ethos 2.

ZAPX

Le ZAP-X de la société ZAP Surgical est une plateforme de radiochirurgie stéréotaxique intracrânienne, conçue pour le traitement non invasif des tumeurs cérébrales (figure 12).

Ses principales innovations résident dans :

- une architecture gyroscopique unique composée de deux gyroscopes, permettant de délivrer des faisceaux de rayonnement depuis des milliers d'angles différents dans un espace sphérique, ce qui améliore la précision du ciblage et réduit l'exposition des tissus sains environnants ;
- l'absence de dépendance aux sources radioactives de cobalt-60 ce qui simplifie la gestion réglementaire et la sécurité ;
- un système auto blindé intégré, éliminant le besoin de bunker lourd, ce qui facilite son installation dans des environnements hospitaliers standards et réduit les contraintes architecturales. Il reste toutefois nécessaire de réaliser une étude de radioprotection car la réglementation française ne permet pas son installation sans locaux adaptés ;
- un système d'imagerie haute définition intégré, permettant une correction en temps réel des mouvements du patient, améliorant ainsi le confort et la précision du traitement.



FIGURE 12

Accélérateur ZAP-X (source : J. Derrien)

Il intègre un accélérateur linéaire de 3 MV (équivalent approximatif au faisceau de 1,25 MeV de Co-60) à 1500 MU/min, optimisé pour les SRS crâniennes, équipé d'un collimateur blindé en tungstène avec ouverture circulaire permettant de réduire le rayonnement primaire diffusé à moins de 0,002 % du faisceau primaire. La distance source-axe de 45 cm implique une pénombre de faisceau plus faible qu'avec un accélérateur linéaire conventionnel.

Il est à noter que l'équipement pèse 26 tonnes, hors éléments de commande installés dans le local technique.

Lors de l'ASTRO 2025, ZAP Surgical a annoncé l'évolution du débit de dose de 1500 UM/min à 1800 UM/min.

Le lancement officiel du ZAP-Axon, son logiciel de planification de radiochirurgie a également été annoncé. Il offre une fonctionnalité complète, intégrant les processus de fusion, de contournage, de planification et d'optimisation, d'évaluation et d'approbation. Il permettra la gestion des planifications des traitements des localisations multiples et la future délivrance sphérique de la dose.

Protonthérapie

La protonthérapie est une technique de radiothérapie innovante qui utilise des faisceaux de protons plutôt que des photons (comme en radiothérapie classique). Elle permet une haute précision de la dose car les protons libèrent leur énergie principalement au niveau de la tumeur, et le faisceau a une faible dispersion latérale. Ces caractéristiques permettent d'augmenter la dose délivrée à la tumeur tout en préservant les organes sains (et donc moins d'effets secondaires), ce qui est particulièrement utile pour les tumeurs radio-résistantes ou situées près d'organes critiques (cerveau, nerf optique, moelle épinière, etc.), ou encore des tumeurs pédiatriques.

Le nombre de centres de protonthérapie a fortement augmenté au cours des deux dernières décennies. On compte aujourd'hui environ 40 centres en Europe et plus de 130 dans le monde, contre seulement une poignée dans les années 1990. Pour l'instant, 3 sites français sont équipés de cette technologie (Orsay, Caen et Nice).

Le marché mondial de la protonthérapie connaît une croissance soutenue, portée par l'augmentation de l'incidence des cancers, l'essor des thérapies de précision, et la demande pour des modalités thérapeutiques à la fois efficaces et moins toxiques pour les tissus sains.

Selon certaines analyses, la valeur du marché des systèmes de protonthérapie devrait continuer à croître dans un contexte d'expansion des installations cliniques et d'évolutions technologiques.

De plus, on observe un intérêt marqué pour les **solutions « compactes » ou « single-room »**, qui réduisent l'empreinte infrastructurelle et les coûts d'installation, ce qui facilite l'adoption de la protonthérapie par des hôpitaux de taille moyenne ou des nouveaux centres de cancérologie.



FIGURE 13
Système de protonthérapie compact (www.p-cure.com)

Ce contexte rend la protonthérapie de plus en plus accessible, non seulement dans les centres historiques, mais aussi dans des établissements plus récemment équipés — ce qui ouvre de nouvelles perspectives en matière d'extension d'offre de soins.

P-Cure

Société israélienne fondée en 2007, P-Cure propose un système de protonthérapie compact (*figure 13*) à même de pouvoir entrer dans un grand bunker existant (12 (L) × 7,5 (l) × 3,5 m (h)).

Le système s'appuie sur un synchrotron qui présente l'avantage de pouvoir être installé élément par élément. Le faisceau est fixe, P-Cure dispose de son propre système de positionnement du patient en position assise ou allongée. P-Cure associe à ce système de positionnement un scanner BigBore Philips (85 cm) ainsi qu'un système de contrôle kV orthogonal.

Actuellement uniquement installé en Israël, aux États-Unis et en Chine, P-Cure annonce un prix machine d'environ 25 millions d'euros et vise une conformité CE en 2026.

P-cure travaille sur une solution permettant d'équiper deux salles avec un même synchrotron afin de réduire encore le coût par traitement de la solution.

P-Cure nous a aussi informés travailler sur un futur système d'hadronthérapie [8] avec des ions Hélium (les ions Hélium ont un intérêt par rapport aux protons pour certains cancers radio-résistants).

Hitachi

L'entreprise japonaise Hitachi High-Tech est un acteur historique de la protonthérapie particulièrement implanté au Japon mais aussi aux États-Unis, en Chine et en Europe.

La firme propose des solutions toutes basées sur des synchrotrons :

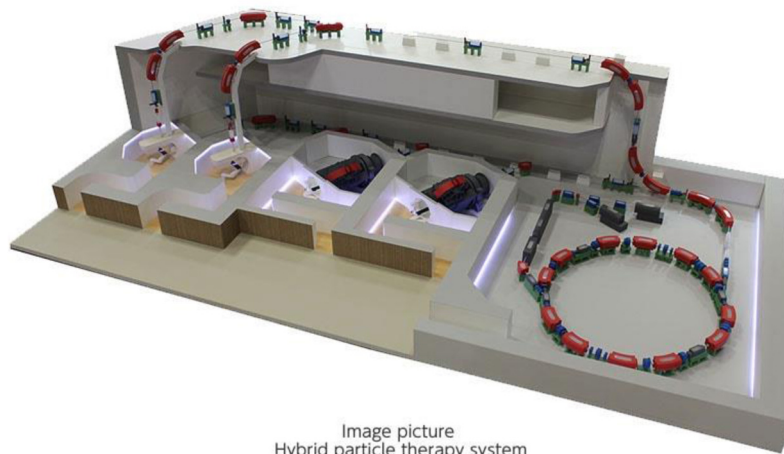


Image picture
Hybrid particle therapy system

FIGURE 14

Systèmes hybrides multi-salles (www.hitachi-hightech.com)

- de la protonthérapie (PROBEAT Series) avec 25 systèmes installés dans le monde (dont un à Madrid) et 2 en construction (dont un à Pavie, Italie) ;
- de l'hadronthérapie ions carbone (HyBEAT) avec 5 centres (4 au Japon et 1 à Taiwan) ;
- des systèmes hybrides multi-salles (figure 14) pour délivrer des protons et des ions lourds à partir de la même ligne (synchrotron). Une infrastructure est opérationnelle au Japon et trois sont en cours d'installation dont une en Floride et deux en Chine.

Hitachi conçoit des infrastructures personnalisables simples et multiroom et permet des extensions de l'installation initiale (ajout de sorties). Les sorties peuvent être en faisceaux fixes ou sur deux types de gantry 360° : standard qui permet des traitements non coplanaires ou compact, les deux avec imagerie CBCT intégrée.

Les systèmes Hitachi proposent la protonthérapie à modulation d'intensité (IMPT) ainsi que la protonthérapie synchronisée en temps réel (RGPT).

Le système RGPT (Real-time image Gating system for Proton Therapy) développé par Hitachi représente une avancée technologique permettant d'administrer avec précision une dose élevée de rayonnement aux tumeurs en mouvement. Ce système fonctionne en détectant la position d'un marqueur radio-opaque (fiduciaire) placé à proximité de la tumeur, n'activant l'irradiation que lorsque le marqueur se situe dans la zone prédéfinie.

Mevion

Fondée en 2004 et basée à Littleton, dans le Massachusetts, Mevion possède des bureaux internationaux au Royaume-Uni et au Japon, ainsi qu'une coentreprise en Chine.

Mevion conçoit des systèmes de protonthérapie dont le S250-i déjà déployé depuis de nombreuses années et pour lequel

MEVION propose des mises à niveau avec ses dernières fonctionnalités (HYPERSCAN Pencil Beam Scanning and Adaptive Aperture pMLC).

Plusieurs centres aux États-Unis ont ajouté un second système indépendant, des années après leur premier investissement confirmant une confiance dans la solution.

Déjà annoncé lors de l'ASTRO 2023, leur système S250-Fit est maintenant approuvé FDA (sept. 2025). Il est posséder d'un nouveau design dont l'objectif est de faire rentrer la majeure partie de l'accélérateur dans un bunker existant avec des dimensions réduites annoncées à 8 (L) * 6 (l) * 3,5 m (h).

Pour atteindre cette taille réduite, MEVION s'appuie sur son cyclotron existant sans gantry et propose ainsi un faisceau fixe. Pour regagner la mobilité perdue Mevion y associe le système de traitement en position verticale et scanner « MARIE » de Leo Cancer Care.

Actuellement la solution propose la modulation IMPT HYPERSCAN avec une planification sous Raystation. Le traitement adaptatif, l'arc-thérapie (VMAT) et la flash thérapie sont en cours de R&D.

Avec un coût estimé entre 25 et 35 millions d'euros et un temps d'installation d'un an, Mevion présente ainsi une avancée qui pourrait aussi convaincre en Europe. Le MEVION S250-FIT (Fig. 15) est actuellement en cours d'installation au *Stanford Cancer Center* et au *St. Joseph's Hospital Cancer Institute (TAMPA, Floride)*.

IBA

Fondée en 1986, IBA (**Ion Beam Applications SA**) est une société belge dont le siège se situe à Louvain-la-Neuve. Leader en protonthérapie avec 43 installations en fonctionnement dans le monde (Europe, Amérique & Asie) ainsi que 25 projets en cours de développement (dont 2 au Moyen-Orient). Les 3 centres

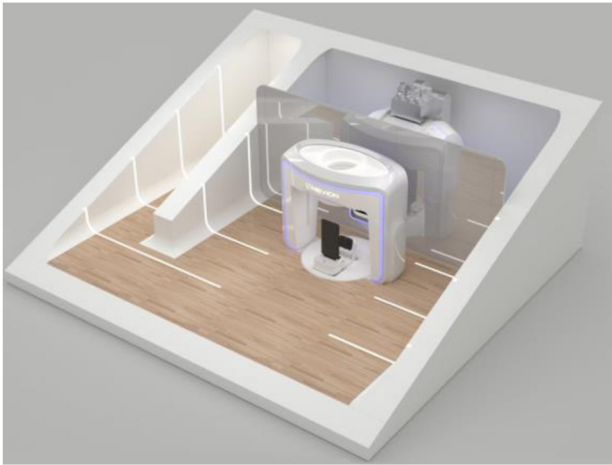


FIGURE 15
MEVION S250-FIT (www.mevion.com)

français de protonthérapie de Paris, Nice et Caen sont équipés de systèmes IBA.

Historiquement spécialiste du Cyclotron, IBA propose des solutions dans la radiopharmacie pour la production de nombreux isotopes et des solutions industrielles d'irradiation (alimentaire, stérilisation, industrie chimique des polymères etc).

IBA avec sa branche Dosimetry conçoit aussi un panel complet de matériel de contrôle qualité (cuves, chambres d'ionisation, fantômes, matrices etc) pour répondre entre autres aux besoins spécifiques des physiciens pour le contrôle des installations de protonthérapie.

IBA propose actuellement deux plateformes de protonthérapie, le Proteus One en salle unique et le Proteus Plus en configuration multisalle. Ces deux systèmes partagent le même type de sortie faisceau avec un gantry 360° et une technologie PBS (Pencil Beam Scanning ou balayage en faisceau crayon) permettant l'IMPT (Intensity Modulated Proton Therapy ou irradiation par modulation d'intensité). IBA assure un suivi à très long terme de ses installations et permet de faire évoluer ses systèmes (upgrade et ajout de salles possibles).

IBA travaille actuellement sur plusieurs évolutions majeures :

- ConformalFLASH® ambitionne de proposer la flash thérapie conformationnelle sur les systèmes Proteus. IBA conçoit à cette fin un collimateur spécifique pour ajuster l'énergie, la forme et la distribution du faisceau, nommé Conformal FLASH Energy Modulator (CEM) ;
La solution permettra de combiner les avantages de la protonthérapie et de la flash thérapie.
- Dynamic ARC® permettra l'arc-thérapie sur les systèmes Proteus avec les mêmes gains que cette technique a apporté en radiothérapie :
 - une réduction du temps de traitement (potentiellement 30 % de patients traités en plus),

- une meilleure conformation que l'IMPT,
- une réduction du nombre de champs de traitement.

IBA travaille sur l'ensemble de l'environnement (OIS, TPS, solutions de contrôle qualité) permettant d'apporter cette technique et a pour cela créé un consortium comprenant d'ores et déjà IBA Dosimetry, RaySearch et Elekta.

Durant l'ASTRO IBA et VARIAN ont signé un protocole d'accord afin de renforcer l'interopérabilité, améliorer les flux de travail cliniques et développer conjointement des technologies, notamment la planification de traitement Dynamic ARC® dans le système Eclipse® de Varian, de l'imagerie avancée, et des solutions d'assurance qualité soutenant la future mise en œuvre clinique de la thérapie FLASH.

Ces deux évolutions sont en cours de développement et devraient être prochainement soumises au marquage FDA (2026 ?).

Autres traitements

HistoSonics

La technologie Edison Histotripsy (*figure 16*), développée par HistoSonics, inaugure une nouvelle génération d'ablation ultrasonore non invasive, fondée sur un effet mécanique plutôt que thermique.

Des impulsions ultrasonores de forte intensité et de très courte durée génèrent au foyer une cavitation contrôlée : la formation et l'effondrement rapide de microbulles créent des forces mécaniques qui désintègrent sélectivement les tissus ciblés. Cette « liquéfaction » tissulaire sans élévation thermique préserve les structures adjacentes sensibles, telles que les vaisseaux ou les voies biliaires.

Guidée en échographie temps réel, l'histotripsie offre une précision millimétrique et une procédure totalement non invasive. Elle se distingue du HIFU par l'absence de nécrose thermique et la résorption naturelle des débris cellulaires.

Outre une approche de traitement prometteuse, la libération d'antigènes tumoraux pourrait conférer un potentiel immunomodulateur intéressant.

L'histotripsie ouvre ainsi la voie à une nouvelle modalité d'ablation mécanique, complémentaire des techniques thermiques ou radiatives traditionnelles.

Le système Edison® a obtenu en 2023 l'autorisation FDA De Novo pour le traitement des tumeurs hépatiques non résécables. Les résultats de l'étude multicentrique HOPE4LIVER (47 patients) montrent un contrôle local de 90 % à 12 mois, avec un retour clinique favorable. En 2025, le premier centre européen (Cambridge/NHS) a été équipé, marquant le début de la diffusion clinique en Europe.

HistoSonics étend ses essais aux tumeurs rénales, prostatiques et pancréatiques et bénéficie des premières couvertures d'assurance américaines. Valorisé à 2,25 milliards USD lors de son acquisition mi-2025, le groupe confirme un positionnement

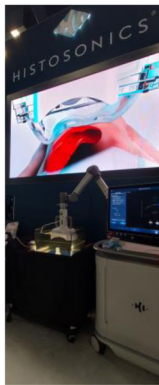


FIGURE 16

Système Edison Histotripsy (source Y. Evrard)

solide sur le marché émergent de l'ablation mécanique par ultrasons.

Le système Edison® utilise des sondes de 12 ou 14 cm pour traiter des tumeurs hépatiques jusqu'à 4 cm de profondeur et un temps de traitement de 15-20 min. Même s'il ne bénéficie pas du marquage CE pour le moment, des extensions sont prévues au rein et au poumon en 2026.

Cette technologie, à la croisée de l'imagerie et de la thérapie, ouvre de nouvelles perspectives pour les ingénieurs biomédicaux : intégration au sein des plateformes d'oncologie interventionnelle, compatibilité avec l'imagerie hybride et potentiel complémentaire à la radiothérapie adaptative.

Sumitomo Heavy Industries et BNCT

La société japonaise Sumitomo Heavy Industries (SHI) était, sur les stands de l'Astro, la principale représentante de la technologie émergente BNCT, pour Boron Neutron Capture Therapy [9-11]. D'autres fournisseurs semblaient présents dans les conférences scientifiques (comme TAE Life science), mais pas sur l'exposition technique.

SHI est un acteur industriel majeur, employant plus de 25 000 personnes à travers le monde, avec un portfolio de produits très variés, de la machinerie de construction aux équipements de traitement des eaux usées, en passant par des technologies médicales avancées : cyclotron pour la production de radio-traceurs TEP, dispositifs de protonthérapie, et BNCT, technologie installée dans 2 hôpitaux japonais, à Fukushima, et Osaka depuis 2020.

Le principe de BNCT est étudié depuis des décennies, et les évolutions techniques de ces dernières années permettent enfin de traiter des patients. La technologie, à la pointe de la physique des particules, combine radiothérapie et médecine nucléaire. L'objectif est de fixer à la tumeur des atomes de Bore 10, marqués au fluor 18, et de les bombarder de neutrons. La réaction nucléaire (figure 17) qui résulte de cette interaction engendre un atome d'hélium, un atome de lithium et des

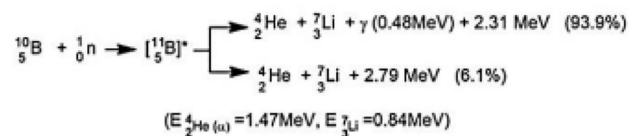


FIGURE 17

Réaction neutron/bore (source : [11])

rayonnements alpha et gamma qui vont irradier la tumeur. La réaction ayant lieu in situ, au sein des cellules cancéreuses elle-mêmes, les cellules saines se trouvent particulièrement épargnées par le traitement, ce qui en fait toute sa valeur.

Concrètement il faut donc dans un premier temps un cyclotron, qui va permettre de générer un faisceau de proton d'une énergie supérieure à 0,5 GeV. Ce faisceau va frapper une cible de métal lourd (mercure, tungstène, béryllium dans le cas de SHI) qui va expulser un flux de neutrons en réaction. Ce flux pourra alors être filtré avant d'atteindre le patient.

En amont du positionnement dans le flux de neutron, le patient recevra une injection de 4-borono-2-18F-fluoro-phénylalanine, ou FBPA. La fixation de la molécule au niveau de la tumeur devra être confirmée par un Tepsan grâce au Fluor 18, afin d'autoriser le traitement. Tout comme le FDG, c'est le métabolisme de la tumeur qui crée l'accumulation du FBPA dans les cellules à traiter. La planification du traitement est simplifiée du fait de la réaction Neutrons/Bore qui n'intervient que dans les cellules où le Bore s'est fixé. Pas de collimation compliquée nécessaire.

Le FBPA étant, à l'instar du FDG, un radio-isotope à courte demi-vie, il sera donc nécessaire de disposer, dans un rayon très court, d'un cyclotron en mesure de produire cette molécule extrêmement coûteuse.

On constate donc rapidement la synergie importante nécessaire entre les services de Médecine Nucléaire et de Radiothérapie, pour la mise en place d'une telle installation d'une part, puis dans la cohérence du parcours patient et du partage de responsabilité des 2 services d'autre part (figure 18).

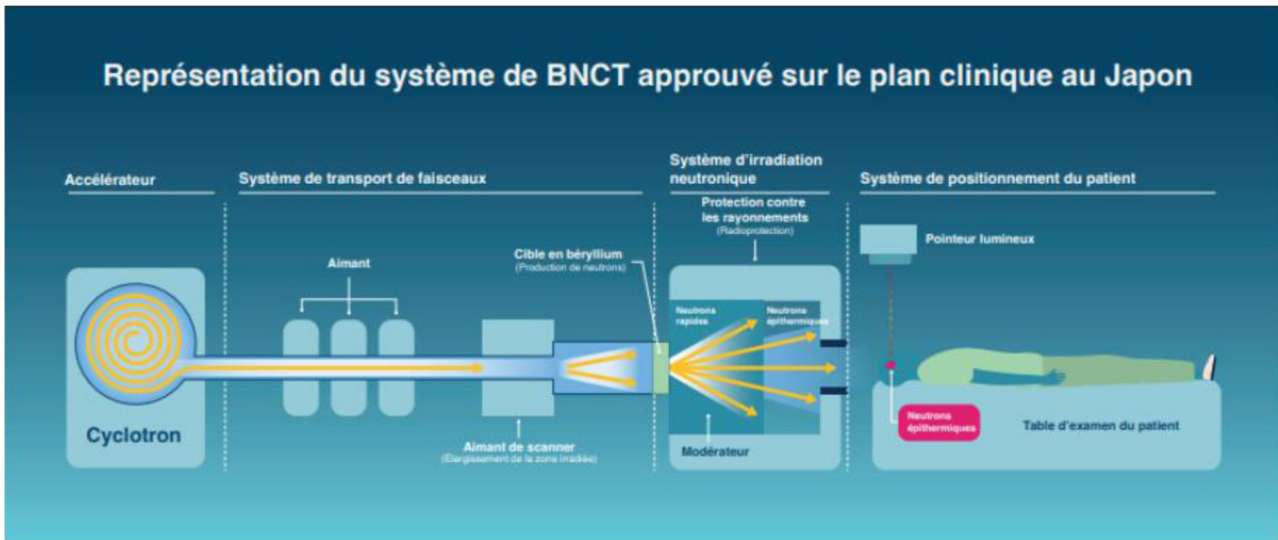


FIGURE 18

Principe de la « Boron Neutron Capture Therapy » (source : <https://www.iaea.org/fr>)

La radioprotection est également un challenge, les neutrons ayant un taux de pénétration dans la matière supérieur aux protons ou électrons, ils sont plus difficiles à stopper et vont pouvoir activer l'environnement durablement. Pour limiter l'exposition du personnel médical à la radioactivité de la salle de traitement elle-même, SIH à pris le parti de positionner le système de positionnement patient sur rail : le patient est ainsi installé dans une pièce adjacente à la salle de traitement, puis il y est « acheminé » par le rail après avoir traversé un sas aux portes blindées.

Le NeuCure de SIH (figure 19) s'appuie sur Raystation comme système de planification de traitement.

Un article récent [12] fait état de près de 25 machines, installées ou en projet, dans le monde, dont une quinzaine pour application clinique, et ce par différents constructeurs ou consortiums de recherche. À ce jour aucune machine n'a de marquage CE ou FDA, et aucune n'est installée aux États-Unis.

La cible privilégiée pour le traitement par BNCT est le glioblastome (type de tumeur cérébrale) mais d'autres localisations comme l'estomac ou les cancers de la sphère ORL pourraient en bénéficier. Le développement de molécules borées adaptées à de nouvelles cibles métaboliques peut potentiellement ouvrir à de nouvelles localisations.

Logiciels

Logiciels autocontourage et planification

MIM

MIM, pour Medical Image Merge, a été fondée en 2003 à Cleveland aux États-Unis et rachetée par GE en 2024. L'objectif



FIGURE 19

Installation BNCT NeuCure de Sumitomo Heavy Industries (source : BNCT System NeuCure® | BNCT System | MEDICAL | Sumitomo Heavy Industries, Ltd. Industrial Equipment Division)

de la compagnie était la création d'un outil permettant la fusion d'images et le retravail de celles-ci.

MIM Maestro

Sur le stand de l'Astro, les spécialistes de MIM ont pu nous présenter leur nouveau workflow dédié au suivi des ré-irradiations dans Maestro. L'enjeu est de fusionner l'ensemble des traitements irradiants reçus par un patient, quelle que soit la modalité ou la technique. Basé sur la fusion déformable des imageries de plans de traitements, rassemblées dans un même

dossier grâce au MIM Assistant, l'outil permet un calcul précis de la dose cumulée à la cible ainsi qu'aux organes environnants. Pour ce faire, il intègre d'une part les DVH (Dose Volume Histogram), référentiel permettant de rendre compte de la répartition volumique de la dose aux tissus, et d'autre part l'EQD2 (équivalent de dose par fraction de 2 Gy), qui permet de mesurer et comparer les effets biologiques des irradiations successives, après conversion des plans de traitements.

La complexité et la criticité de l'étude de dose cumulée en cas de ré-irradiation trouve là un outil complet et dense, nécessitant un accompagnement important pour le maîtriser, mais offrant des données critiques pour le suivi des patients.

Radformation

Société américaine créée en 2016 par des médecins médicaux afin d'améliorer l'efficacité et la sécurité du Workflow en radiothérapie, Radformation poursuit le développement de sa suite logicielle déjà bien complète (voir l'article Estro 2024).

ChartCheck Adaptive

L'actualité principale sur ce congrès est le développement de l'adaptatif offline, qui leur permet de recalculer le plan de traitement avant chaque séance, grâce aux données du CBCT du jour, reconstruites en « Synthetic CT », de façon 100 % automatisée. L'éditeur insiste sur l'aspect « zéro click » de sa solution intégrée au workflow, ce qui lui permet de se démarquer par rapport à la concurrence qui conserve chez la plupart des acteurs du marché un certain nombre d'actions manuelles qui peuvent rendre l'utilisation de tels outils compliquée et moins efficace.

L'outil peut envoyer des alertes si une nouvelle planification est nécessaire.

Au moment de la rédaction, cette fonctionnalité est toujours en attente de validation FDA.

Radformation est distribué en France par la société Qualimedis depuis 2023.

Raysearch

Fondée en 2000 par le Suédois Johan Löf, l'éditeur Raysearch, spécialisé dans l'optimisation des plans de traitements de radiothérapie, est un incontournable de la radiothérapie.

Raystation

Raysearch continue de développer Raycare, son système d'information oncologique et Raystation, son système de planification de traitement (appelé TPS). Celui-ci permet de concevoir des plans de traitement personnalisés pour divers types de radiothérapie (photons, électrons, protons, ions lourds) et de brachythérapie.

Le TPS RayStation v2025 possède un catalogue croissant de modèles de segmentation automatique développés grâce au *deep learning*, au moment du congrès il y en avait 199.

Le module adaptatif comprend un espace de comparaison avec le plan précédent tout en ayant les outils de segmentation dans un environnement ergonomique.

ECHO Planning est une nouvelle fonctionnalité qui permet l'automatisation de la planification de traitement, ainsi qu'une aide au choix pour trouver le meilleur plan selon les caractéristiques du parc des machines de traitement.

Cette version de RayStation ajoute la prise en charge de la planification des traitements en position verticale à l'aide du système de positionnement vertical du patient Leo Cancer Care avec rotation de l'angle du fauteuil et angle d'inclinaison variable du dossier.

Raysearch travaille également au développement de modèles pour la planification de traitement à partir d'imagerie IRM.

Parmi les développements importants, on notera aussi le premier patient traité en workflow adaptatif online sur un accélérateur conventionnel, au Royal Marsden en Grande-Bretagne. Cette avancée majeure dans le workflow de radiothérapie ouvre des perspectives d'évolution pour des parcs installés, transformant des C-arms « standard » en accélérateurs adaptatifs. Les constructeurs proposant des upgrades coûteux pour transformer certaines machines en « version adaptative » vont peut-être devoir revoir leurs stratégies de développement. C'est peut-être d'ailleurs déjà le cas de Varian, dont l'Ethos reste clairement en retrait par rapport aux développements et à la communication autour de l'Halcyon (source : <https://www.raysearchlabs.com/media/press-releases/2025/the-royal-marsden-first-center-in-the-world-to-treat-a-patient-using-the-new-adaptive-replanning-module-in-raystation-for-online-adaptive-radiotherapy-treatment/>).

Option MAP RT

Nouveauté majeure présentée cette année, l'accessibilité de Map RT (*figure 20*), solution développée par Vision RT, directement dans le TPS Raystation. Fonctionnant avec le système de reconnaissance surfacique de Vision RT, Map RT procède à un scan complet du patient et de ses contentions pendant le scanner de simulation, et analyse la faisabilité technique du traitement dans la machine souhaitée en anticipant les risques de chocs ou de conflits entre les accessoires, la table de traitement et le statif de la machine.

Cette analyse peut être réalisée pendant l'étape de planification ou de simulation pré-traitement.

Le résultat sous forme de mapping des risques, ou de visualisation dans une salle virtuelle, est accessible automatiquement dans RayStation.

Le marquage CE est déjà validé pour la version intégrée à RayStation, ainsi que pour la version standalone proposée par Vision RT. Le marquage FDA quant à lui, est encore en cours pour la version intégrée à Raystation.

Druglog/Raycare

Dernière « nouveauté » inattendue, le stand de Raysearch accueillait le Druglog (*figure 21*), dispositif de contrôle qualité des préparations de chimiothérapies par spectrophotométrie. L'appareil, commercialisé à l'origine par la société Pharmacolog en France, est relativement simple d'utilisation et a vocation



FIGURE 20
Map RT (Source : www.raysearch.com)

à être utilisé en zone de production par les préparateurs en pharmacie. Questionné sur le sujet, le référent du Druglog sur le stand Raysearch a expliqué la volonté de la société d'intégrer un workflow pharmaco-oncologie dans Raycare. L'acquisition du Druglog s'inscrit donc dans cette démarche, celui-ci pouvant s'interfacer dans le logiciel pharmacie, traçant l'adéquation de la concentration d'une préparation par rapport à la cible, et autorisant par là même sa délivrance au patient.

SeeTreat Medical

SeeTreat Medical est une entreprise australienne, fondée en 2023, spécialisée dans le développement de technologies innovantes pour la radiothérapie adaptative. C'était leur première à l'ASTRO. Leur premier produit clinique, ART.1 permet une évaluation automatique et quotidienne des doses délivrées et des changements anatomiques hors ligne (offline), en s'intégrant aux accélérateurs linéaires standards. ART.1 génère des alertes prioritaires pour les cas nécessitant une réévaluation, réduisant le temps de décision de plusieurs jours à quelques minutes et optimisant l'efficacité des équipes cliniques. Pour l'instant la solution n'est pas intégrée ou interfacée avec les TPS du marché. Le marquage FDA est attendu pour 2026, le marquage CE-MDR a été délivré en novembre 2025.

Therapanécia

La société française, fondée en 2017, continue le développement de sa suite d'outils basés sur l'IA. Les dernières avancées annoncées portent sur l'auto contourage des organes à risque en brachythérapie, et le contourage et l'auto-segmentation des glioblastomes dans le module Tumor Box. De nouvelles localisations s'ajoutent également à la liste des organes validés, comme les côtes et la cauda equina. Enfin, Therapanécia a amélioré la qualité du CTV sur la prostate.

Vision RT

Vision RT est une société britannique fondée en 2001, première à avoir développé la radiothérapie guidée par la reconnaissance surfacique (SGRT). Elle emploie 400 personnes à travers le monde, mais sa maison mère se trouve toujours à Londres. Outre son partenariat avec Raysearch évoqué plus haut, qui intègre une partie de sa solution, Vision RT présentait à l'Astro trois nouveaux modules sur le congrès :

- Beam Guide : en attente de la certification FDA, cette fonctionnalité permet la prévisualisation de la zone de traitement sur l'imagerie surfacique du patient, permettant dès l'installation un contrôle visuel, pour rendre compte par exemple, de problèmes d'alignement ;
- OIS Report : ce nouveau module de Align Rt automatise la transmission du rapport vers l'OIS. Les données sont converties



FIGURE 21

Druglog (Source : www.Raysearchlabs.com)

en Dicom, du positionnement à la fin de traitement, et sont stockées de façon chronologique dans le dossier patient de l'OIS ;

- **Auto ROI** : Depuis la mise sur le marché de Align RT, les régions d'intérêt utilisées pour le tracking surfacique devaient être définies manuellement par les utilisateurs. Cette tâche présentait deux inconvénients principaux, un aspect chronophage, et un manque de reproductibilité dans les protocoles. Le module Auto ROI, comme son nom l'indique, automatise la définition des régions d'intérêt pour le tracking, permettant ainsi de pallier ces inconvénients. L'Auto ROI améliore la standardisation inter-opérateurs. Ces ROIs restent cependant des suggestions qui peuvent ou doivent dans certains cas être reprises et modifiées, ce que Vision RT estime à 5 % des cas.

Gray Oncology Solutions

Gray OS

La solution GrayOS [13] — issue du partenariat conclu en juillet 2025 entre Elekta et la société Gray — est déjà utilisée en Amérique du Nord, notamment au centre hospitalier de l'université de Montréal et la Cité de la santé de Laval (Canada). Cette solution, capable d'automatiser la planification des patients selon des critères cliniques et la disponibilité des ressources,

a fait son apparition en Europe (déploiement en cours à Gustave Roussy par exemple).

GrayOS est une plateforme de suivi des soins de radiothérapie développée par l'entreprise montréalaise Gray Oncology Solutions.

Ce logiciel permet la planification des traitements sur un plateau de radiothérapie avec le suivi des plans de traitements, le calendrier des séances, et la gestion des charges des postes avec un système de prédiction des temps prévus et des gabarits de plans de soins avec les machines éligibles.

Un mode concierge permet également un regroupement des séances par localisation, par techniques. . .

Le logiciel peut envoyer les planifications de traitement vers Mosaïq et prochainement vers Aria.

Une interface bidirectionnelle est possible avec Mosaïq et également avec le dossier patient via des interrogations SQL ou des exports HL7.

Un déploiement de la solution est estimé entre 3 à 6 mois comprenant la mise en place technique (serveur et interfaces) et la configuration des règles de fonctionnement.

La société annonce des améliorations opérationnelles significatives jusqu'à 80 % de réduction du temps de planification [13], une diminution de près de 60 % du temps d'attente

administratif, et une augmentation de 5 à 17 % du nombre de patients traités.

Conclusion

L'ASTRO 2025 a mis en lumière un marché de la radiothérapie en pleine transformation, avec des tendances fortes vers l'**adaptatif offline et online**, l'**économie d'hélium**, l'émergence du **comptage photonique**, la **verticalisation des systèmes** et l'intégration croissante de l'**IA clinique**. La maturité des solutions reste **inégaie selon les constructeurs**, soulignant l'importance de comparer technologies et fiabilité opérationnelle. Dans ce contexte, le **workflow logiciel** apparaît comme un facteur clé pour optimiser la planification, la sécurité et l'efficacité des traitements, au-delà des seules performances matérielles. L'édition 2025 confirme ainsi l'importance d'une approche globale,

combinant équipements, logiciels et intelligence clinique pour répondre aux besoins croissants des centres de radiothérapie. Le futur de la radiothérapie conventionnelle s'ébauche déjà. Si l'adaptatif demeure aujourd'hui surtout offline ou hybride, le **online** s'impose comme la routine de demain. Pour y parvenir, un accès fluide aux données patient et des plans rapidement ajustables seront indispensables. Les constructeurs s'y emploient déjà, en concevant des accélérateurs et des outils informatiques plus ergonomiques et pleinement interopérables.

Déclaration de liens d'intérêts : les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Remerciements : Nous remercions l'ensemble des fournisseurs qui nous ont accordé de leur temps pour nous présenter leurs produits et répondre à nos questions.

Références

- [1] Nord B, Szymczak H, Jaborska A, Laurent D, Maliges C, Defleur D. État de l'art en radiothérapie : nouveautés présentées au congrès. *ASTRO 2023*;1390(1):3-29. doi: [10.1016/j.irbmnw.2024.100518](https://doi.org/10.1016/j.irbmnw.2024.100518) ([http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1959-7568\(24\)00015-4](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1959-7568(24)00015-4)) [1/2024; ISSN 1959-7568].
- [2] Moreno V, Le Manac'h Y, Saucet E, Szymczak H. *ESTRO 2024 : actualités de la radiothérapie*. *IRBM News 2024*;45(6):100560. doi: [10.1016/j.irbmnw.2024.100560](https://doi.org/10.1016/j.irbmnw.2024.100560) [ISSN 1959-7568, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1959756824000877>].
- [3] Integral Quality Monitor, IQM - iRT Systems.
- [4] Elekta One Planning, Elekta ONE Planning | Oncology Software | Elekta.
- [5] Elekta Xoft Axxent, Xoft System.
- [6] *ESTRO 2022 : apprendre de chaque patient*. *IRBM News 2022*;43(5). EM consulte Article 100423- octobre 2022, *ESTRO 2022*, apprendre de chaque patient.
- [7] Radiochirurgie stéréotaxique intracrânienne par Gamma Knife | Fiche santé HCL; <https://www.chu-lyon.fr/radiochirurgie-stereotaxique-intracranienne-par-gamma-knife>.
- [8] What is heavy ion radiotherapy, What are heavy ion beams? | Guide for Heavy Ion Radiotherapy - For medical professionals.
- [9] Madsen M. Des neutrons pour les neurones et des cyclotrons pour les radio-isotopes, Des neutrons pour les neurones et des cyclotrons pour les radio-isotopes. *International Atomic Energy Agency. IAEA Bull 2022*;632-2.
- [10] BNCT System NeuCure, BNCT System NeuCure® | BNCT System | MEDICAL | Sumitomo Heavy Industries, Ltd. Industrial Equipment Division.
- [11] Khavari RA, Ibtikar SS, Yousufy F. Cancer treatment using neutron capture with boron: comparing the effectiveness of neutron energy generating sources. *J Nat Sci Rev 2025*;3(2):94-107. doi: [10.62810/jnsr.v3i2.214](https://doi.org/10.62810/jnsr.v3i2.214).
- [12] Capoulat ME, Cartelli D, Baldo M, Suarez Sandin JC, Del Grosso MF, Bertolo A, et al. Accelerator based-BNCT facilities worldwide and an update of the Buenos Aires project. *Appl Radiat Isot 2025*;219:111723. doi: [10.1016/j.apradiso.2025.111723](https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2025.111723) [ISSN 0969-8043, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969804325000685>)].
- [13] Elekta et Gray s'associent, <https://gray-os.com/fr/news/elekta-and-gray-partner-to-offer-optimized-oncology-appointment-scheduling-for-elekta-one-ois-customers>.