

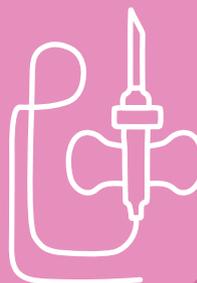
Progrès  
& dispositifs  
médicaux

AVRIL 2025

# INNOVATION EN ONCOLOGIE



LE DISPOSITIF MÉDICAL  
**snitem**  
Pour faire avancer la santé



# SOMMAIRE

LE DISPOSITIF MÉDICAL

# snitem

Pour faire avancer la santé

Maison de la Mécanique  
39, rue Louis Blanc  
CS 30080  
92038 La Défense Cedex

Directeur de la publication : Éric Le Roy  
Responsable d'édition : Natalie Allard  
Rédactrices : Géraldine Bouton, Nathalie Ratel  
Édition déléguée : Presse Infos Plus  
(www.presse-infosplus.fr)  
SR et édition : Studio Hartpon  
Création graphique : ArtFeelsGood  
Maquette : Marjorie Gosset  
Crédits photos, tous droits réservés : Boston Scientific, Cureety, EDAP TMS France, Esaote, GE Healthcare, Intrasense, Medtronic France, Resilience, Siemens Healthineers, Sirtex, Stephanix, Ovesco, Vygon, Adobe  
Stock (images créées à l'aide d'outils d'IA générative : p. 4, 51, 53, 57, 61).  
Publication : Avril 2025  
ISBN : 979-10-93681-34-4

Les mots techniques ou scientifiques expliqués en fin de livret dans la partie glossaire sont signalés dans le texte par le symbole **G**

1	<b>PRÉFACE</b>	39	<b>RADIOTHÉRAPIE</b> Les rayons au service de la lutte contre le cancer
2	<b>INFOGRAPHIE</b>		
4	<b>INTRODUCTION</b>	45	<b>RADIOEMBOLISATION</b> Au cœur du foie
8	<b>ONCO-IMAGERIE - ENJEUX</b> Mettre le cancer « en image »	48	<b>ABLATION</b> Des procédures de moins en moins invasives
9	<b>SCANNER</b> Moins de rayons et plus de précision	53	<b>RADIOFRÉQUENCE</b> Du foie jusqu'à l'os
13	<b>IRM</b> « Imager » sans irradiier	56	<b>ULTRASONS FOCALISÉS</b> Une idée française
16	<b>TEP-IRM</b> Un détecteur TEP dans le champ d'une IRM	59	<b>MICRO-ONDES</b> Une autre énergie au service du radiologue
19	<b>TEP-TDM CORPS ENTIER</b> Une détection optimisée de l'imagerie moléculaire	61	<b>CRYOABLATION</b> Un froid sur les tumeurs
23	<b>MAMMOGRAPHIE</b> Un dépistage toujours plus précoce	63	<b>DRAINAGE ET STENTING</b> Un enjeu crucial : soulager les patients
27	<b>FUSION D'IMAGES</b> Une approche ciblée pour guider le geste	67	<b>PROTECTION DES SOIGNANTS</b> Maîtriser les risques d'exposition professionnelle
30	<b>DÉPISTAGE ET PRÉVENTION - ENJEUX</b> Le dépistage, clé du repérage précoce	71	<b>QUALITÉ DE VIE</b> Le confort des patients au cœur des enjeux
31	<b>DISPOSITIFS D'ENDOSCOPIE</b> L'endoscopie au service du dépistage	73	<b>TÉLÉSURVEILLANCE</b> Au plus près des patients à domicile
34	<b>DIAGNOSTIC - ENJEUX</b> Du dépistage au diagnostic	78	<b>LE REGARD DU PATIENT</b>
35	<b>AIDE AU DIAGNOSTIC</b> La révolution des biopsies	80	<b>GLOSSAIRE</b>
38	<b>TRAITEMENT - ENJEUX</b> Des traitements de plus en plus ciblés	82	<b>SOURCES</b>
		84	<b>REMERCIEMENTS</b>

# Les progrès en oncologie vont au-delà du seul traitement de la maladie

## PRÉFACE



**Pr Christophe Hennequin,**  
*onco-radiothérapeute, chef de service de cancérologie-radiothérapie de l'hôpital Saint-Louis, vice-président du Conseil national professionnel (CNP) d'oncologie*

La prise en charge actuelle du cancer est le fruit d'une longue histoire de recherches et d'innovations, d'abord pour comprendre la maladie et ses mécanismes, puis pour la combattre de manière toujours plus efficace et ciblée. Si ces dernières années ont vu l'explosion des traitements médicamenteux, notamment d'immunothérapie, les

innovations successives apportées aux dispositifs médicaux ont aussi joué un rôle de premier plan dans les progrès réalisés en oncologie.

De fait, ceux-ci sont indissociables des avancées accomplies en imagerie, laquelle intervient désormais à tous les stades de la prise en charge, du diagnostic au suivi, du dépistage aux phases de traitement. Et l'onco-imagerie continue de porter de belles perspectives avec, par exemple, les logiciels dotés d'intelligence artificielle pour contourner avec précision les tumeurs et organes à risque ou encore les TEP-IRM.

Elle participe aussi des progrès que continue de réaliser la radiothérapie, qui bénéficie de systèmes d'imagerie embarqués de plus en plus performants et d'accélérateurs de plus en plus puissants. On se dirige d'ailleurs vers des accélérateurs avec IRM embarquée qui permettraient une définition encore meilleure de la cible avant chaque séance. La radiothérapie devient de plus en plus précise, de moins en moins toxique –et donc de plus en plus efficace. En ce sens, la radiothérapie adaptative, permettant d'adapter le traitement au jour le jour ou presque, est également prometteuse

même si elle reste à valider. La télémédecine s'est développée, notamment du fait de son remboursement. Les logiciels de surveillance des patients sous chimiothérapie à domicile permettent d'envoyer *via* leur portable des données biologiques et cliniques. Bien sûr, le recours à ces outils nécessite la mise en place de nouvelles compétences ou métiers en parallèle, mais le jeu en vaut la chandelle : pour certains cancers comme celui du poumon, les études montrent une amélioration du taux de morbidité voire de mortalité.

Mais les progrès réalisés en oncologie vont au-delà du seul traitement de la maladie et les innovations cherchent aussi à diminuer voire à traiter les effets secondaires du cancer comme des traitements. Ainsi en est-il, par exemple, de la photobiomodulation pour traiter des complications telles que les mucites. Car c'est bien là le défi que cherchent à relever les acteurs de l'innovation en oncologie : offrir aux patients des soins toujours plus efficaces et personnalisés, mais moins invasifs, grâce à une prise en charge globale et pluridisciplinaire permettant de préserver au mieux leur qualité de vie.

# LE PARCOURS DE SOINS DU PATIENT EN ONCOLOGIE

Chaque patient atteint d'un cancer doit pouvoir bénéficier d'un parcours de soins personnalisé, coordonné et efficace, fondé sur une information adaptée et un accompagnement de grande qualité pendant comme après la maladie. En voici les étapes.

1



## L'ANNONCE

**L'annonce d'une maladie grave, toujours traumatisante, fait l'objet d'un dispositif en cinq temps réalisé par des professionnels de santé.**

- Annonce de la suspicion de cancer, généralement réalisée en cabinet de ville.
- Confirmation du diagnostic après examens complémentaires.
- Proposition et explication de la stratégie thérapeutique définie en réunion de concertation pluridisciplinaire (RCP) avant remise d'un programme personnalisé de soins (PPS).
- Accompagnement soignant paramédical (besoins en soins de support, information).
- Consultation médicale de synthèse.

2

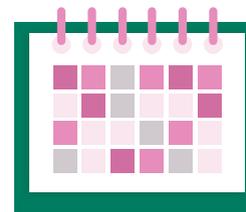


## LA PHASE ACTIVE DES TRAITEMENTS

Durant la phase active des traitements anti-cancéreux, ceux-ci peuvent être complétés par des soins de support pour une prise en charge globale du patient.

- Différents traitements (chirurgie, chimiothérapie, radiothérapie, thérapies ciblées et immunothérapie, hormonothérapie...) selon l'objectif suivi (supprimer ou ralentir le développement d'une tumeur ou des métastases, réduire le risque de récurrence, prévenir et traiter les symptômes et complications liés à la maladie et aux traitements).
- Des soins de support tout au long de la maladie et des traitements contre le cancer pour assurer la meilleure qualité de vie possible : prise en charge de la douleur ; prise en charge diététique et nutritionnelle ; prise en charge psychologique ; prise en charge sociale, familiale et professionnelle, activité physique...

3



## L'APRÈS-CANCER

À la fin des traitements, un suivi régulier est mis en place.

- Les objectifs : détecter une éventuelle récurrence ; surveiller la possible apparition d'un cancer différent ; rétablir ou adapter les soins de support nécessaires.
- La durée du suivi : de 5 ans minimum à toute la vie selon le cancer.
- Les acteurs du suivi : l'équipe médicale ayant effectué le traitement avec le médecin traitant.
- Un programme personnalisé après cancer (PPAC) pour intégrer ce suivi dans la vie quotidienne du patient, adapté à ses besoins et révisable au fil du temps.

## INTRODUCTION

# L'INNOVATION AU SERVICE DE SOINS DE PLUS EN PLUS PERSONNALISÉS

Dans le monde, le cancer constitue la deuxième cause de décès avec près de 10 millions de morts par an... En France, il représente la première cause de mortalité prématurée, devant les maladies cardiovasculaires. Face à ce fléau, soignants, chercheurs et industriels œuvrent au quotidien pour faciliter le diagnostic précoce et proposer des traitements toujours plus ciblés.



L'Institut national du cancer (INCa) estime à 433136 le nombre de nouveaux cas de cancer pour l'année 2023 en France métropolitaine: 245 610 chez l'homme et 187 526 chez la femme. Au total, ce sont 3,8 millions de Français en vie qui ont eu un diagnostic de cancer au cours de leur vie. Des chiffres en hausse: «*Entre 1990 et 2023, le nombre de nouveaux cas de cancers a doublé, (...) toutes localisations confondues, résume l'édition 2024 du Panorama des cancers en France publié par l'INCa. Cette augmentation est principalement liée à des évolutions démographiques (en taille et en structure) et secondairement à une augmentation du risque de cancers.*»

### Une maladie millénaire

Le cancer n'est toutefois pas une maladie du XXI<sup>e</sup> siècle. En effet, des « traces » ont notamment été découvertes sur des fragments de squelettes humains datant de la Préhistoire (*lire encadré p. 6*). Des mentions y sont faites également dans divers écrits anciens. En Grèce antique, Hérodote évoque, par exemple, le cas d'Atossa, reine des Perses, souffrant d'une boule dans l'un de ses seins s'étant mise à enfler puis à saigner et à suinter, vers 525 av. J.-C. Puis quelques temps plus tard, Hippocrate, dans ses écrits, «*fait plusieurs fois allusion au cancer dont le nom vient de l'aspect de sa propagation,*

*ressemblant à des pattes de crabe*», explique la Ligue contre le cancer. Il décrit également des lésions touchant la peau, le sein, l'estomac, le col de l'utérus et le rectum et en établit une classification. Et ce n'est que le début... Le médecin Arétée de Cappadoce (II<sup>e</sup> av. J.-C.) reconnaît que les cancers à ulcérations ont les symptômes et le pronostic les plus péjoratifs; tandis qu'Avenzoar, savant de Cordoba, décrit les cancers de l'œsophage et de l'estomac dès le XII<sup>e</sup> siècle.

## Une prolifération progressive

La compréhension de la maladie évolue ainsi peu à peu. Avicenne (980-1037), médecin de Bagdad, observe que le cancer augmente lentement avant d'envahir et de détruire les tissus avoisinants pour aboutir à une absence de sensations dans la partie

### Le premier cancer « professionnel »

Le chirurgien britannique Percivall Pott met en évidence, en 1775, le premier cancer « professionnel »: il s'agit du cancer du scrotum des ramoneurs, provoqué par le frottement sur le scrotum de la corde imprégnée de suie servant à descendre dans les conduits de cheminée.

atteinte. En France, dès 1320, le chirurgien Henri de Mondeville est conscient qu'« *aucun cancer ne guérit, à moins d'être radicalement extirpé tout entier. En effet, si peu qu'il en reste, la malignité augmente dans la racine* ». Au XVII<sup>e</sup> siècle, Gendron, médecin appelé par Louis XIV pour soigner sa mère, Anne d'Autriche, atteinte d'un cancer du sein, « *conçoit le cancer comme une modification tissulaire localisée qui s'étend par prolifération, curable si elle est extirpée dans sa totalité* », précise encore la Ligue. En parallèle, les autopsies n'étant plus interdites, les connaissances en anatomie progressent. L'Italien Marco Aurelio Severino (1580-1656) détaille ainsi les différentes tumeurs bénignes et malignes du sein et – grande première – illustre ses descriptions avec des dessins!

## Une pathologie cellulaire

Ce n'est toutefois qu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, grâce aux travaux du chirurgien français Henri François Le Dran, que l'on comprend que le cancer s'étend par les canaux lymphatiques. Ce dernier établit d'ailleurs que si les ganglions lymphatiques situés à l'aisselle – les ganglions axillaires – sont envahis, le cancer est grave. Xavier Bichat découvre, pour sa part, que les différentes localisations du cancer ne sont qu'une seule et même maladie, et précise le concept de métastase à distance. Puis, lorsque le pathologiste Rudolf Virchow prouve, au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, qu'une cellule cancéreuse naît toujours d'une autre cellule, il devient de plus en plus clair que le cancer survient d'une cellule normale

## Une incidence en hausse

En trente ans, « *le nombre de nouveaux cas de cancers a presque doublé* » en France, « *toutes localisations confondues* », selon les chiffres de l'INCa dévoilés en septembre 2024. Cette hausse concerne particulièrement les femmes (+104% depuis 1990, contre +98% chez les hommes). Pour elles, les cancers du poumon et du pancréas en particulier montrent une augmentation jugée « *préoccupante* » depuis 1990. De manière générale, les cancers les plus fréquents, en France, restent les cancers du sein, de la prostate, du poumon, du côlon et du rectum. Les plus jeunes ne sont pas épargnés: 1817 nouveaux cas de cancer sont diagnostiqués chaque année en France chez les enfants de 0 à 14 ans, et 443 chez les adolescents de 15 à 17 ans.

altérée par un certain nombre de mutations et qui, si elle n'est pas détruite, se multiplie pour former une tumeur... avant d'essaimer dans tout l'organisme. L'essor de l'anatomopathologie, qui devient une discipline médicale à part entière, facilite d'ailleurs l'analyse des tissus prélevés lors de biopsies, pour mieux comprendre la nature des tumeurs et leur comportement, selon des procédés de plus en plus précis et perfectionnés.

1829

Première utilisation  
du terme  
« métastase »

Années

1890

Découverte des rayons X  
Pierre et Marie Curie  
découvrent le radium

Années

1950

Apparition des  
premiers scanners

Années

1960

Essor des  
rayonnements de  
haute énergie

Années

1970

Premiers arbres  
d'administration de  
chimiothérapie

Années

1980-90

Nouvelles techniques  
d'ablation des cancers  
par le « chaud » et le  
« froid »

## Sur les traces du cancer

« Les traces les plus anciennes du cancer se trouvent dans des fragments de squelettes humains datant de la Préhistoire », relate la Ligue contre le cancer. Identifié « sur des momies découvertes dans des pyramides égyptiennes », ainsi que sur des momies péruviennes, il est aussi évoqué « sur des tablettes recouvertes de caractères cunéiformes de la bibliothèque de Ninive » et des « monuments funéraires étrusques ». La référence connue la plus ancienne figure dans le papyrus chirurgical Ebers (entre le XVI<sup>e</sup> et le XV<sup>e</sup> siècle av. J.-C.), découvert par Edwin Smith. Le document évoque le cancer du sein. En 2020, un cas confirmé de cancer osseux à un stade avancé a également été confirmé par des chercheurs canadiens... sur un dinosaure ayant vécu il y a 75 à 77 millions d'années !

## La révolution de l'imagerie

Au XX<sup>e</sup> siècle, l'imagerie médicale fait elle aussi sa révolution et bouleverse la prise en charge des cancers. Grâce à la radiographie, les médecins peuvent visualiser en 2D les structures internes du corps et identifier des anomalies, y compris des tumeurs. Les années 1950 voient l'avènement des premiers scanners... et de la 3D.

La tomodensitométrie (TDM), qui émerge dans les années 1970, améliore grandement la résolution et la précision des images, permettant de détecter les cancers à un stade plus précoce, tandis que l'imagerie par résonance magnétique (IRM) offre des images détaillées des tissus mous. Et dès les années 1980-1990, c'est au tour de la tomographie par émission de positons (TEP) de démontrer sa puissance diagnostique : grâce à elle, il est désormais possible de visualiser l'activité métabolique des cellules, aidant ainsi à différencier les tissus cancéreux des tissus sains. La voie de l'imagerie fonctionnelle est ouverte... et plus encore.

En effet, l'intelligence artificielle (IA) facilite désormais la fusion des données d'imagerie voire leur croisement avec d'autres données de santé (antécédents médicaux, résultats d'examen de biologie...). Un outil clé pour faciliter le diagnostic, mais aussi pour élargir l'arsenal thérapeutique à la disposition des soignants et améliorer les taux de survie et de guérison des patients !

## De la chirurgie aux autres traitements

Sur le plan thérapeutique, les progrès sont en effet manifestes. Pendant de nombreux siècles, le seul remède pour lutter contre le cancer a été la chirurgie. Le XX<sup>e</sup> siècle voit toutefois la naissance de la radiothérapie, de traitements guidés par l'image reposant sur l'utilisation des ultrasons de haute intensité, de la radiofréquence, des lasers ou encore des micro-ondes, mais aussi des chimiothérapies (y compris orales), hormonothérapies et médicaments ciblés, avec la possibilité de combiner plusieurs de ces traitements pour réduire les séquelles.

Début des années

2000

Essor de l'imagerie interventionnelle en oncologie  
Premières vidéocapsules pour observer l'intestin grêle

2008

Première utilisation de l'IRM interventionnelle pour traiter une tumeur cérébrale

2017

Première preuve de l'intérêt de la télésurveillance dans l'amélioration de la survie globale

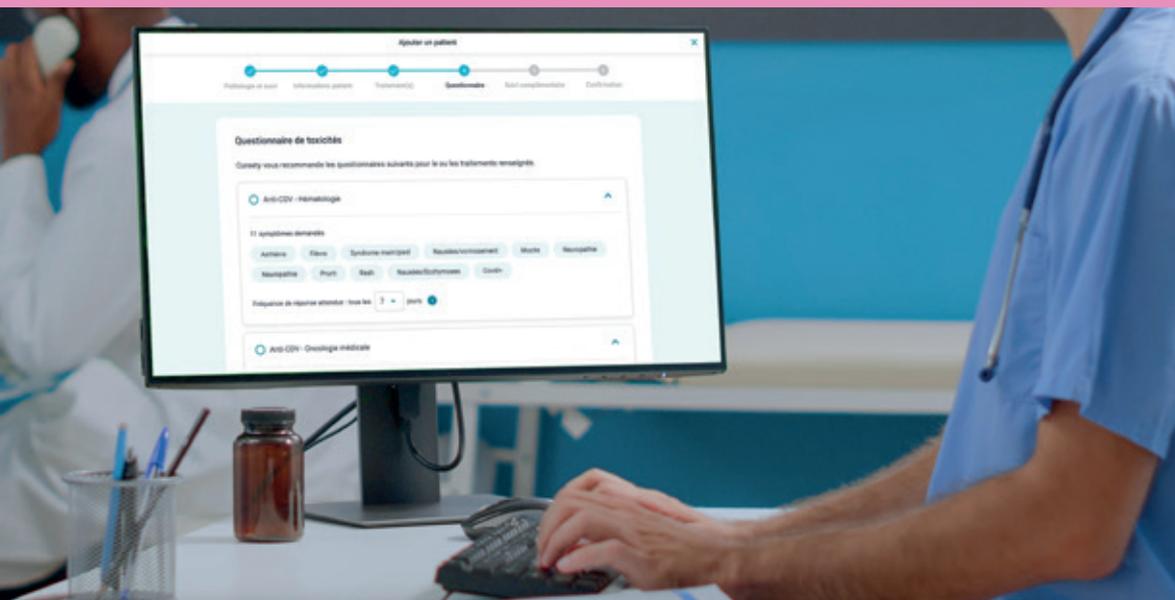
Années

2020

Essor de l'IA dans le diagnostic et le traitement des cancers

2021

Lancement de la stratégie décennale de lutte contre les cancers 2021-2030 en France



## Le saviez-vous ?

Un chanoine, Jean Godinot, a fait construire en 1740 à Reims l'un des premiers hôpitaux destinés exclusivement aux cancéreux. Un établissement à Varsovie, l'hôpital de Saint Lazare dédié aux patients présentant des tumeurs, aurait également été créé dès 1592.

La chirurgie mini-invasive et l'endoscopie ouvrent également de nouvelles options pour les patients. Les progrès de la génétique permettent quant à eux, dans certains cas, de mieux cibler les thérapies à mettre en œuvre, pour une prise en charge de plus en plus individualisée ! Dans le même temps, les modes d'accompagnement des patients évoluent afin de leur permettre de traverser cette épreuve, pendant et après les traitements, dans les meilleures conditions et avec une qualité de vie la moins dégradée possible.

1 sur 2

## Chiffre clé

Près de la moitié des cancers pourrait être évitée en agissant sur les principaux facteurs de risque : le tabac (19,8%), l'alcool (8%), l'alimentation (5,4%) ou encore le surpoids (5,4%)

Source : « Panorama des cancers en France », édition 2024, INCa.

# METTRE LE CANCER « EN IMAGE »

Diagnostic, bilan d'extension, suivi, thérapie ciblée... Les progrès de l'imagerie médicale sont tels qu'ils ont rendu celle-ci incontournable à tous les stades de la prise en charge du cancer. Ses récents développements concourent à une approche toujours plus prédictive et personnalisée de la maladie.

Détecter au plus vite pour augmenter l'efficacité thérapeutique : un défi que l'imagerie médicale ne cesse de relever au gré des innovations technologiques. À chaque modalité ses spécificités. Avec l'avènement des rayons X au début du XX<sup>e</sup> siècle, la radiographie a permis les premières observations morphologiques contribuant, entre autres, à la détection et au suivi des cancers des os, des poumons... Dans les années 1950, la scintigraphie livre des informations sur le fonctionnement de l'organisme grâce à l'injection de radiopharmaceutique dans le corps du patient. Une technique de médecine nucléaire qui trouvera de multiples applications en cancérologie, notamment dans la détection des métastases. Dans le même temps, l'échographie offre une piste intéressante pour détecter des tumeurs et déceler une éventuelle propagation. Elle deviendra incontournable pour guider le geste lors des prélèvements de tumeurs.

### Voir mieux et plus vite

En 1970, le scanner révolutionne la précision diagnostique avec ses images en coupes transversales de n'importe quelle partie du corps. Cette précision fait également du scanner l'une des modalités de la planification du traitement des cancers. Les machines les plus récentes permettent de diminuer les doses de rayons tout en préservant une haute qualité d'image.

Dans les années 1980, l'IRM permet, sans irradier, de distinguer tissus sains et tissus cancéreux. Elle devient une modalité phare pour caractériser les tumeurs. Autre tournant avec la tomographie par émission de positons (TEP) qui a enrichi les capacités diagnostiques et la planification des traitements, fusionnant ces vingt dernières années avec d'autres modalités (IRM et scanner).

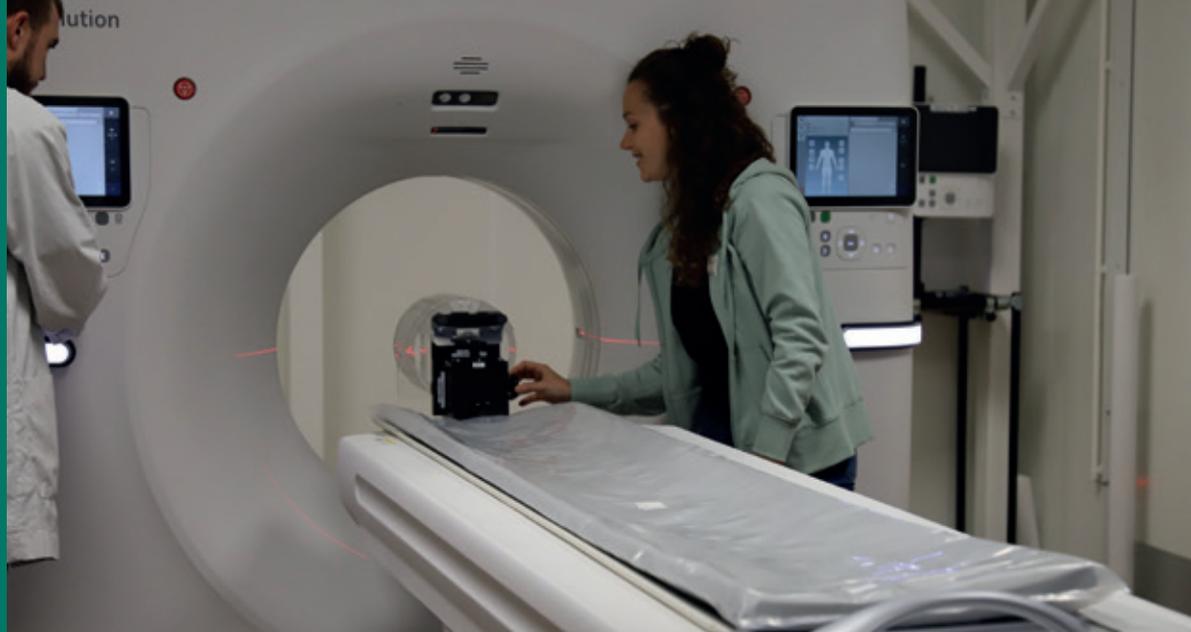
### Traiter, cibler et prédire

Un diagnostic toujours plus précis, c'est aussi la possibilité d'envisager des traitements plus adaptés, plus ciblés. L'enjeu en oncologie : préserver les tissus sains environnants et bénéficier de plus d'efficacité dans la lutte contre la tumeur cancéreuse. À ce titre, la radiologie interventionnelle est devenue, avec la thérapie ciblée, une véritable arme anticancer. Efficacité thérapeutique, prévention des rechutes... Les recherches autour des biomarqueurs amorcent une nouvelle ère dans la prise en charge personnalisée du cancer. Enfin, la recherche autour de l'IA appliquée à l'imagerie médicale est en pleine effervescence. Ses algorithmes permettent d'ores et déjà la fusion de modalités, la reconstruction d'images ou encore l'identification des caractéristiques de tumeur. Les études se multiplient à travers le monde, notamment pour tester son intérêt et sa fiabilité comme outil diagnostique d'aide à la décision. Autant d'évolutions qui ouvrent la voie à une onco-imagerie de précision.

## SCANNER

# MOINS DE RAYONS ET PLUS DE PRÉCISION

Le scanner figure sans nul doute parmi les modalités d'imagerie médicale les plus utilisées au monde. Particulièrement précis, il permet d'observer tissus et organes en 3D, ce qui en fait un dispositif central dans la prise en charge du cancer. Les dernières innovations technologiques dont il bénéficie visent à améliorer la qualité de l'image, tout en diminuant l'exposition des patients aux rayonnements X.



### DE LA THÉORIE...

Le scanner, également appelé tomodensitométrie (TDM), permet d'obtenir des images en coupe et des vues de n'importe quelle partie du corps humain grâce à l'émission de rayons X. De cette manière, il rend possible la visualisation des différentes structures de l'organisme et l'examen des organes, des vaisseaux sanguins, de la moelle épinière, des os ou encore des articulations.

Outil incontournable de détection et de suivi de nombreuses pathologies tumorales, il permet de déterminer la taille, la forme ou encore l'emplacement des anomalies, d'en évaluer la propagation et de détecter les récives. Dans certains cas, le scanner sert à guider le geste du praticien lors de ponctions ou de traitements anticancéreux.

### À LA PRATIQUE

L'appareil de scanner est constitué d'un large anneau dans lequel tournent, « face à face », des émetteurs et des détecteurs de rayons X. Le patient est positionné sur une table mobile qui avance à l'intérieur de cet anneau. Il est alors traversé par les rayonnements ionisants émis à faible dose. Le récepteur mesure l'intensité des rayons X après leur passage à travers le corps du patient. En effet, ces derniers sont plus ou moins absorbés selon la densité et l'épaisseur des structures du corps humain.

Les os apparaissent en blanc, les tissus mous sont pour leur part grisâtres et l'air est noir. Il est parfois nécessaire d'injecter un produit de contraste iodé dans le sang. Comme l'iode >>>

# 1973

Apparition des premiers scanners dans les hôpitaux français

# 1989

Apparition du scanner à rotation continue puis de la technique de l'acquisition volumique

# 2006

Premières utilisations des scanners à double énergie

» absorbe fortement les rayons X, cette substance, qui obscurcit les vaisseaux sanguins et imprègne les tissus, permet de mieux visualiser la zone à examiner, les lésions cancéreuses et leurs vascularisations. Les vues et coupes obtenues sont ensuite assemblées par un ordinateur afin de reconstruire des images en 2D ou 3D des structures anatomiques, qui seront ensuite interprétées par un radiologue.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

*(À lire sur le sujet: le livret « Innovation en imagerie » dans la même collection)*

Les premiers scanners ont été mis sur le marché au début des années 1970 et sont d'abord utilisés pour étudier le cerveau. Il faudra attendre une décennie et les scanners à rotation séquentielle pour « imager » le corps entier. Les détecteurs effectuent alors une seule rotation autour du patient avant de marquer un temps d'arrêt, et les données recueillies permettent de reconstruire une image unique.

Une étape importante est franchie à la fin des années 1980 avec la mise au point du scanner hélicoïdal. Ce dernier assure une rotation continue du tube et du détecteur à rayons X autour de la table d'examen. La vitesse d'acquisition augmente et permet aujourd'hui une exploration d'un plus large volume du corps humain en seulement quelques secondes et à plus faible dose.

Autres bénéfices identifiables: la diminution des artefacts, la multiplication des images, l'étude facilitée des structures vasculaires, etc. Cette évolution va ouvrir des perspectives considérables dans le dépistage à des stades précoces du cancer. Au fil des décennies, la technologie et le nombre de détecteurs placés dans l'anneau du scanner ne vont cesser d'évoluer, augmentant la sensibilité de l'appareil. La précision des images est telle que le scanner est exploité pour approfondir l'étude d'anomalies initialement détectées par radiographie ou échographie. De ce fait, il est utilisé en cancérologie pour renseigner sur la localisation, la taille, la morphologie des lésions, mais aussi sur la structure des tissus environnants.

## Mieux caractériser les tissus

Ces dernières années, les recherches visent surtout à améliorer l'image, tout en diminuant l'exposition des patients aux rayonnements ionisants. Au cours de la décennie 2000, les industriels se tournent vers l'imagerie spectrale, dont le principe repose sur la tomographie par rayons X et l'utilisation de plusieurs niveaux d'énergie: haut et bas kilovoltages (kV). Les tissus répondent de façon spécifique en fonction des niveaux d'énergie des rayons X qui les traversent, ce qui permet d'analyser la structure anatomique et la composition d'une substance contenue dans l'organe ou la partie du corps qui est examinée, qu'il s'agisse de structures osseuses ou calciques, de vaisseaux, de tissus mous, etc.

*« L'imagerie spectrale améliore considérablement la sensibilité de la machine au produit de contraste iodé, précise le Pr Olivier Lucidarme, chef du service d'Imageries spécialisées de l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière. Elle offre, entre autres, la possibilité de quantifier la captation de l'iode, de jouer sur différents paramètres et, par exemple, de reconstruire*

2015

Premiers scanners à comptage de photons X à des fins de recherche clinique

2023

Lancement d'une étude européenne sur le dépistage du cancer du poumon grâce au scanner faible dose



0,2  
mm

## Chiffre clé

C'est l'épaisseur des coupes que peuvent réaliser les scanners à comptage photonique dernière génération.

Source : « Le scanner : quoi de neuf en 2023 ? », IRBM News, avril 2023.

*une image virtuelle sans injection de contraste à partir de l'image faite après injection d'iode.»*

La diminution des kilovoltages rend plus visible le contraste iodé, ce qui va potentialiser la détection des maladies qui se rehaussent avec l'injection d'un produit de contraste. *« Les petites lésions hypervascularisées, comme le sont bon nombre de tumeurs cancéreuses, sont plus visibles, et les grosses lésions mieux caractérisées, relève le médecin radiologue. À l'inverse, nous voyons également mieux les lésions peu vascularisées lorsqu'elles sont entourées par du tissu bien vascularisé en raison de l'accentuation des contrastes. Et tout cela à des doses moindres.»*

## Capter chaque photon

La dernière génération de scanners, commercialisée dans les années 2020, est équipée d'une nouvelle technologie de détecteurs dits « à comptage de photons ». Ces derniers convertissent directement les photons des rayons X en signaux électriques, à la différence des détecteurs classiques qui intègrent et transforment l'énergie des photons en signaux lumineux. Résultat : le détecteur est capable de capturer plus efficacement les photons, ce qui rend les doses plus efficaces.

*« L'exposition aux rayons X et l'injection du produit de contraste sont bien en dessous des niveaux de référence diagnostiques nationaux <sup>Ⓢ</sup>, notamment sur les scans thoraco-abdomino-pelviens, poursuit le Pr Corinne Balleyguier, cheffe du département Imagerie au sein du Centre de lutte contre le cancer Gustave Roussy. La diminution de la dose >>>*

»» présente un intérêt pour les patients, notamment en cas de rémission d'un cancer. Car les scanners de suivi peuvent être nombreux.»

## Fiabilité du diagnostic

Ces appareils vont donc encore plus loin dans l'amélioration du contraste de l'image et de la résolution spatiale. « Ces détecteurs captent chaque photon et les classifient selon leur niveau d'énergie, indique en ce sens le Pr Balleyguier. L'individualisation des photons permet de réaliser des acquisitions à 0,2 millimètre avec peu de bruit, une ultra-haute résolution qui offre la possibilité d'identifier de très petits détails – particulièrement

utiles dans l'imagerie du poumon, thoracique ou encore cardiaque. » Dans certains cas, comme le cancer du pancréas, le scanner spectral en ultra-haute résolution de l'abdomen va permettre de discriminer plus facilement l'extension tumorale, ce qui évite un double examen – à savoir un scanner conventionnel puis une IRM pour définir l'envahissement locorégional. « Cela nous apporte plus de fiabilité dans l'évaluation des contraindications à la chirurgie et un diagnostic plus rapide », souligne encore la radiologue. Une imagerie ultra-haute résolution génère un très grand nombre d'images, « plus de 3 000 pour un examen », détaille-t-elle. Il faut que le matériel informatique puisse assurer un post-traitement encore assez lourd ». La précision

de ce type de scanner sur la vascularisation est également très utile pour l'imagerie des lambeaux utilisée lors de la phase de reconstruction après le traitement d'un cancer ORL ou du sein.

Le développement des scanners à comptage photonique devrait ouvrir un nouveau champ des possibles, comme la possibilité de travailler avec plusieurs produits de contraste aux capacités de rehaussement des différents niveaux d'énergie. « Nous allons probablement avoir accès à un nouveau type d'image », confirme le Pr Balleyguier, dont les équipes planchent déjà sur des protocoles de recherche autour de la multi-énergie.

## Cancer pulmonaire : vers un scanner de dépistage à faible dose ?

Souvent diagnostiqué tardivement, le cancer du poumon est la principale cause de décès par cancer dans le monde. Or, le taux de survie est beaucoup plus élevé lorsque celui-ci est détecté à un stade précoce. À ce jour, il n'y a pas, en France, de dépistage organisé du cancer pulmonaire. Mais le développement de scanners moins irradiants qu'une radiographie thoracique pourrait changer la donne.

Plusieurs sociétés savantes – notamment aux États-Unis et en Europe – ont validé le recours à cette technique pour dépister les populations à risque, soit les fumeurs ou ex-fumeurs âgés de 55 à 74 ans. Les divers essais menés sur les deux continents montrent que « la tomographie à faible dose, lorsqu'elle est mise en œuvre de manière efficace, peut réduire de 20 % le nombre de décès dus au cancer du poumon »,

rapporte l'AP-HP sur son site. En 2022, la Haute Autorité de santé (HAS) a émis un avis favorable quant à la mise en place d'un programme pilote de dépistage organisé du cancer du poumon, sous la responsabilité de l'Institut national du cancer (INCa). En attendant son lancement, le ministère de la Santé et l'INCa financent depuis 2022 l'étude CASCADE (dépistage du Cancer du poumon par SCanner faible DosE), destinée aux femmes et coordonnée par l'AP-HP. L'objectif : évaluer la lecture des scanners par un seul radiologue, formé au dépistage et assisté par l'IA, versus une double lecture par des experts. Cette étude est l'un des dix programmes pilotes du projet européen SOLACE, un programme de promotion du dépistage du cancer du poumon par scanner faible dose. (Source: AP-HP)

## «IMAGER» SANS IRRADIER

Outil de caractérisation par excellence, l'imagerie par résonance magnétique (IRM) permet une exploration morphologique du corps humain. Ses derniers progrès en font un dispositif plus rapide et multimodal, utile du diagnostic au suivi de l'efficacité des traitements de lutte contre le cancer.



### DE LA THÉORIE...

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) réalise des vues précises de l'intérieur du corps en deux ou trois dimensions. Non invasif et non ionisant, cet examen offre la possibilité de visualiser les tissus mous (cerveau, moelle épinière, muscles, viscères...), leur structure anatomique (IRM anatomique) et leur fonctionnement (IRM fonctionnelle, perfusion...). Ses applications en cancérologie sont nombreuses : diagnostic, bilan d'extension tumorale, réponse au traitement, thérapie guidée par l'image, etc.

### À LA PRATIQUE

L'appareil d'IRM se compose d'un tunnel cylindrique de 1,60 à 2 mètres de long et de 70 centimètres de large, entouré d'un aimant très puissant.

Le patient, équipé d'une antenne réceptrice placée autour de la région à examiner, est positionné sur une table d'examen qui se déplace à l'intérieur du tunnel. Le champ magnétique généré par l'aimant aligne les noyaux (protons) d'hydrogène, éléments qui composent les molécules d'eau du corps humain (notre organisme étant constitué à 65% d'eau). Brièvement « excités » par une onde de radiofréquence, ces noyaux entrent en résonance. Leur retour à un état initial va donner lieu à l'émission d'une onde, le signal IRM. La vitesse à laquelle ils reviennent à leur orientation naturelle dépend de la densité des organes et des tissus qui composent le corps. Les antennes captent les champs électriques créés par les atomes d'hydrogène avant de les convertir pour recréer une image en 2D ou en 3D. Plus le signal électrique recueilli est fort, plus le point sur l'image IRM est blanc. À l'inverse, >>>

» un signal de faible intensité reste noir ou gris foncé. La visibilité de certains organes et vaisseaux et la détection des anomalies peuvent être améliorées par l'injection d'un produit de contraste (chélates de gadolinium) dans le sang du patient, qui va modifier les caractéristiques des tissus où il va se fixer.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

(À lire sur le sujet: le livret «*Innovation en imagerie*» dans la même collection)

Les principes de la résonance magnétique nucléaire (RMN), ancêtre de l'IRM, datent de 1945. Mais il aura fallu attendre jusqu'en 1973 pour voir les premières images. À cette époque, il faut compter une heure pour réaliser un seul cliché. La technologie a connu un important développement au cours des décennies 1980 et 1990, concomitamment au développement de l'informatique et de l'électronique.

Les premiers appareils commerciaux, qui apparaissent en 1983, délivrent une intensité de 0,5 à 1 tesla . Cette puissance – qui ne cessera d'augmenter – va permettre des temps d'acquisition toujours plus courts et l'essor, en 1990, de l'IRM fonctionnelle (IRMf). Cette dernière va jouer un rôle très important en oncologie, en offrant la possibilité d'étudier la mobilité des molécules d'eau dans le corps et, de cette façon, d'obtenir des informations sur la structure des tissus.

«*À ce jour, l'IRM n'a pas d'indication dans un cadre de dépistage du cancer*, souligne le Dr Pierre Leyendecker, médecin radiologue au sein du groupe

d'imagerie MIM à Strasbourg. *En revanche, elle est très utilisée dans la phase de diagnostic pour aller plus loin dans la caractérisation de la lésion.*»

## Confirmer un diagnostic et caractériser

Au fil des décennies, les différents développements de l'IRM vont trouver d'importantes applications, en oncologie notamment, via l'IRM de diffusion. Conceptualisée à la fin des années 1980, celle-ci permet la caractérisation du mouvement des molécules d'eau dans l'organisme. «*S'il y a une tumeur, la mobilité est altérée*, expose le médecin radiologue. *Les séquences IRM de diffusion permettent de mesurer cette altération et de détecter de manière très sensible la présence d'un cancer sans que ce ne soit spécifique. Depuis une dizaine d'années, ces IRM de diffusion, non irradiantes et rapides, sont réalisées sur le corps entier en oncologie. Il y a des indications notamment dans les cas de myélome ou pour le cancer de la prostate.*» Par ailleurs, lorsque la tumeur se développe, des parties de celle-ci peuvent se nécroser. La diffusion offre la possibilité de différencier un tissu sain d'un tissu mort (nécrose) ou d'un œdème.

L'IRM de perfusion s'est également développée, permettant de visualiser le passage d'un agent de contraste injecté par intraveineuse dans l'organisme. Cela permet de mesurer le volume et le débit sanguins, la perméabilité des vaisseaux à l'agent de contraste, etc. Autant d'informations qui permettent de mesurer la rapidité à laquelle

la tumeur se développe et aident les soignants à déterminer le meilleur emplacement pour une biopsie, par exemple. Elle est également utilisée après le traitement pour distinguer une tumeur d'un tissu cicatriciel, tout comme la spectroscopie . Associée à l'IRM, cette technologie ancienne permet de révéler les biomarqueurs métaboliques de certaines tumeurs.

## Guider le geste des radiothérapeutes

«*Les radiothérapeutes demandent de plus en plus d'IRM, notamment dans les cas de métastases cérébrales, avant de réaliser une radiothérapie par stéréotaxie car elle reste plus précise qu'un scanner de repérage*», observe le Dr Leyendecker. Depuis 2018, les industriels développent une modalité d'IRM embarquée dans un accélérateur de particules. Cette innovation, qui permet de réaliser une IRM et d'adapter le plan d'irradiation en temps réel, offre un gain de précision en se calant sur la lésion et non sur une image projetée de celle-ci. Elle a des indications notamment dans les cas de cancers de la prostate, cancer du sein, cancer du poumon ou encore cancer du foie (lire sur le sujet le chapitre «*Fusion d'images*», p.27-29).

Des études sont actuellement en cours au sein de l'Institut régional du cancer de Montpellier (ICM). Celles-ci portent sur la mise en place d'une IRM embarquée sur un accélérateur de radiothérapie et le développement d'un algorithme qui permettrait d'automatiser le système de guidage

1973

Premières images d'IRM de tissus humains

Années

1980

Mise au point de l'IRM de diffusion

1982

Installation des premiers IRM en France

1990

Essor de l'IRM de diffusion

2018

Développement des IRM embarquées dans un accélérateur de particules



par imagerie de la tumeur, grâce à la modélisation informatique des images issues du traitement des patients.

## L'IA, un outil au service de l'imagerie médicale

De manière plus générale, l'intelligence artificielle a grandement contribué à améliorer la reconstruction de l'image, en particulier à partir d'acquisitions en 3D. « *Le Deep Learning Reconstruction (DLR), apprentissage profond par des réseaux neuronaux, a permis au début des années 2020 de diminuer les temps de séquences d'au moins 30% environ, indique le D<sup>r</sup> Leyendecker. En dix ans, nous sommes passés de 30 à 10 minutes d'examen.* »

Le DLR améliore également la résolution spatiale des images et le contraste. « *Ces évolutions permettent de jouer sur différents paramètres et d'optimiser ce qu'on recherche*, poursuit le médecin radiologue. *L'IA a fait passer les coupes IRM d'environ 5 à 2 millimètres, ce qui offre désormais la possibilité de voir les nodules de toutes petites tailles.* »

11,7  
teslas

## Chiffre clé

C'est la puissance d'une IRM unique au monde mettant en œuvre un champ magnétique record grâce à un aimant de 132 tonnes et d'un diamètre de 5 mètres. Elle a été construite dans le cadre du projet franco-allemand Iseult / NeuroSpin par les équipes du Commissariat à l'énergie atomique.

Source : Commissariat à l'énergie atomique (CEA).

# UN DÉTECTEUR TEP DANS LE CHAMP D'UNE IRM

La tomographie par émission de positons (TEP), modalité d'imagerie fonctionnelle en 3D, permet de quantifier l'activité métabolique des cellules. Couplée à l'IRM, elle offre un large champ d'investigation qui accroît les capacités diagnostiques et de suivi thérapeutique des cancers.



## DE LA THÉORIE...

L'association de la tomographie à émission de positons (TEP) et de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) permet l'acquisition simultanée et en trois dimensions d'images moléculaires, métaboliques, anatomiques et fonctionnelles à l'échelle

du corps entier. La TEP mesure l'activité métabolique des cellules grâce aux radiotraceurs tandis que l'IRM, du fait de sa haute résolution et de son contraste élevé, apporte une vue très précise des tissus et de la localisation des anomalies. Cette machine hybride complète les autres modalités d'imagerie, notamment dans la réalisation de bilans

1950

Premiers prototypes de caméra à TEP

1990

Validation de l'utilisation clinique du FDG en cancérologie

2007

Premier prototype de TEP-IRM conçu pour l'imagerie cérébrale

2011

Premier système TEP-IRM corps entier commercialisé en France

oncologiques, dans la détection et la caractérisation des tumeurs cancéreuses, et dans l'exploration de l'encéphale.

## À LA PRATIQUE

L'examen TEP-IRM se déroule dans une structure d'IRM standard (voir sur le sujet le chapitre «IRM», p. 13-15). La différence repose sur la présence dans le tunnel de l'IRM d'un anneau de détection de la TEP. Les séquences IRM et l'acquisition des images TEP se font en même temps.

La TEP est une technique qui consiste à suivre, à l'aide d'une caméra à positons, le rayonnement (photons) émis par un traceur radioactif dont le patient reçoit une injection par intraveineuse une heure avant l'examen (à lire sur le sujet : le livret «Innovation en imagerie» dans la même collection). Dans le cas des cellules cancéreuses (grandes consommatrices de sucre), l'élément radioactif généralement utilisé est l'isotope 18 du fluor incorporé dans une molécule d'analogie de glucose, le fluorodésoxyglucose (FDG). Plus les cellules sont actives, plus elles vont consommer de glucose et plus il y aura d'émission de photons. Ainsi, la TEP permet de caractériser l'extension de la maladie chez les patients atteints d'un cancer.

Les séquences d'IRM sont adaptées à l'organe ou au corps entier, en fonction du protocole d'exploration et de la maladie. L'examen peut durer de 30 minutes à 1 heure 15 minutes. Les images sont ensuite analysées conjointement par un radiologue et un médecin nucléaire.



6

### Chiffre clé

C'est le nombre de machines TEP-IRM utilisées en France en 2021.

Source : Unicancer, 2021.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Le concept de machine hybride TEP-IRM a été proposé dès les années 1990. Le tout premier prototype a vu le jour en 2007 pour réaliser de l'imagerie cérébrale. C'est finalement en 2011 que le premier système TEP-IRM corps entier a été commercialisé en France. « *La combinaison de ces deux modalités implique un certain nombre de défis technologiques, puisque TEP et IRM interfèrent entre elles*, rapporte le Pr Alain Luciani, radiologue au CHU Henri Mondor de Créteil (Val-de-Marne). *Les tubes photomultiplicateurs utilisés par la TEP pour détecter les photons sont particulièrement sensibles au champ magnétique de l'IRM. La présence de détecteurs TEP dans le champ magnétique de l'IRM perturbe les antennes réceptrices, particulièrement sensibles au bruit électronique.* »

Les difficultés techniques de couplage de l'IRM et de la TEP ont amené les industriels à proposer plusieurs configurations TEP-IRM. Parallèlement, de nouveaux détecteurs insensibles au champ magnétique se sont développés, rendant finalement possible l'étude combinée d'informations anatomiques et métaboliques avec une haute résolution spatiale et un contraste élevé entre les tissus.

### Du diagnostic...

Peu d'établissements en sont encore équipés. En 2024, 200 appareils de TEP-IRM avaient été installés à travers le monde, dont huit en France pour un usage clinique et/ou de recherche – notamment

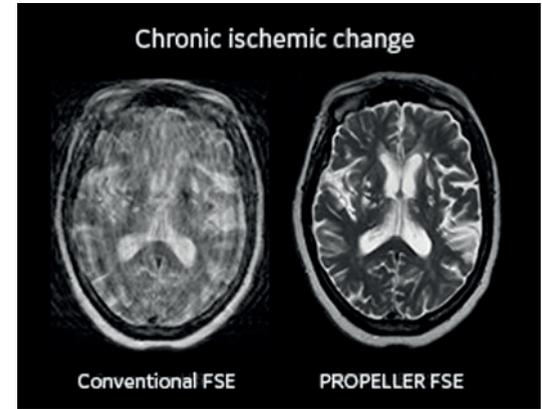
en neurologie, en cardiologie et en oncologie où ses applications cliniques sont nombreuses. « *Cette modalité d'imagerie multiparamétrique qui améliore la caractérisation des mécanismes liés à la progression tumorale permet d'être dans une approche diagnostique* », souligne le Pr Luciani.

Par exemple, la TEP-IRM est utilisée lors du diagnostic différentiel entre radionécrose (destruction d'une lésion) et récurrence tumorale. « *Après l'irradiation d'une tumeur cérébrale, il est difficile de distinguer s'il s'agit d'une récurrence ou d'une radionécrose*, explique le Pr Emmanuel Itti, médecin nucléaire au CHU Henri Mondor de Créteil. *La TEP-IRM est une aide au diagnostic qui peut permettre d'éviter dans certains cas de traiter à nouveau.* »

### Au pronostic

Sein, prostate, appareil digestif, cerveau, système immunitaire... La TEP-IRM apporte également des informations pronostiques. « *Elle permet de faire le pronostic d'une anomalie détectée pour ajuster d'emblée le traitement*, souligne le Pr Luciani, citant l'exemple du cancer du foie. *L'image IRM est supérieure à celle du scanner et la TEP fournit un pronostic sur la gravité de la tumeur.* » « *La TEP-IRM permet une meilleure évaluation de la réponse au traitement, qui ouvre la voie à une thérapie personnalisée* », complète le Pr Itti.

La combinaison TEP-IRM devrait permettre d'investir le champ de la recherche fondamentale de nouveaux biomarqueurs d'imagerie – ces indicateurs biologiques mesurant un état physiologique,



un processus pathogène ou encore la réponse à une intervention thérapeutique.

### Gagner en rapidité

La TEP-IRM permet également une amélioration du parcours patient, combinant deux examens en un. Dans certains cas, comme le cancer du foie, cette prise en charge thérapeutique plus rapide est intéressante, notamment pour un patient inscrit sur une liste de greffe hépatique.

La TEP-IRM n'en est qu'à sa première génération d'équipements. Les développements en cours se font notamment autour des perspectives offertes par l'intelligence artificielle. Et là aussi, il s'agit de gagner en rapidité. « *L'enjeu est désormais d'accélérer le temps de reconstruction de l'image et sa qualité*, estime le Pr Luciani. *Cela permettrait de passer d'une utilisation encore limitée de la machine à une utilisation plus massive.* »

## TEP-TDM CORPS ENTIER

# UNE DÉTECTION OPTIMISÉE DE L'IMAGERIE MOLÉCULAIRE

Technologie multimodale, la TEP-TDM est une modalité incontournable dans la prise en charge des cancers. Grâce à sa nouvelle déclinaison « grand champ », sa précision permet une acquisition instantanée corps entier, ouvrant la voie à des dépistages plus précoces, des acquisitions dynamiques et une approche plus personnalisée de la maladie.



### DE LA THÉORIE...

La combinaison de la tomographie par émission de positons (TEP ou *PET* en anglais) et du scanner TDM (tomodensitométrie) à rayons X permet de caractériser le fonctionnement des cellules au sein d'un organe. La TEP-TDM corps entier offre la possibilité d'explorer une grande partie du corps à un instant donné et de cartographier la présence de tumeurs cancéreuses et/ou de métastases, grâce à leur activité métabolique.

Selon la nature du cancer, elle peut être utilisée pour caractériser un nodule ou une anomalie, réaliser un bilan d'extension d'une tumeur connue afin d'optimiser sa prise en charge, puis planifier le traitement, évaluer la réponse thérapeutique ou encore diagnostiquer une éventuelle récurrence.

### À LA PRATIQUE

La TEP-TDM corps entier est un équipement de médecine nucléaire composé d'un grand nombre >>>

»» de détecteurs (grand champ de détection), ce qui permet d'éviter le déplacement du corps du patient dans l'appareil. En fonction de la taille du champ de détection, l'équipement offre la possibilité de couvrir la tête et le tronc voire l'ensemble du corps, y compris les membres inférieurs.

Pour détecter tumeurs et métastases, la TEP nécessite l'administration préalable d'une molécule traceuse d'intérêt associé à un isotope faiblement radioactif – également appelé radiopharmaceutique – dans le corps du patient. En cancérologie, l'un des plus utilisés est le fluorodésoxyglucose (FDG), dont le comportement est identique à celui du glucose. Les cellules cancéreuses ayant une activité particulièrement importante, elles vont en effet consommer bien plus d'énergie – et donc de glucose – qu'une cellule saine.

Le FDG va se concentrer au niveau de la tumeur et/ou de ses extensions, et émettre des rayonnements visibles par les détecteurs de la TEP, reprenant le principe de la scintigraphie (*lire sur le sujet: le livret « Innovation en imagerie » dans la même collection*). Parallèlement, la TDM va « balayer » le corps du patient d'un faisceau de rayons X pour réaliser des centaines d'images en coupe, permettre la localisation anatomique des tissus présentant une anomalie métabolique ainsi que la correction de l'image – en particulier des effets de l'atténuation des rayonnements par le corps. Les images de la TEP et celles de la TDM sont superposées par un ordinateur et reconstituées en images 3D avant d'être interprétées par un médecin nucléaire.



## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Si les premiers tomographes à émission de positons (TEP) et les premiers scanners ont été construits au cours de la décennie 1970, il aura fallu attendre les années 2000 et le développement d'ordinateurs suffisamment puissants pour que ces deux modalités d'imagerie soient réunies. « Cette association a eu pour objectif de permettre de mieux localiser les anomalies vues via la TEP », souligne Pierre-Yves Salaün, chef du service de médecine nucléaire et d'imagerie moléculaire du CHU de Brest.

Le tout premier appareil de TEP-TDM corps entier a été présenté courant 2018 par des chercheurs

californiens: il peut permettre une acquisition en quelques dizaines de secondes, ou encore de réduire de plusieurs dizaines de fois l'activité injectée par rapport aux machines existantes. « L'augmentation du nombre de détecteurs autour du patient a, de fait, augmenté considérablement le champ de vue et la sensibilité », indique le Pr Salaün. Il est possible de voir tous les organes d'intérêt – de la tête aux pieds – en même temps, sans avoir à faire d'acquisitions séquentielles. »

Le gain de sensibilité a été multiplié au point de rendre visible de toutes petites lésions, même celles qui captent moins le produit de contraste. L'acquisition peut se faire en quelques secondes, contre 45 minutes tout au long des années 2000. « Détecter dix fois plus de signal permet d'être dix fois plus rapide ou d'administrer dix fois moins de traceurs », poursuit le Pr Salaün. La TEP-TDM ouvre des perspectives, notamment en tant qu'outil d'imagerie à très faible dose d'irradiation pour le dépistage du cancer. »

## Diagnostic, pronostic et récidive

« Cette avancée technologique ne peut être dissociée des recherches autour des radiopharmaceutiques », souligne le Pr Frédéric Courbon, chef du département d'imagerie médicale de l'Institut universitaire de cancérologie de Toulouse (IUCT). Leur développement concomitant élargit considérablement les perspectives de la médecine nucléaire dans la prise en charge des cancers. « L'un d'eux, le 18-FDG, n'est

1950

Premiers prototypes de caméra à TEP

1990

Validation de l'utilisation clinique du FDG en cancérologie

2000

Fabrication des premiers TEP-scan

2002

Apparition du terme «théranostique» aux États-Unis

2018

Présentation du premier TEP-scan corps entier ou «grand champ»

*pas spécifique aux tumeurs, mais très performant pour identifier une anomalie détectée lors d'un précédent examen, distinguer la nature d'une tumeur et mieux caractériser les lésions. Il permet de réaliser un bilan d'extension de la maladie afin de déterminer si elle est locale, régionale, métastatique à distance ou encore ganglionnaire.»*

Lors de thérapies, la TEP-TDM permet d'identifier plus précisément la cible, «car toutes les cellules d'une tumeur n'ont pas la même activité, rappelle le P<sup>r</sup> Courbon. La captation est proportionnelle à l'activité proliférative et au nombre de cellules viables dans une tumeur. Il y a encore peu de temps, nous n'utilisions que le FDG. Désormais, dans certains cas, il est possible de recourir à d'autres analogues, comme des hormones pour les bilans d'extension et la surveillance des tumeurs endocrines». La TEP a également des indications pronostiques. «Certaines tumeurs, notamment au niveau de la prostate ou de la thyroïde, peuvent proliférer longtemps sans fixer le glucose. Lorsque ces tumeurs commencent à devenir positives au 18-FDG, nous savons alors qu'elles sont déjà très agressives et qu'il faut agir vite.»

## Imagerie dynamique

La TEP-TDM corps entier permet également de faire de l'imagerie dynamique. «Actuellement, le produit est injecté une heure avant que l'image ne soit faite. Tout ce qui se passe entre l'injection et la mesure n'est pas connu, expose le P<sup>r</sup> Salaün. Un processus inflammatoire et un cancer ne vont pas capter le produit injecté de la même façon. Pour autant, ils peuvent avoir le même niveau de fixation une heure après l'injection. En faisant des acquisitions dynamiques, la distribution du produit dans l'organisme se voit en temps réel. Ce qui permet d'obtenir des images paramétriques telles que la vitesse de captation, la manière dont la substance radioactive se fixe dans les différents tissus, etc.» Des informations intéressantes pour mesurer l'efficacité d'une thérapie et évaluer la maladie résiduelle.

«Le cancer est une maladie qui récidive, souligne le P<sup>r</sup> Courbon. Si l'on perçoit une anomalie, il faut être en mesure de dire s'il s'agit d'une récidive ou d'une cicatrice. Or une cicatrice issue d'une inflammation ou d'un cancer résiduel va capter le glucose de >>>



»»» la même façon au début. La dynamique de captation observée grâce à l'imagerie dynamique de la TEP-TDM offre une réponse plus rapide.»

À terme, l'imagerie dynamique devrait amener une autre évolution: l'acquisition en un seul examen des images de différents traceurs injectés quasiment simultanément. Et au Pr Courbon de conclure: « Ce type d'acquisition dynamique permettrait de faire trois images quasiment en même temps et en un seul examen. Au-delà du gain de temps, cela permettrait



d'utiliser des traceurs différents qui seront des expressions biologiques différentes d'un cancer. Nous aurions ainsi des indications sur l'évolution et le fonctionnement propre des tumeurs et des métastases.»

## Théranostique : vers un traitement personnalisé

Contraction de « thérapie » et de « diagnostic », la théranostique, née dans les années 2000 aux États-Unis, étudie le comportement spécifique d'une tumeur dans le but de choisir le traitement le plus adapté. Car la réponse thérapeutique à un même type de cancer peut être différente d'un patient à l'autre. Ainsi, le principe de la théranostique repose sur l'association d'un test diagnostique qui va permettre d'étudier, via la TEP-TDM, l'activité tumorale d'un patient et une thérapie ciblée qui lui sera adaptée.

« Si un radiopharmaceutique se met spécifiquement sur un récepteur et que nous pouvons en faire une image, nous sommes dans le diagnostic, illustre le Pr Frédéric Courbon, chef du département d'imagerie médicale de l'Institut universitaire de cancérologie de Toulouse. Si nous associons à ce radiopharmaceutique un autre isotope qui va irradier de l'intérieur les cellules cancéreuses, nous faisons de la thérapie. Cette thérapie vectorisée interne a toujours été utilisée en médecine nucléaire. Ce qui change aujourd'hui, c'est le recours à des radiopharmaceutiques innovants. »

Dans le cas du cancer de la prostate, par exemple, les patients peuvent désormais bénéficier, sous certaines conditions, de l'isotope radioactif Lutetium-177 couplé à l'antigène prostatique spécifique (PSMA), une protéine très présente dans les cellules cancéreuses de la prostate.

Aujourd'hui, cette démarche est utilisée pour diagnostiquer et traiter le cancer de la thyroïde, du foie, les tumeurs neuroendocrines (TNE) et certaines métastases osseuses; mais elle se développera pour les cancers du sein, du rein, etc. « Cette stratégie améliore la survie des patients, notamment dans les cas de tumeurs endocrines, mais la maladie tumorale est compliquée et génère ses propres moyens de résistance », rappelle le Pr Courbon.

Source: *Théranostique, vers une médecine nucléaire personnalisée*. « Un nouveau concept médical en médecine nucléaire », Exposition réalisée par l'Accélérateur pour la Recherche en Radiochimie et Oncologie à Nantes Atlantique – ARRONAX, avec le concours de Terre des Sciences, de l'Institut de Cancérologie de l'Ouest.

## MAMMOGRAPHIE

# UN DÉPISTAGE TOUJOURS PLUS PRÉCOCE

Née il y a presque un siècle, la mammographie est devenue l'examen de référence pour le dépistage systématique du cancer du sein. Les progrès techniques n'ont en effet cessé d'améliorer la précision et la précocité des diagnostics.



### DE LA THÉORIE...

La mammographie est un examen radiologique des seins. Réalisée à l'aide d'un appareil dédié appelé « mammographe », elle permet d'obtenir des images de la structure interne du sein et d'en détecter les anomalies (masse, modification dans le tissu mammaire, microcalcification, etc.). Plusieurs cas de figure peuvent conduire à la réalisation d'une mammographie : le dépistage organisé du cancer du sein, le dépistage individuel, ou lorsqu'une anomalie ou une suspicion est détectée. Son rôle dans la détection précoce de la pathologie est prépondérant. Aujourd'hui, le taux de survie à cinq ans après un diagnostic précoce est de 99%.

### À LA PRATIQUE

La mammographie consiste à compresser les tissus mammaires dans le but de les étaler avant de les passer aux rayons X. De cette façon, les structures qui se superposent sont séparées, les flous des mouvements réduits et la précision des détails augmentée. Cette technique permet de réduire la quantité de radiation et d'améliorer la qualité des images. L'image de l'architecture du sein est formée par la différence d'absorption des rayons X par les tissus mammaires. Ces derniers ayant un contraste peu élevé, c'est leur désorganisation qui met en évidence la présence de lésions, de masses ou encore de foyers de microcalcifications. >>>

1966

Mise en service du « sénographe », première unité entièrement dédiée à la mammographie

Années  
1980

Développement de la mammographie numérisée

2003

Apparition de l'angiomammographie

2004

Généralisation à tous les départements français du dépistage organisé du cancer du sein en France

»» En dépistage, deux radiographies par sein sont réalisées – une de face et une en oblique – et des incidences supplémentaires peuvent être nécessaires en diagnostic.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

En 1913, Albert Salomon, chirurgien allemand, est le premier à détecter le cancer du sein à l'aide de rayons X, une technologie découverte en 1895. Trente ans plus tard, une nouvelle étape est franchie lorsque Raul Leborgne, radiologue uruguayen, démontre l'intérêt de la compression du sein pour améliorer la qualité de l'image et mieux identifier les lésions. À la fin des années 1960, Charles-Marie Gros, professeur à la faculté de médecine de Strasbourg, reprend ce système de compression pour mettre au point, aux côtés de la Compagnie générale de radiologie, la première unité dédiée à la mammographie. Le radiologue remplace le tungstène présent dans le tube à rayons X par du molybdène, un métal qui donne la possibilité d'utiliser un niveau de rayonnement plus

faible et, par conséquent, d'obtenir un contraste plus élevé entre le tissu, la graisse et les lésions. Cette modalité d'imagerie va étendre une pratique restée jusqu'alors l'apanage de quelques centres spécialisés à travers le monde: la prise en charge du cancer du sein. Dans le même temps, le Pr Gros et d'autres précurseurs créent la sénologie, spécialité dédiée aux pathologies du sein.

## L'avènement du dépistage

Analogiques, les premières mammographies sont prises au moyen de rayons X avant d'être développées sur des films argentiques. Cette technologie connaît des évolutions jusqu'aux années 1990, notamment grâce à une meilleure qualité des films argentiques et à l'utilisation de grilles anti-diffusantes – améliorant le contraste de l'image radiographique – et de foyers spécifiques d'émission des rayons X – améliorant la détection des anomalies mammographiques.

La mammographie numérisée par plaque arrive à la fin des années 1980, alors que les premières

campagnes de dépistage du cancer du sein sont organisées en France. Début 2000, des systèmes de mammographie numériques font leur apparition. Des capteurs convertissent directement les rayons X en un signal électrique qui sera numérisé. Cette technologie 2D permet d'obtenir une meilleure qualité d'images à des doses d'exposition plus faibles que la mammographie analogique. Elle devient l'examen de référence lors des dépistages – lesquels seront généralisés à partir de 2004 pour les femmes âgées de 50 à 74 ans. À ce jour, le principal cancer féminin reste celui du sein.

## Le sein en 3D

Au cours des vingt dernières années, l'imagerie mammaire numérique a connu plusieurs avancées technologiques, dont l'avènement de la tomosynthèse (2008). Il s'agit d'un mammographe constitué d'un tube ou bras à rayons X mobile qui effectue un arc de cercle (de 15 à 60 °C selon les machines) au-dessus du sein. Ce qui permet l'acquisition à basse dose de rayons X d'une série d'images

2008

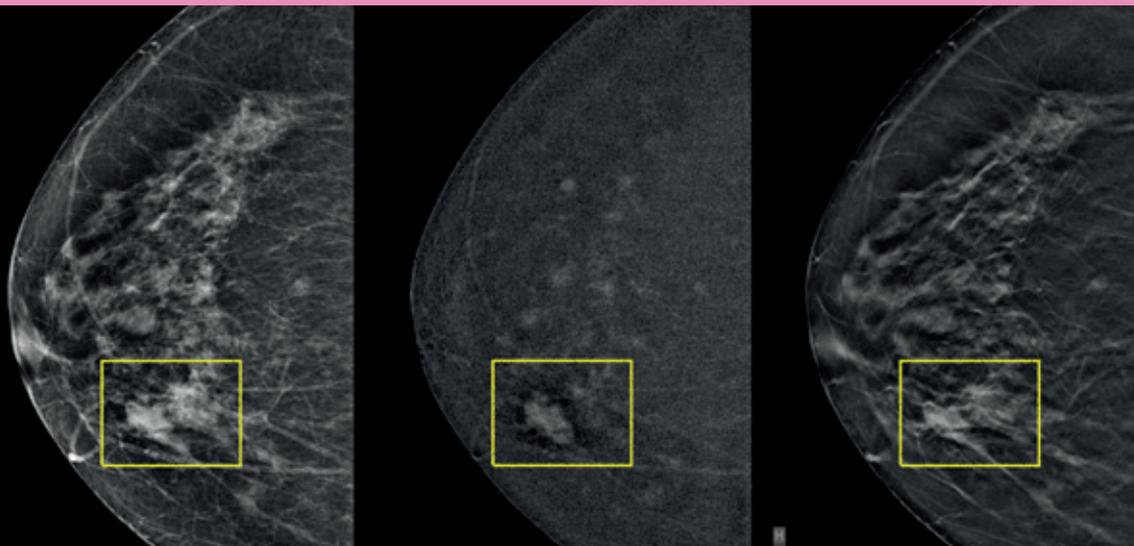
Première tomosynthèse mammaire en 3D

2010

Apparition de l'angiomammographie double énergie

2021

Premières solutions d'IA nouvelle génération validées pour la mammographie



61 214

### Chiffre clé

C'est le nombre de nouveaux cas de cancer du sein dénombrés en France métropolitaine au cours de l'année 2023.

Source : « Panorama des cancers en France », édition 2024, INCa.

mammographiques en 2D, sous différents angles. Des coupes sont reconstruites grâce à un algorithme pour donner un sein en 3D. Une technique qui permet au radiologue de se déplacer virtuellement dans le volume du sein, millimètre par millimètre.

« Par rapport à la mammographie 2D, la tomosynthèse évite les superpositions qui peuvent engendrer des difficultés pour déceler certaines anomalies, souligne le D<sup>r</sup> Isabelle Doutriaux-Dumoulin, radiologue à l'Institut de cancérologie de l'Ouest (ICO). Elle augmente la détection et la spécificité. Elle est plus sensible que la mammographie pour détecter les tumeurs dans des seins denses, par exemple. La tomosynthèse est devenue incontournable en diagnostic. En revanche, les études n'ont pas encore montré d'impact sur une diminution significative du taux de cancer du sein de l'intervalle, ces cancers qui surviennent entre deux mammographies et grèvent la performance du dépistage organisé. » À ce jour, aucun pays n'a encore intégré la tomosynthèse dans le dépistage organisé. En 2023, la Haute Autorité de santé (HAS) a recommandé « l'intégration de la mammographie par tomosynthèse dans le dépistage organisé du cancer du sein, à condition qu'elle soit systématiquement associée à la reconstruction d'une image 2D synthétique ». Une décision qui ne fait pas consensus au sein de la communauté médicale et scientifique.

### Renforcer la détection

Une application de la mammographie numérique s'est développée au fil des ans : l'angiomammographie. Cet examen d'imagerie utilise la double >>>

»» énergie en combinant une mammographie numérique avec une injection de produit de contraste iodé. Il peut être réalisé à partir d'un mammographe auquel un module a été ajouté. «Le principe est fondé sur la recombinaison de deux images: un cliché de haute énergie, qui permet d'obtenir les informations sur les structures vascularisées (prise de contraste iodée), et un cliché de basse énergie (comparable à celui d'une mammographie classique) pour les informations morphologiques. La soustraction numérique permet de mettre en évidence les structures hypervascularisées», détaille la HAS.

L'angiommammographie présente plusieurs avantages, en particulier le fait de pouvoir détecter des cancers qui ne sont pas visibles en mammographie ou en échographie. Sa sensibilité est équivalente à celle de l'IRM, tandis que sa spécificité et

son accessibilité sur le territoire sont meilleures. «En 2021, la Haute Autorité de santé (HAS) a précisé le champ d'application de l'angiommammographie, la présentant comme une alternative à l'IRM dans le bilan d'extension locorégional du cancer du sein pour l'évaluation de la taille tumorale et dans le cas d'une évaluation avant et après une chimiothérapie néoadjuvante, précise le Dr Doutriaux-Dumoulin. Elle est également l'alternative à l'imagerie par résonance magnétique pour les personnes ayant des contre-indications à l'IRM mammaire.»

Peu avant 2020, l'angiommammographie a fait son entrée dans l'arsenal à disposition des médecins sénologues pour guider et réaliser des biopsies du sein. Mais celle-ci reste une option parmi d'autres, ces dernières pouvant également être réalisées sous guidage mammographique, IRM ou échographique.

## IA et confiance diagnostique

Les prochaines grandes évolutions viendront probablement de l'intelligence artificielle (IA). En août 2023, le *Lancet Oncology* a publié les résultats d'une vaste étude menée par Kristina Lång, chercheuse au centre de lutte contre le cancer de l'université de Lund, en Suède. Celle-ci montre que l'analyse des résultats de la mammographie par une IA et un médecin est aussi efficace qu'une analyse menée par deux médecins sans recours à l'IA. «À terme se pose la question de la place de cette IA. Doit-elle intervenir au niveau du premier ou du second lecteur?», interroge le Dr Doutriaux-Dumoulin. Toujours selon cette étude, l'IA améliorerait la précision de la détection du cancer de plus de 8%, mais les résultats restent insuffisants pour envisager son déploiement dans les mammographies de dépistage.

## De l'IRM à l'échographie: les modalités complémentaires

D'autres modalités d'imagerie peuvent compléter une mammographie. Depuis les années 1990, une échographie peut être réalisée après une mammographie. Elle permet une meilleure caractérisation des anomalies présentes à l'intérieur du sein, renforçant la précision et la précocité du diagnostic. Elle est notamment indiquée dans l'exploration des seins denses ou des anomalies palpables sans traduction mammographique, dans l'examen de première intention chez les femmes jeunes et pour le guidage de prélèvements percutanés. Depuis peu, l'échographie mammaire est couplée à l'élastographie. Cette technique évalue

la dureté des tissus, les lésions malignes étant généralement plus dures et moins déformables que les lésions bénignes. Autre modalité complémentaire: l'IRM, qui peut être utilisée, comme le rappelle l'Institut national du cancer (INCa) sur son site Internet: «Pour faire la différence entre une anomalie bénigne et une anomalie cancéreuse dans le cadre du dépistage des femmes à haut risque de cancer du sein»; «lorsque l'imagerie standard (mammographie ou échographie) ne permet pas de conclure avec certitude à l'absence de malignité»; ou encore, «pour guider le prélèvement d'une biopsie».

## FUSION D'IMAGES

# UNE APPROCHE CIBLÉE POUR GUIDER LE GESTE

En permettant une meilleure localisation des lésions, la fusion d'informations obtenues à partir de modalités d'imagerie morphologique et/ou fonctionnelle augmente les chances de détection du cancer et ouvre la voie à un traitement toujours plus ciblé.



### DE LA THÉORIE...

La fusion d'images consiste à mettre en correspondance ou « recaler » des vues issues d'une même modalité d'imagerie (fusion monomodale) acquises à des instants différents, ou des images issues de plusieurs modalités d'imagerie telles que la tomodensitométrie, l'IRM, les ultrasons ou la tomographie par émission de positons (fusion multimodale). La combinaison d'informations issues des images fusionnées offre la possibilité de mieux repérer une lésion, d'en préciser les contours et de suivre son évolution. Cette approche plus ciblée est très utile pour guider le geste du radiologue interventionnel ou du chirurgien, notamment dans les cancers du foie et de la prostate. Elle ouvre des perspectives sur de nouvelles possibilités de traitement des tumeurs et métastases cancéreuses.

### À LA PRATIQUE

De manière générale, la fusion d'images associe le recalage d'une image dans une autre à une méthode de visualisation. En temps réel ou différé, la fusion des données issues d'une ou plusieurs modalités d'imagerie s'appuie, la plupart du temps, sur des algorithmes et logiciels de pointe. Plusieurs techniques (externes ou implémentées dans le dispositif médical) coexistent selon l'usage et la ou les modalités utilisées.

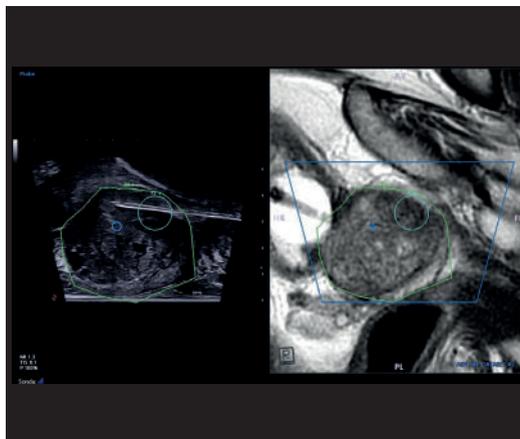
S'il n'y a pas de déformation entre les différentes modalités mises en correspondance, la fusion peut alors être rigide. « *Le recalage est réalisé à partir de points sélectionnés dans l'image*, explique le D<sup>r</sup> Éric Potiron, chirurgien urologue au sein de la Clinique urologique Nantes Atlantis. *Tout ce qui est autour se superpose sans tenir compte d'une éventuelle déformation. C'est une technique rapide* >>>

»»» mais qui présente un risque d'imprécision de 1 à 2 centimètres.»

Autre possibilité : la fusion dite «élastique». Elle met en correspondance les images en fusionnant les volumes de chaque entité en 3D, les «voxels» (contraction de volume et pixels). « Cette technique permet de tenir compte des déformations liées à la position de l'organe, à la présence de la sonde échographique, etc. Les algorithmes compensent la déformation, réduisant l'imprécision à 1 ou 2 millimètres.» Enfin, une fusion cognitive (estimation visuelle) peut également être envisagée. L'opérateur repère la région cible à l'aide d'une modalité d'imagerie, avant de la transposer mentalement sur l'image d'une seconde modalité.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Les premiers essais de fusion d'images menés en radiologie datent des années 1980 et 1990. Les chercheurs explorent alors les méthodes pour combiner les informations issues de différentes modalités d'imagerie dans le but d'améliorer le diagnostic et la planification du traitement. Dès lors, les évolutions des techniques et des algorithmes n'ont cessé de faire avancer la fusion d'image. Elle est aujourd'hui une composante indispensable de nombreuses applications d'imagerie médicale. Depuis 2010, bon nombre d'établissements de soins équipent des salles opératoires d'appareils d'imagerie combinant plusieurs modalités d'imagerie. Couplés à des logiciels capables de fusionner des images pré- et peropératoires en 2D, 3D



et 4D, ils fournissent des informations en temps réel sur les zones où il est nécessaire d'intervenir (lire sur le sujet : le livret « Innovation en imagerie » dans la même collection).

## Corréler, cibler, préciser

Si l'échographie fait bien souvent figure de technique reine pour guider le geste du radiologue ou du chirurgien, il est parfois nécessaire d'y associer d'autres techniques. « Dans le cas du cancer de la prostate, l'échographie réalisée avant les prélèvements au sein de la glande permettait de voir l'organe mais pas le cancer, rappelle le Pr Pierre Mozer, chirurgien-urologue au sein de l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière. La sonde était placée dans le rectum et le médecin faisait une représentation cognitive tridimensionnelle de la glande avant d'effectuer des prélèvements finalement assez aléatoires.»

Au début des années 2000, l'IRM a fait la preuve de sa très bonne sensibilité et spécificité en permettant de visualiser les lésions à l'intérieur de la prostate et de les cibler. « La biopsie réalisée dans l'anneau de l'IRM est, d'un point de vue opérationnel, difficile en soin courant », poursuit le Pr Mozer. Dans les années 2010, se développe la fusion entre image IRM et échographie. La lésion visible à l'IRM peut désormais être superposée à l'échographie. Les dispositifs les plus récents permettent de fusionner en temps réel et de façon élastique les images IRM avec les images échographiques 3D permettant de guider la réalisation des biopsies. « Cette technique permet aujourd'hui de diagnostiquer le cancer de manière plus précise pour mieux orienter la prise en charge clinique, souligne le Pr Mozer. Fin 2023, la HAS a émis un avis favorable à la réalisation de la biopsie ciblée dans le diagnostic du cancer de la prostate. » Une étude multicentrique est actuellement menée en France pour évaluer l'intérêt de la fusion d'images IRM avec d'autres modalités d'imagerie, telles que le TEP scan au PSMA, combinant imagerie fonctionnelle et anatomique.

## Des patients au centre de l'image

« Par la fusion d'images, la biopsie ciblée permet de préciser l'interprétation et, de ce fait, de proposer des stratégies thérapeutiques adaptées au patient », explique le Dr Potiron. Dans le cas du cancer de la prostate, le traitement focalisé est en cours d'évaluation. Mais de manière générale, la fusion d'images

Années  
1980

Premiers essais de fusion d'images  
en radiologie

2010

Développement de la fusion  
IRM-échographie pour guider  
la biopsie de la prostate



24%

### Chiffre clé

C'est la proportion des cancers de la prostate sur  
l'ensemble des cancers incidents masculins.

Source : « Panorama des cancers en France », édition 2024, INCa.

offre une place grandissante à l'imagerie dans le champ de la radiothérapie, notamment conformationnelle (mise en correspondance entre le volume sur lequel vont être dirigés les rayons et le volume de la tumeur, grâce à des images en 3D de la tumeur et des organes avoisinants).

La fusion d'images est notamment utilisée dans les scanners de centrage, un dispositif qui permet de définir et de répartir la dose délivrée sur les cibles tumorales en évitant les organes à risque. Elle permet également de déterminer la position optimale du patient pendant toute la durée du traitement.

### IA et fusion

Les avancées dans le domaine de l'apprentissage automatique et de l'intelligence artificielle (IA) investissent également la fusion d'images. Plusieurs études ont montré qu'un système d'IA basé sur des réseaux de neurones profonds offrait une excellente discrimination entre des échantillons malins et bénins issus de biopsies de la prostate. « L'IA n'est pas encore utilisée en pratique courante mais cela ne saurait tarder, souligne le Dr Potiron. Des études sont en cours sur l'usage de l'IA en IRM. Les algorithmes sont entraînés à reconnaître la prostate, la contourer pour la différencier du reste. L'IA étudie ce qu'il y a à l'intérieur de la prostate avant de proposer un score de probabilité de tumeur, de faible à haut risque. Cela peut être utile, car il y a une hétérogénéité dans l'interprétation. À terme, l'IA pourra épauler ou conforter le professionnel de santé dans sa prise de décision. »

# LE DÉPISTAGE, CLÉ DU REPÉRAGE PRÉCOCE

Dépister permet de diagnostiquer certains cancers avant même l'apparition de symptômes. C'est aussi parfois l'occasion de repérer et traiter des anomalies qui auraient pu évoluer vers un cancer.

Concrètement, « *le dépistage est un ensemble d'examens ou de tests réalisés auprès de personnes qui sont, a priori, en bonne santé* », résume la Caisse nationale de l'Assurance Maladie (Cnam). Il s'agit, par exemple, de la mammographie pour le dépistage du cancer du sein, complétée si nécessaire par une échographie. À noter qu'il n'est pas encore possible de dépister tous les types de cancer. En effet, encore faut-il qu'un « test adapté » soit disponible et/ou que le dépistage présente « *plus d'avantages que d'inconvénients* », rappelle la Cnam.

### Sein, col de l'utérus, côlon-rectum

Il existe en outre deux modalités de dépistage : « individuel » ou « organisé » par les pouvoirs publics. Dans l'Hexagone, le dépistage du cancer du sein est ainsi proposé tous les deux ans aux femmes âgées de 50 à 74 ans. Deux autres programmes de dépistage sont organisés : celui du cancer du col de l'utérus (frottis), recommandé « *tous les trois ans chez les femmes de 25 à 30 ans (après deux tests normaux réalisés à un an d'intervalle)* » puis « *tous les cinq ans chez les femmes âgées de 30 à 65 ans* » ; et celui du cancer colorectal, « *recommandé tous les deux ans pour toutes les personnes âgées de 50 à 74 ans* ».

Ce dernier « *repose sur un test immunologique qui vise à déceler la présence de sang humain dans les selles* » et peut être réalisé à domicile, détaille l'Assurance maladie. « *S'il est détecté tôt, le cancer colorectal se guérit dans 9 cas sur 10* », poursuit-elle. Pour les personnes présentant des facteurs de risque particuliers (antécédents personnels ou familiaux, par exemple), une surveillance spécifique est proposée.

### Dépister n'est pas diagnostiquer

Lorsqu'une anomalie est décelée, « *des examens complémentaires plus approfondis sont nécessaires* » pour confirmer ou non la suspicion de cancer. « *Seuls le prélèvement et l'analyse des cellules et tissus concernés (examens anatomopathologiques) permettent de poser un diagnostic avec certitude* » pour pouvoir ensuite démarrer, dès que possible, le traitement approprié, insiste l'Institut national du cancer (INCa). Au-delà du dépistage, l'autre moyen d'aboutir à un diagnostic précoce est la détection, au plus tôt, « *de symptômes ou de signes d'alerte* » (douleurs, problèmes respiratoires, digestifs ou urinaires, saignements, ulcérations, polypes, perte de poids inexpliquée, modification d'un grain de beauté, grosseur, etc.). Il existe, dans ce cas, divers examens pour en déterminer l'origine.

## DISPOSITIFS D'ENDOSCOPIE

# L'ENDOS- COPIE AU SERVICE DU DÉPISTAGE

Observer le corps «directement de l'intérieur» et sans inciser : tel est l'apport de l'endoscopie qui, au fil des décennies, s'est considérablement perfectionnée.



Procédure interventionnelle en situation

### DE LA THÉORIE...

Réalisée à l'aide d'un fin tube rigide ou souple équipé d'une mini-caméra, l'endoscopie permet d'inspecter, *via* les voies naturelles, «*les muqueuses et l'intérieur des organes creux*» à l'aide d'un endoscope ou fibroscope, synthétise le Pr Mathieu Roumiguié, chirurgien urologue au sein du département d'urologie du CHU de Toulouse.

### À LA PRATIQUE

Elle trouve des applications en urologie (on parle de «cystoscopie» pour l'observation de la vessie et de l'urètre, ou d'«urétéroscopie» pour l'examen des uretères, des bassinets et des cavités rénales), comme en gynécologie et en gastro-entérologie. «*Avec près de 90 000 cas par an, les cancers d'origine digestive sont les cancers les plus fréquents dans notre pays*»,

rappelle la Société française d'endoscopie digestive (SFED). Selon ses données, «*la grande majorité d'entre eux peut être dépistée par l'endoscopie digestive*» – à savoir le cancer colorectal (43 500 cas par an), le cancer de l'estomac (6 500 cas par an), le cancer de l'œsophage (5 500 cas par an) ou encore le cancer du canal anal (2 000 cas par an).

Le «*cancer du pancréas, avec plus de 14 000 cas annuels*» peut pour sa part être dépisté par «*la surveillance des lésions précancéreuses du pancréas par échographie, scanner, IRM*» mais aussi par «*échodopie*», à l'aide d'un endoscope surmonté d'une sonde d'échographie. Depuis quelques années, il existe des dispositifs miniaturisés de type vidéocapsules qui, à l'aide d'une ou plusieurs caméras, permettent de visualiser la muqueuse de l'intestin grêle et du côlon pour détecter d'éventuels polypes, lésions précancéreuses, cancers superficiels ou tumeurs avancées.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

La généralisation de l'endoscopie, dès les années 1980, est rendue possible grâce à la mise au point d'endoscopes articulés ou semi-flexibles, à l'essor de la fibre optique et à la conception de systèmes d'éclairage adaptés. Des étapes indispensables pour faciliter le « voyage » au cœur du corps humain *via* les voies naturelles. Puis le développement de capteurs d'images de plus en plus précis permet, dans les décennies suivantes, de voir avec de plus en plus d'acuité... et de « profiter » de l'examen pour effectuer des prélèvements pour analyse, à l'aide d'instruments de plus en plus miniaturisés, voire des résections.

Depuis les années 1990, l'hystéroscopie est ainsi utilisée en routine en gynécologie pour détecter d'éventuelles lésions ou tumeurs. Peu traumatisante pour les patientes, elle peut être proposée en ambulatoire. Et des progrès similaires sont constatables en gastro-entérologie et en urologie.

## L'intérêt des filtres de lumières

« Pour l'observation de la vessie, par exemple, la tendance est aujourd'hui à l'utilisation de cystoscopes à usage unique ou avec filtres de lumières pour faciliter l'observation de la vascularisation des tissus et la détection des lésions tumorales », explique le Pr Roumiguïé. Par exemple, l'interposition d'un filtre entre la source lumineuse et le tissu éclairé (technique du *narrow-band imaging* ou NBI en anglais) a permis « d'améliorer, dans l'appareil

urinaire, la visualisation des tumeurs et lésions non visibles en lumière blanche », précise-t-il.

En parallèle, la cystoscopie en fluorescence s'est développée « dès 2010-2012 ». Elle « utilise un produit photosensible qui est introduit dans la vessie à l'aide d'une sonde vésicale ». Absorbé dans les couches superficielles de l'organe, le produit en question émet, sous l'effet de la lumière bleue, « une lumière rose-rouge » en cas de cellules cancéreuses, « blanche » en cas de cellules normales, détaille le Pr Roumiguïé. « Cette technique est indiquée en complément de la cystoscopie conventionnelle en lumière blanche » et s'avère être « plus efficace en cas de tumeurs de haut risque - notamment de tumeurs planes, souvent très difficiles à détecter », souligne-t-il.

## Essor de l'endoscopie par capsules

Quid des zones plus difficilement atteignables ? Dès 2001, un système de vidéocapsules est lancé pour une exploration complète de l'intestin grêle. Une solution née en Israël pour identifier la cause de saignements, détecter des lésions ou polypes... qui a évolué dès 2006 pour faciliter l'exploration du côlon, au diamètre plus large (à l'aide de deux caméras) ! Concrètement, les patients (enfants de plus de 8 ans ou adultes) se voient poser à la ceinture un petit boîtier chargé, par radiofréquence, d'enregistrer les deux à six images en couleur captées chaque seconde par une caméra miniature intégrée dans une capsule allant de 24,8 mm

sur 10,5 mm à 31 mm sur 11 mm. La capsule est avalée au préalable ou larguée dans le tube digestif à l'aide d'un endoscope. Les patients sont ensuite renvoyés à leur domicile, le temps que la capsule transite de l'œsophage au côlon, avant d'être évacuée dans les selles.

La technique ne nécessite aucune anesthésie générale, ce qui la rend intéressante pour les patients pour lesquelles cette dernière est contre-indiquée. Seule une préparation du côlon est nécessaire, lorsque son exploration est souhaitée. En l'occurrence, l'absorption d'une solution pour nettoyer l'intestin. Les patients sont ensuite invités à revenir à l'hôpital ou au cabinet de leur médecin spécialiste pour rendre le matériel et permettre à l'équipe de soins d'en extraire les données enregistrées.

## L'apport de l'intelligence artificielle

L'amélioration progressive de la résolution des images, de la durée de vie des équipements et de la qualité des logiciels de lecture incorporant de l'intelligence artificielle (IA) fait aujourd'hui de cet outil un allié précieux du dépistage, notamment en cas d'échec ou de contre-indication de la coloscopie. Pour aller plus loin, certains fabricants réfléchissent à la possibilité d'enregistrer les données recueillies directement sur le smartphone des patients.

D'autres adaptations sont également attendues dans plusieurs domaines : augmentation de l'autonomie des batteries (de 9 heures actuellement pour

Années  
1970

Premiers  
fibroscopes

Années  
1990

Utilisation de  
l'hystérocopie  
à visée de dépistage  
en routine

2001

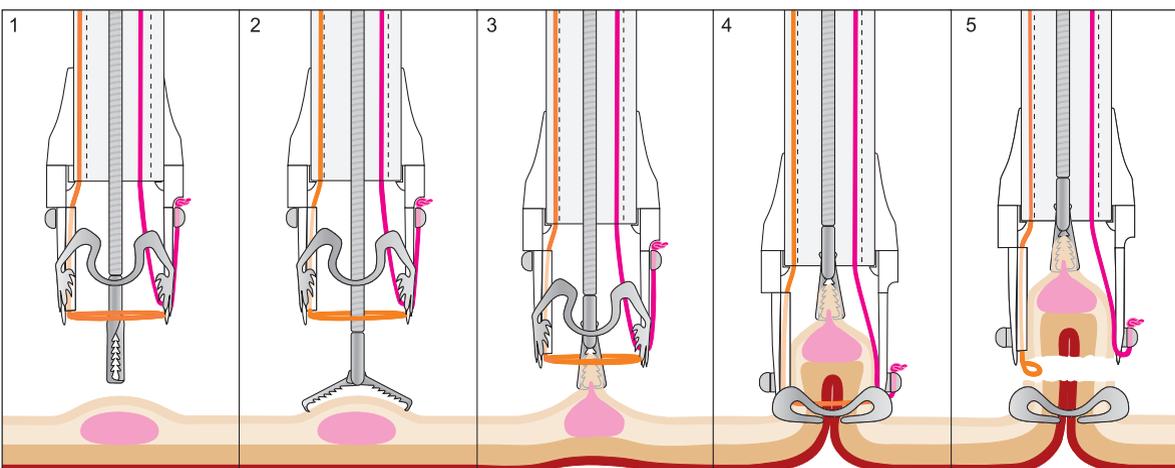
Premières vidéo-  
capsules pour  
observer l'intestin  
grêle

2006

Nouvelles capsules  
pour examiner le côlon

2019

Mise au point de  
modules d'endoscopie  
dotés d'IA



Dispositif de résection transmurale

le modèle dédié à l'intestin grêle; et de 10 à 11 heures pour le modèle dédié au côlon) et de la résolution des images, efficacité de l'IA pour la sélection des images pertinentes et l'aide à la localisation des lésions... Sont même apparues récemment des capsules œsophagiennes statiques et des capsules gastriques téléguidables à l'aide d'un joystick!

## Des systèmes dits « intelligents »

Des modules d'endoscopie « intelligents » – plus précisément, des petits boîtiers connectables aux colonnes d'endoscopie et intégrant de l'IA – ont aussi été développés dès la fin des années 2010. Conçus pour répondre aux défis liés à la détection précoce du cancer colorectal, ils assistent les gastro-entérologues lors des coloscopies en mettant en évidence, sur l'écran de contrôle, les régions dont les caractéristiques visuelles correspondent à différents types d'anomalie de la muqueuse, comme les polypes colorectaux de toutes formes, de toutes tailles et de toutes morphologies.

2 140 236

## Chiffre clé

C'est le nombre d'endoscopies digestives réalisées en 2021.  
L'endoscopie permet 1 300 000 prélèvements par an.

Source : Caisse nationale de l'assurance maladie (CNAM).

# DU DÉPISTAGE AU DIAGNOSTIC

Les examens de diagnostic du cancer, qu'ils soient cliniques, biologiques ou d'imagerie, visent à confirmer la présence de la maladie et à caractériser son degré d'évolution ainsi que sa sévérité. Une étape clé pour proposer la stratégie thérapeutique la plus adaptée.

En cas de suspicion de cancer, « un certain nombre d'examens doivent être réalisés pour confirmer le diagnostic de cancer et en évaluer le stade », rappelle l'Institut national du cancer (INCa). Un examen clinique complété d'un bilan sanguin et/ou urinaire permet ainsi de « mesurer des paramètres relatifs à l'état de santé général du patient et de doser d'éventuels marqueurs tumoraux », souligne la Fondation ARC. L'imagerie médicale, de plus en plus performante, permet de vérifier la présence d'une tumeur, sa taille, sa forme, sa localisation exacte ou encore son activité métabolique via l'injection et le suivi de substances faiblement radioactives telles que le glucose marqué – les cellules cancéreuses ayant une activité plus importante que les cellules saines (lire sur ce sujet la partie « Onco-imagerie », p. 8-29). Le diagnostic définitif est ensuite fourni par la biopsie, qui consiste à prélever un échantillon de tissu suspect pour l'examiner par microscopie.

## Du bilan initial au bilan d'extension

Lorsqu'un cancer est diagnostiqué, il est indispensable de connaître son état d'avancement et de savoir s'il s'est propagé. Tel est l'enjeu du bilan d'extension, établi à partir des résultats des examens diagnostiques, parfois

complétés par un ou deux examens supplémentaires. *In fine*, ce bilan complet permet à l'équipe médicale de déterminer la stratégie thérapeutique la plus adaptée.

## Essor des tests moléculaires

À noter que des tests moléculaires sont parfois effectués pour identifier d'éventuelles anomalies génétiques dans les tumeurs et orienter la stratégie de traitement, par exemple vers une thérapie ciblée. Peuvent ainsi être recherchées, pour le cancer du sein, une amplification du gène HER2 ou une mutation du gène BRCA1 ou BRCA2, et, pour le cancer du côlon, une mutation du gène RAS. « En 2020, les plateformes de génétique moléculaire des cancers ont réalisé 196 000 tests déterminant l'accès à une thérapie ciblée pour 85 000 patients, rappelle l'INCa. En particulier, plus de 19 000 patients avec un cancer du poumon ont bénéficié d'une recherche de mutation d'EGFR, 10 000 patients avec un cancer colorectal ont eu accès au test RAS, et une recherche de mutation de BRAF a été effectuée pour 5 000 patients atteints d'un mélanome. »

# LA RÉVOLUTION DES BIOPSIES

Au cours des deux dernières décennies, les progrès réalisés dans le domaine des biopsies ont considérablement amélioré la manière dont nous diagnostiquons, et donc traitons, le cancer.

### DE LA THÉORIE...

La biopsie consiste à prélever une très petite partie d'un organe ou d'un tissu pour l'examiner au microscope et confirmer un diagnostic. Dans certains cas, l'analyse est effectuée directement sur la tumeur retirée lors d'une intervention chirurgicale.

### À LA PRATIQUE

Selon la localisation de la tumeur, «*le prélèvement est réalisé par ponction, à l'aide d'une aiguille fine, ou par endoscopie, au moyen d'une sonde munie d'un système optique introduite dans un organe creux (intestins, bronches, vessie...)*», détaille la Fondation ARC. La technique de l'écho-endoscopie se développe également pour obtenir des échantillons. L'analyse des tissus est ensuite effectuée par un

anatomopathologiste. «*Elle est parfois complétée par une caractérisation moléculaire qui vise à rechercher les spécificités des cellules (dont les marqueurs tumoraux) qui forment la tumeur et à orienter le pronostic et/ou le traitement*», complète la Fondation.

### UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Le terme «biopsie» est sorti pour la première fois de la bouche du médecin français Ernest-Henri Besnier, en 1879. L'enjeu? Apporter un diagnostic de certitude. «*Les biopsies étaient, initialement, réalisées par voie chirurgicale*, resitue le Pr Fabrizio Panaro, chirurgien au sein du service hépato-bilio-pancréatique et transplantation du CHU de Médecine de Montpellier. *Elles sont désormais, en grande majorité, effectuées à l'aide d'aiguille par voie percutanée sous contrôle radiologique ou échographique, voire, >>>*



## La recherche autour des biomarqueurs se poursuit

Les marqueurs tumoraux sont des substances – généralement des protéines – présentes en très faibles quantités dans le corps. « Ces marqueurs peuvent aussi être produits en excès par certaines cellules cancéreuses, rappelle la Fondation contre le cancer. Des quantités anormales de ces protéines dans le sang, l'urine, les selles ou certains tissus peuvent donc indiquer l'existence d'une tumeur. » Les « attentes sont nombreuses » puisqu'ils pourraient, à terme, éviter le recours à des examens invasifs, relève le Pr Mathieu Roumiguié, chirurgien urologue au sein du département d'urologie du CHU de Toulouse. Mais pour l'heure, les recherches se poursuivent. « À titre d'exemple, une augmentation du taux de PSA (antigène prostatique spécifique) dans le sang peut révéler un cancer de la prostate, mais aussi avoir bien d'autres causes (inflammation, augmentation banale du volume de la prostate, tumeur bénigne, etc.) », détaille en effet la Fondation contre le cancer. L'idéal serait donc « d'avoir des marqueurs tumoraux parfaitement spécifiques des différents cancers ».

» en fonction de la localisation du site à biopsier, par voie endoscopique ou écho-endoscopique, en passant par les voies naturelles. »

Les cathéters disponibles sont d'ailleurs de plus en plus souples, pour faciliter l'accès et l'acheminement d'accessoires adaptés (pince à biopsie, pince à panier, anse d'extraction, ballons de dilatation...) au niveau des zones cibles situées dans les organes digestifs et péri-digestifs, y compris dans les canaux biliaires, pancréatiques et hépatiques. Ceci notamment « grâce à l'essor de la cholangioscopie, une technique recourant à de très fins endoscopes eux-mêmes introduits dans des endoscopes de taille standard », schématise le Dr Sarah Leblanc, hépatogastro-entérologue au sein de l'hôpital Privé Jean Mermoz à Lyon et du Médipôle Lyon-Villeurbanne.

## Des techniques moins invasives

Tant et si bien qu'aujourd'hui, « nous n'effectuons plus de prélèvement percutané en cas de lésions ou tumeurs digestives, sauf si ces dernières sont vraiment inaccessibles par endoscopie ou écho-endoscopie, poursuit-elle. Cela réduit le risque de dissémination tumorale et de complications ». De plus, les capteurs numériques placés à l'extrémité des endoscopes sont d'une sensibilité de plus en plus grande et « permettent de mieux caractériser les lésions et d'apprécier au mieux leur évolutivité locale ». Dans le même temps, l'essor de la « chromo-endoscopie virtuelle », qui repose sur le recours à « un traitement de l'image endoscopique par des filtres de

couleur », facilite l'analyse des lésions du tube digestif, « essentiellement des lésions précancéreuses colorectales », ajoute le Dr Leblanc.

Autres avancées : « Auparavant, il était nécessaire de prélever de gros échantillons ou 'carottes' ; désormais, il est possible de poser un diagnostic à l'aide de quelques cellules seulement », relève le Pr Panaro. Les aiguilles elles-mêmes sont de plus en plus fines. Certaines, miniaturisées et spécialement conçues pour les cholangioscopies dans le foie ou le pancréas ont été mises au point dès 2016 pour un diagnostic plus fiable. Leur diamètre oscille entre 0,5 et 0,9 millimètres !

Les microscopes des anatomopathologistes sont quant à eux plus performants, tandis que la possibilité de fusionner les images radiologiques, échographiques et/ou d'IRM facilite grandement le prélèvement ultra-ciblé d'échantillons de tissus suspects, tout en préservant les tissus sains situés autour. « Les micro-échographes de haute définition (29 MHz) mis au point au Canada il y a cinq ou six ans accroissent également la précision du geste pour faciliter le diagnostic du cancer de la prostate puis, sans doute, d'autres organes », ajoute le Pr Mathieu Roumiguié, chirurgien urologue au sein du département d'urologie du CHU de Toulouse.

## IA et médecine personnalisée

À terme, il sera certainement possible de caractériser des lésions sans avoir à effectuer de prélèvement. En cela, l'intelligence artificielle (IA) nourrit de grands espoirs. « Au sein du CHU de Strasbourg,

1930

Première biopsie par aspiration à l'aiguille fine réalisée à New York

Années  
1980

Émergence de la biopsie guidée par ultrasons

Années  
2000

Essor de la biopsie liquide

Années  
2020

Essor des tests moléculaires



Aiguilles de biopsie

des études sont en cours, par exemple, pour la mise au point d'un algorithme capable de déterminer la probabilité d'un cancer à partir des résultats d'une prise de sang et d'images médicales», pointe le Pr Panaro. L'Institut Curie a annoncé pour sa part fin 2022 avoir démontré la performance d'un algorithme basé sur l'intelligence artificielle capable de détecter avec précision un large éventail de caractéristiques pathologiques cliniquement significatives dans les biopsies mammaires. L'enjeu ? Améliorer la qualité du diagnostic et réduire le risque d'erreurs.

En attendant, depuis le début des années 2000, d'énormes progrès ont permis de révolutionner le diagnostic. Les biopsies «liquides», à l'aide de simples prises de sang, permettent en effet d'analyser l'ADN circulant dans le sang pour détecter des mutations génétiques spécifiques liées au cancer. De plus, grâce aux progrès en biologie moléculaire et génomique, les professionnels de santé disposent désormais d'informations détaillées sur les mutations tumorales, orientant le choix des thérapies ciblées et de l'immunothérapie.

100 000  
à  
130 000

### Chiffre clé

Entre 100 000 et 130 000 biopsies de la prostate sont effectuées chaque année dans l'Hexagone. Pour rappel, le cancer de la prostate est, en France, le plus fréquent des cancers chez l'homme (59 885 nouveaux cas en 2018 en France métropolitaine).

Sources : Haute Autorité de santé (HAS), Institut national du Cancer (INCa).

# DES TRAITEMENTS DE PLUS EN PLUS CIBLÉS

Détruire les tumeurs ou métastases, ralentir leur progression, réduire le risque de récurrence, prévenir et traiter les symptômes et complications engendrés par la maladie et les thérapies... En oncologie, les objectifs des traitements varient selon les cas. L'ambition première reste néanmoins d'assurer la meilleure qualité de vie possible aux patients.

Plusieurs types de traitements existent contre les cancers. À ce jour, les principaux sont la chirurgie et la radiothérapie, qui agissent localement sur les cellules cancéreuses de l'organe atteint ou dans les ganglions, ainsi que la chimiothérapie, les thérapies ciblées, l'hormonothérapie et l'immunothérapie. *«La radiothérapie et les traitements médicamenteux sont souvent utilisés en complément de la chirurgie pour améliorer les chances de guérison»*, résume l'Institut national du cancer (INCa), même s'ils *«peuvent aussi être utilisés seuls.»* Par ailleurs, pour certains cancers du sang, une greffe de moelle osseuse est parfois nécessaire.

## De nouvelles alternatives

À noter que d'autres types de traitements se développent depuis les années 1980, reposant sur l'utilisation des ultrasons de haute intensité, de la radiofréquence, des lasers, des micro-ondes ou encore de la cryothérapie pour la prise en charge des tumeurs ORL, pulmonaires, urologiques et digestives par exemple. La radioembolisation prend elle aussi de l'essor. Également connue sous le nom de «radiothérapie interne sélective», elle consiste à injecter des microsphères radioactives dans les artères vascularisant les

tumeurs intra-hépatiques. Très ciblées, ces différentes techniques peuvent être de véritables techniques alternatives, complémentaires de la chirurgie.

## Des traitements personnalisés

Les stratégies thérapeutiques sont débattues en réunion de concertation pluridisciplinaire (RCP) puis présentées au patient. L'enjeu ? Adapter la thérapie en fonction du type, de la localisation et du stade de développement du cancer, mais aussi de l'âge, de l'état général et des antécédents médicaux de la personne ; il s'agit de viser un accompagnement à la fois personnalisé et global par une équipe de médecins spécialistes (chirurgien, radiothérapeute, oncologue, hématologue, radiologue, anatomopathologiste...), mais aussi d'infirmiers, de psychologues, de nutritionnistes, de kinésithérapeutes, etc. Les besoins du patient et de ses proches sont pris en considération. Et à l'avenir, l'ambition des soignants sera aussi de pouvoir proposer au patient un traitement optimal au regard de ses spécificités (y compris sa génétique, son environnement et son mode de vie) ainsi que des caractéristiques moléculaires de sa tumeur. De nombreuses recherches se poursuivent en ce sens.

## RADIOTHÉRAPIE

# LES RAYONS AU SERVICE DE LA LUTTE CONTRE LE CANCER

La radiothérapie, couramment utilisée pour traiter les cancers, repose sur le recours aux rayonnements ionisants à fortes doses pour fragmenter l'ADN des cellules cancéreuses et les détruire. Une technique identifiée dès le XIX<sup>e</sup> siècle et perfectionnée depuis sans relâche.



### DE LA THÉORIE...

La radiothérapie « consiste à utiliser des rayonnements (on dit aussi rayons ou radiations) pour détruire les cellules cancéreuses en bloquant leur capacité à se multiplier », tout en « préservant le mieux possible les tissus sains et les organes avoisinants », rappelle l'Institut national du cancer (INCa). Plus de la moitié des patients atteints d'un cancer sont traités par radiothérapie à une étape de leur parcours de soins, selon ses chiffres. Elle peut être utilisée seule ou en association avec la chirurgie ou les traitements médicamenteux.

### À LA PRATIQUE

« La radiothérapie peut être à visée curative, pour guérir le patient, ou à visée palliative, pour le soigner

en le soulageant des symptômes provoqués par la tumeur, dans le cas de métastases osseuses douloureuses par exemple », pointe l'Institut Curie. Son indication dépend de la localisation du cancer, de son stade d'évolution et de l'état général du patient.

La radiothérapie externe est la forme la plus fréquente. Des rayons X ou des rayons gamma à fortes doses, émis par un accélérateur de particules placé à une certaine distance du patient (généralement 80 voire 150 centimètres), sont dirigés vers la région du corps à traiter. Des faisceaux d'autres particules – et notamment d'électrons, d'ions hydrogènes ou de protons – peuvent aussi être utilisés. La précision de la protonthérapie, « de l'ordre du millimètre, permet la prise en charge de tumeurs centrales ou profondes (de la tête, du cou, du poumon...) », précise le D<sup>r</sup> Igor Latorzeff, oncologue radiothérapeute au sein de la Clinique Pasteur et de l'hôpital de Purpan >>>

1895

Découverte des rayons X

1898

Découverte du radium par Pierre et Marie Curie

1934

Découverte de la radioactivité artificielle par Irène et Frédéric Joliot-Curie

Années  
1960

Essor des rayonnements de haute énergie

» du CHU de Toulouse. Les séances d'irradiation durent entre 10 et 45 minutes selon la complexité du traitement.

La radiothérapie interne, pour sa part, « peut être réalisée soit par curiethérapie soit par radiothérapie interne vectorisée ou RIV. Il s'agit d'apporter, dans les deux cas, un émetteur radioactif directement au contact des cellules tumorales : l'iode-125 dans le traitement du cancer de la prostate, l'yttrium-90 pour le cancer du foie multi-métastatiques, l'iridium-192 pour le cancer du sein, le lutécium pour les métastases du cancer de la prostate... », pointe le D<sup>r</sup> Latorzeff. Cette partie des traitements est gérée par radiothérapie ou médecine nucléaire ».

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

La découverte des rayons X en 1895 par le physicien allemand Wilhelm Conrad Röntgen change la donne : il est désormais possible de visualiser l'intérieur du corps humain ! Pourquoi ne pas aller plus loin et recourir à ce type de rayons pour traiter les cancers ? L'idée est explorée en juillet 1896 :

Victor Despeignes, médecin installé en Savoie, utilise pour la première fois les rayons X pour tenter de soigner l'un de ses amis atteint d'un cancer de l'estomac. « On pensait, à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, que le cancer était une maladie microbienne », détaille Nicolas Foray, chercheur au Centre Léon Bérard, qui a publié en avril 2021 un ouvrage sur le « père » de la radiothérapie. Despeignes s'inspire donc des traitements aux rayons X sur des animaux tuberculeux réalisés en mars 1896 à Lyon », il irradie son patient à plusieurs reprises durant dix-neuf jours... et constate une diminution de la tumeur ! Des résultats probants, même si cela n'a pas suffi à sauver le patient.

## Le tournant du XIX<sup>e</sup> siècle

De nouvelles perspectives, notamment dans le traitement de certaines affections de la peau, s'ouvrent avec la découverte de la radioactivité en 1896 par Henri Becquerel, du radium en 1898 par Pierre et Marie Curie, ainsi que des effets des rayonnements ionisants sur la matière vivante ouvrent. Parmi elles : la teigne, le lupus, mais également les tumeurs

cutanées ou peu profondes. La « roentgentherapie », utilisant les rayons X, voit ainsi le jour, de même que la « curiethérapie » (ou « radiumthérapie ») qui consiste à appliquer, au contact de la peau ou via les voies naturelles, du radium – sous forme de sels ou de poudre – contenu dans des pansements, cataplasmes, supports moulés adaptés aux zones à traiter, petits tubes ou fines aiguilles, par exemple. Cette dernière est couramment utilisée en Europe et aux États-Unis pour traiter les cancers de la peau, du col de l'utérus ou encore de la langue.

## Naissance de la radiothérapie « externe »

« Dans les années 1920, une technique de curiethérapie à distance, baptisée télécuriethérapie ou encore bombe au radium, permet d'irradier des tumeurs profondes en utilisant plusieurs grammes de radium placés à l'extérieur du corps », complète le Musée Curie. Les rayons gamma du radium présentent en effet l'avantage de pénétrer plus profondément dans les tissus que les rayons X.

Années  
1990L'imagerie 3D ouvre  
la voie à l'ultra-précision  
de l'irradiationAnnées  
2000Essor de la modulation de l'intensité  
de l'irradiation, de la précision balistique  
du rayonnement et des techniques de  
repositionnement des patients

Séance de radiothérapie

Plus de  
200 000

### Chiffre clé

En France, entre 2017 et 2021, l'activité globale des centres de radiothérapie a augmenté de 9% (en nombre de patients) et de 4% (en nombre de séances) pour atteindre 214 000 patients et 4,3 millions de séances en 2021.

Source : Observatoire national de la radiothérapie.

Par la suite, de nouvelles sources radioactives sont identifiées. Le radium est progressivement remplacé par des éléments radioactifs obtenus artificiellement pour créer des traitements moins onéreux, plus ciblés et plus efficaces: le cobalt-60, l'iridium-192, le césium-137, le phosphore-32 ou encore l'iode-125. Des accélérateurs linéaires et circulaires de particules sont également conçus dans les années 1950-1960 pour générer des rayonnements dits de « haute énergie » (dont l'énergie dépasse un million d'électrons-volts), de même que des « bombes » au cobalt-60.

Inventés au Canada et utilisés pour la première fois en 1951, ces appareils de traitement au cobalt à la carapace de plomb et d'acier, mis au point pour traiter certains cancers profonds, émettent des rayons gamma dont la puissance équivaut à celle de deux kilos de radium! Les appareils, rotatifs et pesant quelques grammes seulement, autorisent les faisceaux croisés. Placés un peu plus à distance des patients, ils répondent mieux aux besoins cliniques. Ils se développent ainsi jusque dans les années 1970, avant que les accélérateurs de particules, et notamment les accélérateurs linéaires, ne soient privilégiés pour la radiothérapie externe, de plus en plus précise et sophistiquée.

### Perfectionnement de la « curiethérapie de contact »

La radiothérapie interne poursuit elle aussi son essor. Aujourd'hui, elle est souvent utilisée pour traiter, de façon spécifique ou en complément >>>

## On ne bouge plus !

« Il y a encore trente ans, nous demandions aux patients de ne pas bouger. Ils n'étaient pas endormis, ce qui rendait complexe les séances un peu longues, lorsqu'ils avaient envie de bailler, de se gratter... », se remémore le Dr Latorzeff. Seules quelques cales permettaient aux professionnels de santé de les repositionner au mieux. Désormais, pour les irradiations complexes au niveau du crâne, du thorax, parfois de l'abdomen, il existe des systèmes de contention adaptés, qui sont plus ou moins invasifs : cadres de stéréotaxie vissés à la surface du crâne pour l'irradiation d'une tumeur ou de métastases dans le cerveau ; masques thermoformés voire anneaux en métal rivés à la table sur laquelle se trouve le patient pour immobiliser la tête ; films pour envelopper le patient et comprimer un peu son abdomen et ses poumons ; mais aussi repose-pieds, repose-genoux, repose-têtes ou repose-bras pour que ce dernier soit le plus à l'aise possible, par exemple. »

» d'un autre traitement, des tumeurs cancéreuses de la sphère ORL, de la peau, du sein, de la thyroïde, de la prostate ou encore des organes génitaux. Elle consiste à introduire soit des aiguilles d'iridium-192 dans une tumeur cutanée, soit un implant d'iridium-192 de l'ordre du millimètre dans le sein, soit de minuscules grains remplis d'iode-125 libérant de petites doses de rayonnement pendant plusieurs semaines dans le tissu cancéreux d'une prostate... ou encore des microsphères en verre ou en résine d'yttrium-90 dans l'artère hépatique pour traiter le cancer du foie multi-métastatique. On parle alors, en ce cas, de « radiothérapie sélective interne » ou « radioembolisation » (lire sur le sujet le chapitre « Radioembolisation », p. 45-47). Les sources radioactives sont insérées à l'aide d'applicateurs en plastique (généralement dans une cavité naturelle du corps comme le vagin ou le col de l'utérus), voire de fins cathéters. L'essor de l'imagerie 3D facilite bien sûr grandement leur implantation. Et depuis la fin des années 2000, elles sont aussi parfois administrées via un médicament par voie veineuse ou orale pour traiter les cancers de la thyroïde et de la prostate, ainsi que les tumeurs neuroendocrines digestives, pulmonaires et paraganglionnaires.

## L'enjeu de la dosimétrie

L'enjeu de longue date de la radiothérapie est de produire des rayonnements plus énergétiques tout en étant tolérés par l'organisme, mais aussi de délivrer une dose optimale dans le volume cible

et une dose la plus faible possible dans les tissus sains. Elle se doit ainsi d'être sélective, ciblée et « dépendante du nombre de fractions distribuées au patient » : radiochirurgie (une dose unique), traitement hypofractionné (comprenant deux à dix séances) ou traitement conventionnel (comprenant vingt-cinq à trente-cinq séances), comme le résume le Dr Latorzeff. Dans ce cadre, « la définition des volumes cibles, de la profondeur de la tumeur au sein de l'organisme ainsi que de l'épaisseur des tissus et des organes à risques lors de l'étape préparatoire à l'irradiation a été grandement facilitée, dans les années 1990, par l'essor de l'imagerie 3D et de la modélisation numérique », rappelle le spécialiste. Et ce, pour un calcul de la quantité optimale de rayons à délivrer par unité de temps (bas débit, bas débit pulsé, haut débit de dose, etc.).

Puis, « au début des années 2000, la technique de la modulation de l'intensité de l'irradiation contrôlée par ordinateur, pour varier la distribution de la dose dans le volume en cours de séance, a été mise au point », poursuit le Dr Latorzeff. En France, la Haute Autorité de santé (HAS) a d'ores et déjà validé un certain nombre d'indications pour le recours à cette technique, telles que les cancers du col de l'utérus, du canal anal, de la prostate, ou encore les tumeurs de la tête, du cou et du rachis. « D'autres indications sont encore en cours d'évaluation actuellement », relève l'oncologue radiothérapeute. Avec pour objectif de « maximiser les bénéfices thérapeutiques de la radiothérapie tout en en minorant les effets secondaires. »

## Prévention des effets secondaires

Pour rappel, poursuit le Dr Latorzeff, « *un effet secondaire en radiothérapie peut survenir soit dans les champs de l'irradiation, soit en bordure, soit – plus rarement – à distance* », dans des formes et des délais variables. Certains surviennent « *dans les trois mois du traitement* », généralement dans le champ de l'irradiation et dans le volume traité (sur la peau ou les muqueuses, hors perte de poils ou des cheveux), avant de s'estomper. D'autres, dits « *tardifs* », peuvent apparaître plus de six mois après le traitement. « *Ils peuvent être de faible grade et résolutifs, ou de grade plus élevé – et c'est ce qu'on appelle les complications de la radiothérapie*, développe l'expert. *Elles apparaissent généralement dans le champ de l'irradiation et nécessitent a minima une surveillance, voire des traitements adaptés. Elles dépendent de plusieurs paramètres: l'hypersensibilité intrinsèque du patient, son degré d'oxygénation et de vascularisation, la dose délivrée, le volume traité, le fractionnement des séances d'irradiation, le respect des contraintes de doses vis-à-vis des organes que l'on souhaite protéger, la taille de la zone d'irradiation, ou encore les traitements associés à l'irradiation ou pris par le patient. En effet, les anticoagulants favorisent le risque de saignements après la radiothérapie, par exemple.* »

D'où l'élaboration, en France, de « *Recommandations en radiothérapie externe et curiethérapie* », qui ont pour visées l'optimisation, l'harmonisation et

l'homogénéisation des pratiques. La première édition, parue au cours de l'année 2016, est actuellement en cours d'actualisation sous la houlette du Pr David Azria, directeur scientifique de l'Institut du Cancer de Montpellier (ICM) et président de la Société française de radiothérapie oncologique (SFRO), et du Dr Latorzeff. « *La troisième édition devrait paraître en 2025* », précise ce dernier. À l'échelle internationale, des critères ont aussi été établis pour identifier et prédire les effets secondaires (leurs acronymes sont divers: « *TPC* », « *NTPC* », « *QUANTEC* », etc.).

## Contrôle en temps réel de la position du patient

Quelle que soit la modalité de fractionnement du traitement, l'amélioration constante de la précision balistique du rayonnement sur les nouvelles générations d'accélérateurs linéaires, le guidage par l'imagerie embarquée sur les accélérateurs ainsi que l'utilisation de la modulation d'intensité ont permis de réduire les risques d'effets secondaires. « *La radiothérapie guidée par l'image (IGRT en anglais) s'est fortement développée ces quinze dernières années. Elle permet d'améliorer la précision du positionnement du patient d'une séance à l'autre, au millimètre près, ainsi que le repérage des zones à irradier, et donc la qualité du traitement. Elle a été rendue possible par l'évolution des accélérateurs de particules, qui ont désormais la capacité d'intégrer des outils d'imagerie IRM ou en coupes*

## La spécificité des cellules tumorales

Les cellules tumorales présentent plusieurs particularités: en premier lieu, elles se sont affranchies du cycle de mort naturelle des cellules (immortalité); par ailleurs, elles possèdent une capacité de multiplication accrue, ce qui favorise le développement des tumeurs mais les rend plus sensibles à la radiothérapie que les cellules saines.

embarqués », détaille le Dr Latorzeff. Grâce au « *repositionnement surfacique* », il est même possible aujourd'hui, pour certaines localisations, de « *positionner le patient avec précision sans aucun marquage indélébile (tatouage) de sa peau* ».

Des systèmes constitués de caméras et de lasers, couplés à un logiciel de pointe, fournissent en effet une représentation tridimensionnelle de la surface du patient en temps réel, comparée à la surface de référence établie lors des processus de planification précédents. Les décalages sont calculés par le logiciel et affichés sur ordinateur, pour faciliter l'installation précise du patient lors de ses prises en charge quotidiennes. « *Ces systèmes sont utilisés pour des traitements superficiels, pour le sein par exemple, ou plus profonds* », relève le spécialiste.

## Essor de la radiothérapie ultra-personnalisée

Il existe par ailleurs, dans la prise en charge des cas complexes, « des systèmes de 'tracking' : un coil  de petite taille, en métal, est placé au contact de la tumeur afin de servir de 'marqueur' et de s'assurer, en temps réel, que cette dernière est toujours dans le(s) faisceau(x) de rayons », complète le Dr Latorzeff. Leur utilisation est fréquente en radiothérapie dite stéréotaxique, « lorsque de fortes doses sont requises sur plusieurs séances, délivrées via de multiples microfaisceaux de photons ou de protons convergant au centre de la lésion ».

Il existe également des accélérateurs de particules avec imagerie embarquée capables de délivrer une irradiation en spirales autour du patient pendant

que la table de radiologie se déplace, tout en contrôlant en temps réel la position du patient (tomothérapie). D'autres appareils combinent des techniques de guidage par imagerie médicale et de robotique assistée par ordinateur pour détecter, suivre et corriger les déplacements de la tumeur comme les mouvements du patient tout au long du traitement avec une exactitude millimétrique... On n'arrête pas le progrès médical !

## Protéger les tissus sains environnants

Enfin, pour protéger les tissus sains environnants, l'irradiation à respiration bloquée est également déployée. « La radiothérapie est administrée au moment précis où le patient, après avoir rempli ses

*poumons d'air, bloque sa respiration pendant vingt à vingt-cinq secondes, expose le Dr Latorzeff. Nous nous affranchissons alors du suivi du mouvement, même léger, des organes lors de la respiration. »*

En outre, une fois la cage thoracique gonflée, le cœur s'écarte de la paroi thoracique, ce qui le protège de l'irradiation. Des « agents protecteurs » sont également disponibles : les « espaceurs ». Il s'agit de dispositifs – ballons biodégradables ou hydrogels synthétiques résorbables – pour, par exemple, éloigner temporairement la paroi rectale antérieure de la prostate pendant la radiothérapie du cancer de la prostate (ceux-ci sont implantés par voie transpérinéale).

## Photons, électrons, protons...

La radiothérapie classique repose sur des faisceaux de photons (qui composent, notamment, les rayons X et gamma) et/ou d'électrons. Le recours aux faisceaux de protons, particules élémentaires portant une charge positive, est plus rare mais présente néanmoins un fort intérêt.

« Née aux États-Unis en 1975, puis importée en Suisse en 1984 », la protonthérapie a été introduite en France « en juin 1991 (...) par l'équipe du Centre Antoine Lacassagne », à Nice, rappelle l'établissement. Il s'agit de « l'une des formes les plus abouties de la radiothérapie de précision », complète l'Institut Curie, qui dispose lui aussi d'un équipement.

« Initialement développée pour les tumeurs de l'œil et les tumeurs intracrâniennes, la protonthérapie connaît une forte évolution dans le monde avec un élargissement des indications, en particulier en pédiatrie en raison de la diminution du risque de séquelles », pointe l'Institut sur son site Internet. Les propriétés physiques de ces particules sont en effet spécifiques : « Les protons vont traverser la matière pour déposer quasiment toute leur énergie à une profondeur donnée, puis s'arrêter net. L'énergie initiale des protons détermine la profondeur atteinte », complète l'établissement. En outre, « les protons se dispersent peu le long de cette trajectoire ».

# RADIOEMBOLISATION

## AU CŒUR DU FOIE

La radioembolisation est une technique de traitement du cancer du foie, rendue possible grâce à la double vascularisation de l'organe.



Dispositif de radiothérapie sélective

### DE LA THÉORIE...

La radioembolisation est une stratégie spécifique de traitement des tumeurs hépatiques primitives et secondaires, réfractaires à la chimiothérapie et non éligibles à la chirurgie pour des raisons d'âge du patient, de cancer trop avancé ou de fonctions hépatiques insuffisantes.

### À LA PRATIQUE

Cette technique consiste à injecter des microsphères radioactives chargées à l'yttrium-90 ou

à l'holmium-166 au plus près des tumeurs hépatiques *via* le système artériel, sous guidage de l'imagerie. Elle se distingue de la chimioembolisation qui consiste, dans les mêmes indications, à injecter des microsphères incorporant un traitement médicamenteux.

### UNE HISTOIRE D'INNOVATION

L'histoire de la radioembolisation remonte aux années 1960. Un chirurgien new-yorkais, Irvin Ariel, imagine l'utilisation de microsphères en céramique ou en résine, chargées en yttrium-90 et insérées >>>

» dans les artères hépatiques à l'aide d'un cathéter pour traiter des tumeurs. Les nombreux effets secondaires et l'absence, à l'époque, de micro-cathéters souples poussent toutefois à l'abandon des recherches, avant qu'un autre chirurgien, le Dr Bruce Gray, ne reprenne l'idée dès les années 1980-1990, cette fois avec succès.

La radioembolisation, aussi connue sous le nom de radiothérapie interne sélective, est approuvée en 1998 en Australie avant d'être importée aux

États-Unis puis, à compter de 2002, en Europe! Dans l'Hexagone, depuis 2017, une prise en charge par l'Assurance maladie est possible. « À ce jour, les indications retenues pour le remboursement sont le traitement palliatif du carcinome hépatocellulaire non résécable, le cholangiocarcinome et les métastases hépatiques du cancer colorectal », résume le Dr Clément Bailly, médecin spécialiste au sein du service de médecine nucléaire du CHU de Nantes.

## Une technique en deux étapes

La technique permet, grâce à la double vascularisation hépatique, « de cibler préférentiellement les tumeurs du foie, majoritairement irriguées par le système artériel, tout en épargnant au maximum les tissus sains de l'organe, majoritairement irrigués par le système veineux », précise-t-il. Elle implique, au préalable, de réaliser une « cartographie » du système vasculaire du foie grâce à une artériographie, de « repérer la voie d'accès » aux lésions, de s'assurer qu'il n'y a ni anomalie ni risque de « fuites » de microsphères dans l'organisme... et de « simuler » le traitement par l'injection de micro-agrégats ou de microsphères d'albumine marquée afin d'objectiver, par scintigraphie, sa distribution et sa concentration au sein des tumeurs du foie. L'administration effective du traitement – préparé par un médecin nucléaire – survient une à deux semaines plus tard. Celle-ci « dure moins d'une heure, sous anesthésie locale, après vérification qu'il n'y a pas eu de nouvelle microvascularisation », détaille le Dr Bailly.



Particules d'embolisation et systèmes d'occlusion

## L'embolisation, du palliatif au curatif

« En oncologie, l'embolisation était initialement utilisée pour stopper la circulation du sang dans les vaisseaux nourriciers d'une tumeur, dans le but de ralentir son grossissement voire de réduire sa taille afin de faciliter une chirurgie, à l'aide d'emboles (microspires métalliques, colle acrylique, solution gélifiante...). Associée à des agents ionisants ou à des médicaments, elle étend aujourd'hui le champ des solutions thérapeutiques pour les patients, en complément ou en alternative à la chirurgie », pointe le Dr Costantino del Giudice, radiologue interventionnel au sein de l'Institut mutualiste Montsouris à Paris.

## Des microsphères en résine ou en verre

Concrètement, le radiologue interventionnel procède à une petite incision au niveau du poignet (artère radiale) ou de l'aîne (artère fémorale) pour atteindre, à l'aide de fins cathéters, les artères qui alimentent la tumeur hépatique afin d'y larguer

1964

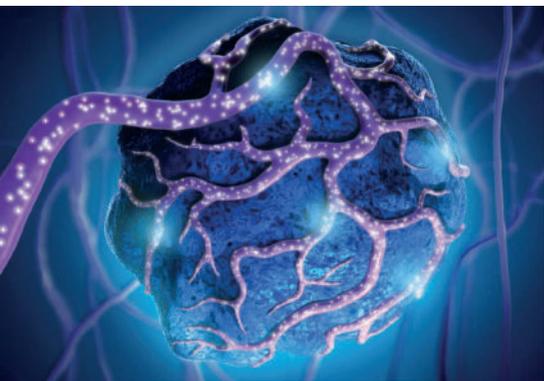
Première publication scientifique aux États-Unis

Années  
1998

Approbation de la technique en Australie

2000

Essor de la radioembolisation en Europe



Radiothérapie interne sélective avec microsphères radioactives

30 à 40  
millions

### Chiffre clé

Un traitement typique par microsphères radioactives en résine contenant des particules d'yttrium-90 consiste en « l'injection de 30 à 40 millions de microsphères, pour une activité administrée d'environ 1,5 à 2 gigabecquerels ».

Source : Haute Autorité de santé (HAS).

des microsphères de résine ou de verre auxquelles un agent radioactif est couplé. Cet agent détruit la tumeur sans léser les organes alentours du fait de la distance de diffusion très courte des rayonnements irradiants.

« En l'absence d'effet indésirable, les patients peuvent quitter l'hôpital le soir même ou le lendemain », poursuit le D<sup>r</sup> Bailly. En règle générale, « une administration unique suffit ». Il ne reste plus, ensuite, qu'à attendre. « La réponse arrive dans les quatre à six mois et, parfois, continue d'évoluer à huit mois ». L'enjeu ? Retarder au maximum la progression de la tumeur, voire réduire sa taille en vue de pouvoir programmer, à terme, une chirurgie (résection ou greffe hépatique).

### Le poumon ou les tumeurs neuroendocrines ?

Et les progrès se poursuivent aujourd'hui. « Pendant très longtemps, nous calculions les doses à administrer selon le rapport entre le volume tumoral et le volume du foie, se souvient le D<sup>r</sup> Bailly. Grâce à l'essor de l'imagerie, nous pouvons déterminer de manière très fine les doses à délivrer ainsi que les limites de doses à ne pas dépasser pour préserver le foie sain. » De nouveaux modes d'administration des microsphères, automatisés, sont également à l'étude. « À terme, toutes les lésions hépatiques pourraient être traitées par radioembolisation, estime-t-il. Des essais sont par ailleurs en cours, concernant notamment les tumeurs pulmonaires et neuroendocrines, par exemple. »

## ABLATION

# DES PROCÉDURES DE MOINS EN MOINS INVASIVES

La chirurgie reste à ce jour, avec la radiothérapie et la chimiothérapie, l'un des traitements de référence des cancers dits « solides ». Aujourd'hui, l'enjeu est de proposer des interventions moins lourdes pour réduire la durée des séjours à l'hôpital, avec suivi à domicile et programme de récupération améliorée après chirurgie (RAAC).



### DE LA THÉORIE...

Le traitement chirurgical curatif d'un cancer a pour but l'ablation de la tumeur maligne et, par mesure de sécurité, d'une marge de tissus sains. Dans certains cas, l'ablation est partielle pour réduire la masse tumorale et faciliter l'éradication ultérieure de la tumeur par chimiothérapie et/ou radiothérapie. Lorsque des cellules cancéreuses

ont migré dans les ganglions lymphatiques qui drainent l'organe d'origine de la tumeur, ceux-ci sont également retirés.

### À LA PRATIQUE

La chirurgie est le traitement de référence pour de nombreux cancers (cancers du sein, du col de l'utérus, de la sphère ORL, du cerveau, de la peau...).

Elle a toutefois « beaucoup évolué ces dernières années, tant dans son organisation que dans ses indications, relève l'Institut national du cancer (INCa). La chirurgie ambulatoire, en particulier, connaît un fort développement. » Et ceci tout particulièrement grâce à l'essor de la chirurgie coelioscopique et à celui de la chirurgie robot-assistée, toutes les deux mini-invasives. L'endoscopie a, quant à elle, minimisé les cas où « l'ouverture » des patients est nécessaire.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Onguent, cataplasme ou encore... ablation ! Dès l'Antiquité, les Égyptiens recourent à la chirurgie pour traiter les cancers (entre autres). Les interventions sont alors évidemment très rudimentaires et il faut attendre le XIX<sup>e</sup> siècle pour constater un vrai bond médical grâce, notamment, à l'essor de l'anesthésie et de l'antisepsie. Puis, au XX<sup>e</sup> siècle, les progrès liés aux antibiotiques, aux anesthésiques modernes, à la respiration assistée, aux transfusions, aux anticoagulants... – suivis d'avancées considérables en matière de diagnostic et d'imagerie – révolutionnent les procédures. Les interventions sont à la fois plus sûres et plus ciblées.

## Une chirurgie de précision

Les chirurgiens disposent en effet de données de plus en plus précises sur la nature, la taille et la localisation des tumeurs avant d'intervenir. Une fois au bloc, ils ont également la possibilité d'effec-

tuer un examen cytologique et/ou histologique sur un prélèvement et d'obtenir, en quelques minutes, des informations complémentaires sur la marge chirurgicale ou sur la nature de la tumeur (bénigne ou maligne) pour adapter l'opération.

En parallèle, le matériel chirurgical se perfectionne. Au cours des années 2000, la sophistication des bistouris électriques (monopolaires, bipolaires, à ultrasons, au plasma par radiofréquence pulsée...) facilite l'incision puis la coagulation pour minimiser le risque d'hémorragie, par exemple. Certains modèles reliés à un spectromètre de masse sont même capables d'analyser des échantillons de tissus et de les comparer avec ceux contenus dans une bibliothèque de quelques milliers de références pour déterminer si les tissus en question sont cancéreux ou non, et donc à retirer.

## La désescalade chirurgicale

Les progrès ne s'arrêtent pas là. La chirurgie diagnostique a aujourd'hui pratiquement disparu et « laissé place aux méthodes diagnostiques aidées par l'imagerie (cytoponction ou biopsie) », tandis que « la génomique et la classification moléculaire ont pris une place considérable pour parfaire le diagnostic », détaille l'Académie nationale de médecine dans son rapport paru en 2022 : « Le traitement du cancer demain : place de la chirurgie et des chirurgiens ».

La « chirurgie d'exérèse tumorale » est pour sa part plus conservatrice, dès que cela est possible. Même si, à ce jour, l'ablation complète « reste

fondamentale » et « le traitement le plus efficace », le chirurgien « diminue son agression au niveau de la tumeur, de son environnement et de son système de drainage lymphatique en s'aidant des traitements complémentaires – qu'ils soient prescrits avant, pendant ou après le geste chirurgical », poursuit l'Académie. L'objectif, outre la guérison, est la « qualité de vie postopératoire » des patients « avec le maintien au maximum des différentes fonctions ». En cas de tumeur au niveau du sein, nous sommes ainsi passés, « en soixante ans », de « la mastectomie radicale » à « la mastectomie simple », puis « à la simple tumorectomie suivie de radiothérapie », cite l'Académie à titre d'exemple.

## Le tournant de la chirurgie mini-invasive

Les techniques chirurgicales elles-mêmes progressent. En 1987, Philippe Mouret, chirurgien lyonnais, réalise la première ablation de la vésicule biliaire par coelioscopie. Depuis, la technique est peu à peu devenue une réelle alternative à la chirurgie ouverte en oncologie pour retirer des polypes, tumeurs ou organes atteints à l'aide d'instruments et de caméras miniaturisés insérés via de petites incisions.

L'essor des robots chirurgicaux, qui n'ont cessé de se perfectionner depuis leur apparition autour des années 1980, facilite également les prises en charge mini-invasives ainsi que la planification, le ciblage, la réalisation et la confirmation de l'ablation de tumeurs. Aujourd'hui, les appareils >>>

»»» disposent d'une capacité de mouvement de haute précision, d'un système d'analyse des données basé sur l'intelligence artificielle ainsi que de fonctionnalités d'imagerie haute définition pouvant au besoin être couplées à un système de contraste par fluorescence pour obtenir une image dynamique en temps réel. Grâce à ce type de robot, l'Institut Gustave Roussy de Villejuif a, en décembre 2015, été l'un des premiers centres hospitaliers au monde à réaliser une ablation de sein avec reconstruction simultanée sans cicatrice sur la poitrine dans le cadre d'un essai clinique.

Les modèles les plus récents, composés d'un bras robotisé, d'une ou de plusieurs aiguilles dotées d'une sonde, ainsi que d'un logiciel de visualisation de la trajectoire des aiguilles, permettent la destruction de tumeurs en moins de deux minutes ! (*Lire sur le sujet, dans la même collection, le livret « Innovation en chirurgie robotique » mis à jour en janvier 2024.*)

## De nouvelles approches

Dans le même temps, diverses modalités de traitement des cancers se développent depuis plusieurs décennies, qu'il s'agisse de la radiothérapie, de la chimiothérapie, de l'hormonothérapie ou encore des nouveaux traitements basés sur des approches moléculaires comme les traitements ciblés et l'immunothérapie. À cela s'ajoutent des méthodes d'ablation des tumeurs par ultrasons, radiofréquence, lasers, micro-ondes, cryothérapie... utilisées pour la prise en charge des cancers ORL, pulmonaires, urologiques ou encore digestifs

(lire sur le sujet les chapitres concernés au sein de ce livret). « Ces techniques peuvent être complémentaires à la stratégie chirurgicale », voire « être de véritables techniques alternatives à la chirurgie dans plusieurs disciplines », observe l'Académie nationale de médecine.

## Ouvrir ou ne pas ouvrir ?

L'endoscopie digestive, dans certains cas et sous certaines conditions (notamment lorsque les tumeurs sont détectées précocement et de petite taille), offre également des perspectives très intéressantes. Cette technique *via* les voies naturelles ne nécessite aucune incision : la convalescence des patients est donc rapide et les risques de complications bien moindres qu'après une chirurgie. Elle est très utilisée en urologie, en gynécologie ou encore en gastro-entérologie.

« Les premiers endoscopes ou 'fibroscopes' rigides sont apparus dans les années 1960. Des modèles souples, intégrant un faisceau de fibre optique, ont ensuite vu le jour dans les années 1970, ouvrant ainsi la voie aux premières endoscopies », resitue le D<sup>r</sup> Yann Le Baleur, gastro-entérologue et hépatologue au sein du groupe hospitalier Paris Saint-Joseph. Une véritable révolution. « Désormais, en gastro-entérologie, il est possible, depuis la bouche ou le rectum, d'explorer l'intérieur de l'œsophage, de l'estomac, du début de l'intestin grêle et du colon. Dans les années 1980-1990, cette technique est essentiellement utilisée à des fins diagnostiques pour 'observer' voire réaliser des biopsies, avant

d'être plébiscitée, à partir du début des années 2000, pour retirer, sous anesthésie générale à l'aide d'un faible courant électrique, des polypes (polypectomie) et des lésions pré-cancéreuses ou des cancers superficiels (mucosectomie). »

## Des prises en charge plus précoces

Si les lésions dépassent les 20 millimètres, les gastro-entérologues peuvent procéder à des dissections sous-muqueuses endoscopiques à l'aide d'un micro-couteau – des dispositifs de traction dotés d'un clip et d'un élastique ont d'ailleurs été mis au point pour faciliter le geste des gastro-entérologues – voire, pour des lésions inférieures à 20 millimètres, à des résections endoscopiques de pleine épaisseur. Cette technique, développée en Allemagne dès les années 2008-2009, a été rendue possible par la mise sur le marché, dès 2014, de dispositifs permettant de retirer en un seul bloc « des patchs de paroi digestive à l'aide d'une anse (fil fin) et d'un macro-clip monté sur un capuchon », poursuit le D<sup>r</sup> Le Baleur – ceci en 45 à 60 minutes sans perforer le tube digestif.

Aujourd'hui, l'arsenal thérapeutique à disposition est large. « Auparavant, les patients étaient systématiquement opérés pour sectionner la zone atteinte », poursuit le médecin. Désormais, l'intégrité et le bon fonctionnement des voies digestives sont maintenus et les prises en charge sont possibles à un « stade beaucoup plus précoce », en « une séance, incluant le repérage et le retrait » des anomalies.

1809

Première intervention documentée sur une tumeur ovarienne, pratiquée sans anesthésie ou antiseptique

Fin des années  
1980

Premières  
coelioscopies

Début des années  
2000

Essor de l'endoscopie  
et de la chirurgie  
robotique

2014

Naissance de la technique dite  
«de résections endoscopiques  
de pleine épaisseur»



## Miniaturisation et flexibilité

«Depuis une quinzaine d'années, les progrès considérables en termes de miniaturisation, de flexibilité et de maniabilité des équipements facilitent l'endoscopie thérapeutique, qu'il s'agisse de la traction des lésions ou encore des sutures en cas de perforations du tube digestif, par exemple», ajoute le gastro-entérologue. La taille de la lésion ou du polype n'est plus un obstacle. «Des lésions de 5 centimètres peuvent aujourd'hui être traitées par endoscopie. Nous pouvons également, sous écho-endoscopie, réaliser des anastomoses entre deux parties du tube digestif et détruire certaines lésions du pancréas...», énumère-t-il.

Et les recherches se poursuivent pour rendre les gestes toujours plus aisés et robotiser les procédures. «À terme, l'intelligence artificielle deviendra incontournable», prédit le D<sup>r</sup> Le Baleur; tout en précisant que «des logiciels dédiés sont d'ores et déjà capables d'analyser les images recueillies par l'endoscope et d'émettre en temps réel une alerte en cas de polypes détectés».

418 342

### Chiffre clé

C'est le nombre de personnes atteintes d'un cancer et traitées par chirurgie en 2023.

Source : « Panorama des cancers en France » édition 2024, INCa.

## Généralisation de la chirurgie ambulatoire

Le traitement par endoscopie est exclu en cas de cancer avancé et/ou de métastases ganglionnaires. Il facilite néanmoins les prises en charge en ambulatoire, recommandées dès que les conditions de leur réalisation sont réunies, permettant ainsi aux patients de retourner à leur domicile le jour même de leur intervention.

En chirurgie, le recours à des techniques de plus en plus conservatrices favorise aussi ce tournant. Ainsi, en 2022, le traitement par chirurgie ambulatoire «représente 35,3% de l'ensemble des hospitalisations pour chirurgie motivée par le cancer (+9,7% par rapport à 2019): 53,3% pour les tumeurs de la peau, suivi de loin par le cancer du sein (22,9%)

et celui du col de l'utérus (6,2%)», selon le site de l'INCa. Des chiffres en hausse. Ainsi, par exemple, «en 2022, 60,4% des mastectomies partielles pour cancer du sein étaient réalisées en ambulatoire, contre 51,6% en 2019», complète l'INCa.

## Chirurgie réparatrice et palliative

Une tendance que l'on retrouve pour la chirurgie réparatrice (reconstruction après traitements) et pour la chirurgie palliative, envisagée lorsque le cancer a atteint un stade trop avancé (l'enjeu est alors de réduire la taille de la tumeur pour amorcer un traitement médicamenteux et/ou une radiothérapie), ou encore lorsque la tumeur ou la métastase comprime douloureusement un nerf

ou un organe. Ceci étant, les chirurgies palliatives «sont de plus en plus souvent remplacées par des techniques interventionnelles alternatives endoscopiques et/ou radiologiques», pointe l'Académie nationale de médecine dans son rapport en date d'avril 2022.

Ainsi, à titre d'exemple, la pose de stents selon ces techniques se généralise depuis le début des années 2000, dans le but de réduire la compression exercée par une tumeur dans les voies digestives, biliaires ou urinaires, et réduire les douleurs ressenties par les patients (*lire sur le sujet le chapitre «Drainage et stenting», p. 63-66*).

## La réalité virtuelle et augmentée au service des chirurgiens

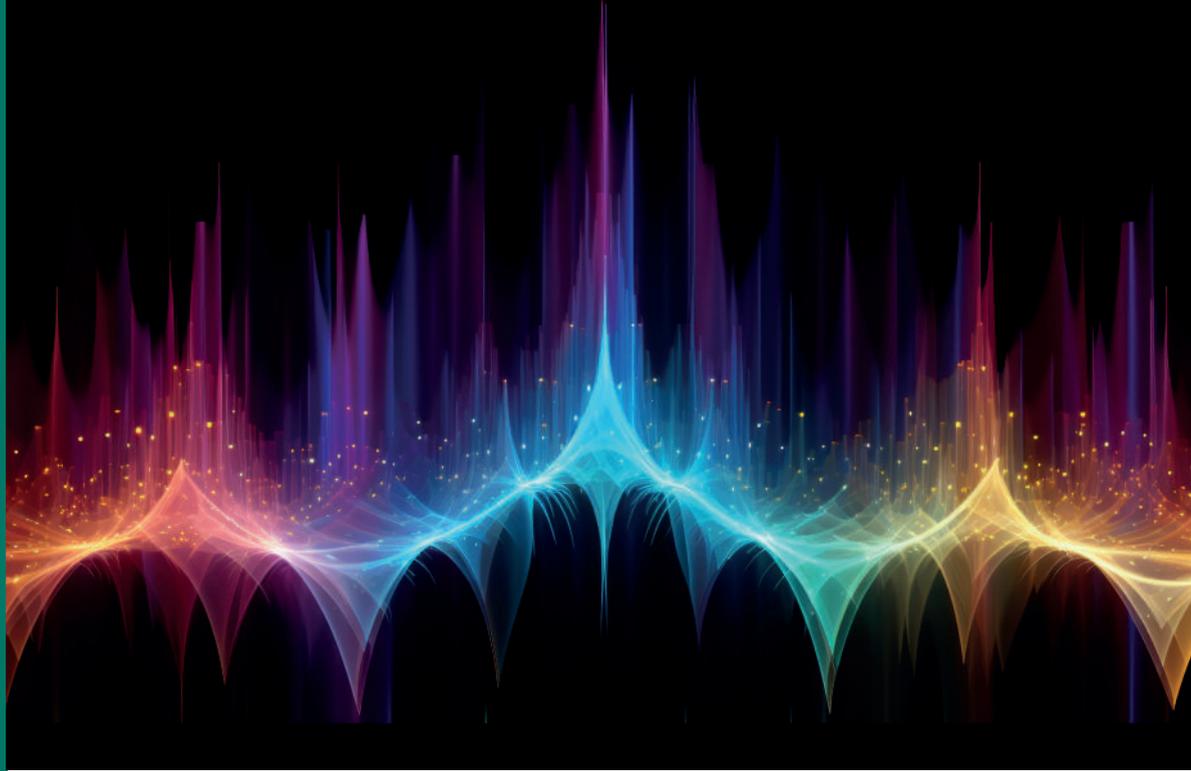
La réalité augmentée comme la réalité virtuelle sont, aujourd'hui, explorées pour faciliter l'ablation de certaines tumeurs. C'est notamment le cas pour les tumeurs cérébrales. À l'aide de lunettes adaptées, les chirurgiens ont accès aux images 2D et 3D recueillies en phase préopératoire et «ajoutées» à la réalité, pour un aperçu tridimensionnel de la position de la tumeur et de ses structures environnantes, une planification de l'intervention plus précise et des gestes plus intuitifs lors de la chirurgie. Des casques de réalité virtuelle sont également en cours de développement pour stimuler durant l'intervention certaines fonctions cognitives des patients laissés éveillés, et s'assurer que des zones essentielles du cerveau

ne sont pas affectées durant l'opération. Par ailleurs, dans le cas de la chirurgie du sein, la spin-off de l'Institut Curie et de l'Institut Pasteur a mis au point il y a peu un logiciel pour «transformer» les clichés IRM et scanners en représentations en relief. À l'aide d'un casque, médecins et chirurgiens peuvent ainsi, en amont de l'opération, naviguer à travers les images 3D obtenues, observer la tumeur mammaire sous tous les angles et décider de la stratégie chirurgicale la plus adaptée. Une étude menée auprès de neuf internes et de neuf chirurgiens de l'Institut Curie a démontré que les erreurs d'interprétation étaient divisées par quatre et le gain de temps multiplié d'autant, d'après les concepteurs.

# RADIOFRÉQUENCE

## DU FOIE JUSQU'À L'OS

Développée à la fin des années 1990, cette technique dite de thermoablation est aujourd'hui couramment utilisée pour le traitement des cancers primitifs du foie. Elle trouve également des applications dans d'autres cancers, comme les cancers du poumon ou du rein.



### DE LA THÉORIE...

La radiofréquence permet de détruire les cellules cancéreuses grâce à la chaleur dégagée par une ou plusieurs électrodes introduites dans la tumeur. Elle est utilisée lorsque la chirurgie est difficile ou impossible en raison de la localisation de la tumeur ou de l'état de santé du patient. Réalisée seule ou en association avec d'autres traitements, elle est généralement réservée à des tumeurs ou lésions de diamètre inférieur à 3 cm (grand maximum 5 cm) situées dans le foie, les poumons et le rein, ou encore en cas de métastases dans les os.

### À LA PRATIQUE

L'objectif est de faire passer un courant électrique alternatif de haute fréquence *via* une ou plusieurs électrodes-aiguilles en métal, reliées à un générateur. La chaleur émise entraîne la nécrose des cellules cancéreuses. En fonction de la taille, du nombre et de l'emplacement des tumeurs, la procédure s'effectue « *en percutané par guidage échographique ou scanner* », « *plus rarement sous endoscopie via les voies naturelles* », « *par coelioscopie* » ou encore « *au cours d'une chirurgie ouverte pratiquée pour enlever d'autres tumeurs* », détaille >>>

»»» Le Pr Thierry de Baère, médecin radiologue au sein de l'équipe de radiologie interventionnelle de l'Institut Gustave Roussy, à Villejuif.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Dans les années 1980, les principales techniques thermoablatives des tumeurs sont les lasers, les micro-ondes ou encore la cryoablation, développées en parallèle de techniques « chimiques » telles que l'injection percutanée d'alcool pur (éthanol) ou de la chirurgie. C'est à la fin des années 1990 qu'apparaît la technique de la radiofréquence. « L'échauffement provoqué à la pointe d'une ou de plusieurs aiguilles ou sondes, appelées 'électrodes-aiguilles', entraîne la nécrose des cellules tumorales », résume le Pr Robert Benamouzig, chef du service de gastro-entérologie de l'hôpital universitaire Avicenne de l'AP-HP, à Bobigny.

## Une température entre 60 et 100°C

L'enjeu a été, poursuit-il, « de trouver le juste équilibre pour générer, via un courant électrique à haute fréquence, une chaleur suffisante sur une zone très restreinte qui ne soit pas délétère pour les tissus sains ». À ce jour, le courant émis élève ainsi la température à 60 voire 100 °C autour des électrodes. « La technique est désormais utilisée quasi quotidiennement, notamment pour le traitement des carcinomes hépatocellulaires qui représentent 80 à 90% des cancers primitifs du foie. Depuis quelques

années, ses indications se sont étendues aux adénocarcinomes ou encore aux tumeurs endocrines », poursuit le Pr Benamouzig. La radiofréquence a également rejoint l'arsenal thérapeutique dans les cas de cancers du poumon, du rein et de l'os.

## Alternative ou complément à la chirurgie

« Moins invasive qu'une chirurgie, elle s'effectue aujourd'hui essentiellement par radiologie interventionnelle », relate le professeur. Les électrodes sont introduites par voie percutanée à l'aide de fins



Cathéter d'ablation par radiofréquence

cathéters sous guidage par imagerie; « l'on évite ainsi d'exposer des patients fragiles à une chirurgie qui serait, pour eux, trop à risque. » Réalisé sous anesthésie générale, le traitement dure en moyenne une vingtaine de minutes.

La radiofréquence peut toutefois être réalisée « à ventre ouvert, par un chirurgien, à l'occasion d'une chirurgie pratiquée pour enlever d'autres tumeurs » ou, depuis le début des années 2000, « par voie endoscopique, pour quelques cas rares tels que les tumeurs endocrines du pancréas de moins d'un centimètre, par exemple », ou encore « la destruction de lésions précancéreuses sur la paroi œsophagienne » grâce à de petites sondes ou de fins cathéters à ballonnet auto-ajustable comportant, à leur extrémité, une électrode. Le gastro-entérologue est, dans ce cas, à la manœuvre.

## De nouvelles solutions pour les patients

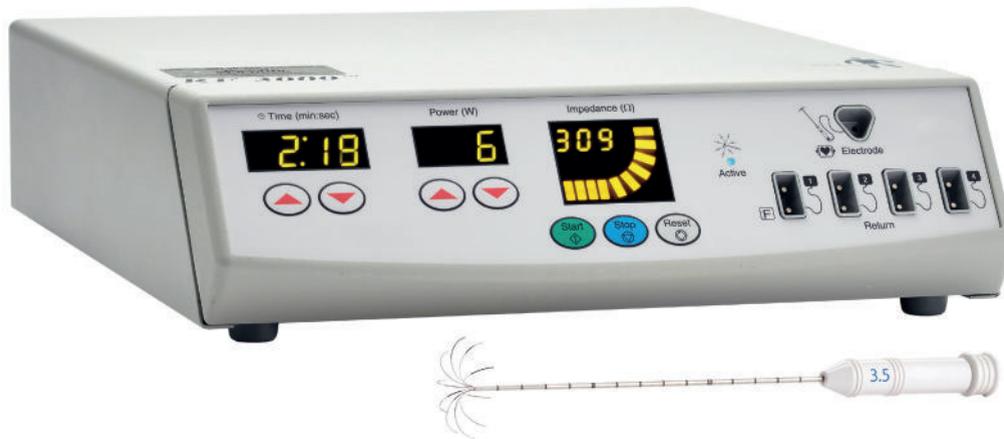
« La radiofréquence, à l'image d'autres techniques de traitement des cancers moins invasives que la chirurgie, étend les solutions thérapeutiques à des cas complexes et/ou à haut risque que nous ne pouvons pas – ou seulement difficilement – traiter auparavant, ce qui, littéralement, change la vie d'un certain nombre de nos patients, assure le Pr Benamouzig. Le carcinome hépatocellulaire, à titre d'exemple, est ainsi essentiellement traité par radiofréquence aujourd'hui, la chirurgie n'étant quasiment plus réservée qu'aux cas de transplantations hépatiques. » Il existe un autre avantage:

Fin des années  
1990

Début de la radiofréquence  
en oncologie

Début des années  
2000

Essor des dispositifs adaptés à la  
radiofréquence par endoscopie



en cas de récurrence du cancer, il est possible de réintervenir relativement facilement si nécessaire. Un contrôle par scanner ou IRM est généralement effectué pour s'assurer que le cancer n'est pas réapparu.

## Pour des tumeurs de moins de 5 centimètres

Cette technique offre un diamètre de destruction de 5 centimètres maximum. Toutefois, celle-ci est généralement réservée à des tumeurs primitives ou secondaires de plus petite taille. « L'ablation d'une tumeur hépatique par radiofréquence est efficace à plus de 90% dans le cas des tumeurs d'un diamètre inférieur ou égal à 2,5 centimètres. À partir de 4 centimètres, l'efficacité n'est plus que de 60% », pointe le Pr Thierry de Baère.

6 413

## Chiffre clé

C'est le nombre de patients traités pour destruction de tumeur hépatique par radiofréquence en 2022.

Source : Avis de la CNEDiMTS, juillet 2023.

## ULTRASONS FOCALISÉS

# UNE IDÉE FRANÇAISE

Le traitement par ultrasons focalisés de haute intensité consiste à détruire par la chaleur les cellules tumorales, sans incision. Initié dans la prise en charge du cancer de la prostate, il présente un intérêt certain pour d'autres pathologies, comme le cancer du sein.



### DE LA THÉORIE...

Le traitement par ultrasons consiste à concentrer, de manière très précise, des ultrasons de haute intensité sur la zone à traiter jusqu'à la destruction des cellules cancéreuses; ceci, sans endommager les tissus et organes sains environnants, tels que le sphincter urinaire et les nerfs érecteurs dans le cas du cancer de la prostate, premier type de cancer pour lequel cette technique a été développée.

### À LA PRATIQUE

Proposé en alternative à la chirurgie et à la radiothérapie, ce traitement est non-invasif et ne laisse aucune cicatrice. Il peut d'ailleurs, plus facilement que la radiothérapie, être répété. Les ultrasons de haute intensité émis par une sonde sont focalisés sur la cible à détruire. Dans le cas du cancer de la prostate, la sonde – qui embarque également un échographe – est introduite dans le rectum.

1993

Premier traitement  
d'un cancer de la  
prostate par HIFU

1999-2000

Commercialisation  
du premier dispositif de  
traitement par ultrasons  
en Europe

2013

Fusion d'images  
IRM-échographie  
désormais possible  
en temps réel



59 885

### Chiffre clé

C'est le nombre de nouveaux cas de cancers de la prostate en France chaque année. L'âge médian au diagnostic est de 64 ans et le taux de survie nette à 5 ans est de 93%.

Source : « Panorama des cancers en France », édition 2024, INCa.

À noter que la technique est également à l'étude pour le traitement des cancers du sein, du foie ou du pancréas, par exemple.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

L'idée a germé au cours des années 1990. « À cette époque, une équipe du service d'urologie du CHU de Lyon, une unité mixte de recherche Inserm sous les tutelles de l'Université Claude Bernard Lyon 1, de l'Inserm et du Centre Léon Bérard, ainsi qu'une entreprise, collaborent autour d'une méthode de 'lithotritie extracorporelle' visant à réduire les calculs en une multitude de fragments qui seront ensuite éliminés avec les urines, explique le Pr Sébastien Crouzet, professeur des universités-praticien hospitalier (PU-PH) et chirurgien urologue à l'hôpital Édouard Herriot du CHU de Lyon. Elle repose sur l'utilisation d'ondes de choc ultrasonores traversant la peau et les tissus mous sans les altérer. » Une technique devenue un traitement de référence dans la prise en charge des calculs. « Dans le même temps, l'idée d'utiliser les ultrasons de haute intensité de manière focalisée (HIFU) pour générer de la chaleur émerge, détaille-t-il. Après une preuve de concept sur les souris, la technique a été testée puis validée chez l'homme pour le traitement des tumeurs prostatiques. »

## Un traitement non-invasif

« Le principe est de générer une chaleur suffisante pour brûler les tissus situés au point de convergence des ultrasons de haute intensité – et uniquement >>>

» à cet endroit précis – sans effraction, c'est-à-dire sans avoir ni à inciser les patients, ni à utiliser d'aiguilles, poursuit le P<sup>r</sup> Crouzet. Les faisceaux d'ultrasons sont émis à l'aide d'une sonde équipée d'un échographe et introduite dans le rectum. Au niveau du point focal, la température dépasse les 80 à 90 °C. » La procédure « s'effectue en une seule séance, d'une heure environ », éventuellement sous anesthésie générale, sinon sous anesthésie locorégionale. « Le patient peut sortir de l'hôpital le jour même ou le lendemain » de son intervention, et « retrouve une vie quasiment normale en moins d'une semaine. » Une sonde urinaire est simplement posée pour 24 heures.

### Une alternative aux solutions « totales »

À ce jour, « la prostatectomie et la radiothérapie restent les traitements de référence du cancer de la prostate », rappelle le P<sup>r</sup> Crouzet. Le traitement par HIFU présente néanmoins de nombreux intérêts pour le patient. Par rapport à la chirurgie, elle occasionne en effet moins de risques de complications, réduit le temps de récupération et diminue fortement le risque d'incontinence urinaire ainsi que de troubles de l'érection.

Quant à la radiothérapie, « la durée moyenne du traitement est de 7 à 8 semaines avec des séances quotidiennes d'environ 15 minutes, 4 à 5 jours par semaine », ce qui est plus contraignant. Le « rectum et la vessie peuvent en outre être touchés lors de la procédure », relève-t-il également.

### Plusieurs indications validées

La technique se répand ainsi en Europe et aux États-Unis. Elle est aujourd'hui indiquée « en première intention chez les patients âgés – généralement de plus de soixante-dix ans – pour lesquels toute la prostate doit être traitée mais pour lesquels la chirurgie n'est pas recommandée », en « alternative à la radiothérapie » ou « chez les patients atteints d'une tumeur limitée pour préserver la glande et réduire le risque d'effets secondaires », liste le P<sup>r</sup> Crouzet. Elle est également « intéressante en deuxième intention pour les patients en rattrapage post-radiothérapie externe, c'est-à-dire lors de récurrence de cancer après radiothérapie. En effet, dans ce cas, non seulement le cancer est souvent plus agressif mais, en plus, les tissus de la prostate ont été fragilisés par les rayons ». Cela évite aux patients de se voir prescrire une « hormonothérapie palliative à vie pour contrôler le cancer », qui s'accompagne du risque que celui-ci finisse par y devenir résistant.

### Fusion d'images et contrôle en temps réel

Aujourd'hui, deux types de dispositifs existent pour la mise en œuvre du traitement : l'un français, originel, l'autre américain. « Ils reposent sur le même principe, bien que quelques légères différences existent entre les deux », note le P<sup>r</sup> Crouzet. Tous deux se sont considérablement perfectionnés avec le temps. Les sondes se sont affinées. « Les dispositifs les plus

récents permettent en outre aujourd'hui de fusionner en temps réel les images et données diagnostiques obtenues grâce à l'IRM et à la biopsie échoguidée avec les images échographiques 3D captées par la sonde de traitement. Et ce, pour un repérage précis de la zone à traiter. »

En cours d'intervention, le chirurgien urologue « peut également constater, grâce à l'échographie de contraste, si la tumeur a été entièrement détruite ou s'il faut relancer une salve d'ultrasons » (lire sur le sujet la partie 1 « Onco-imagerie », p. 8-29). L'enjeu ? Être « le plus précis dans le diagnostic, le ciblage et le traitement des tumeurs », explique le PU-PH.



## MICRO-ONDES

# UNE AUTRE ÉNERGIE AU SERVICE DU RADIOLOGUE

L'ablation par micro-ondes est, au même titre que l'ablation radiofréquence ou laser, une technique dite de « thermoablation ».

## DE LA THÉORIE...

Le recours aux micro-ondes vise à traiter les tumeurs « par le chaud » à l'aide d'une ou de plusieurs antennes ou aiguilles placées en leur centre. Cette technique est envisagée en cas de petites tumeurs (de moins de 4 centimètres de diamètre en général) situées au sein du foie, des poumons, des reins ou encore des glandes surrénales, pour des patients présentant des contre-indications chirurgicales. Des essais randomisés sont en cours pour évaluer l'équivalence de cette technique avec la résection chirurgicale des métastases hépatiques.

## À LA PRATIQUE

Émises par un générateur externe, les micro-ondes interagissent avec les molécules d'eau, provoquant une élévation thermique à l'extrémité des antennes et donc une nécrose. Concrètement, le but est « de porter les tissus à des températures atteignant 160 à 180 °C, précise le Pr Thierry de Baère, médecin radiologue au sein de l'équipe de radiologie interventionnelle de l'Institut Gustave Roussy, à Villejuif. La fréquence des micro-ondes utilisée varie entre 915 et 2 450 MHz, un niveau bien supérieur à celui de la radiofréquence (400 à 450 kHz). La conséquence est une longueur d'onde plus courte, de l'ordre de 30 centimètres, qui permet aux antennes de micro-ondes d'émettre dans l'organisme sans besoin de plaque de dispersion ». La procédure peut durer une dizaine de minutes. Elle est utilisée en radiologie

interventionnelle, sous guidage par IRM, scanner ou échographie, voire – plus rarement – à l'occasion d'une chirurgie ouverte.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Le chirurgien japonais Katsuyoshi Tabuse a, dès 1979, l'idée de recourir aux micro-ondes pour coaguler les berges de résection d'un carcinome hépatocellulaire (CHC), avant d'explorer la technique à des fins curatives pour les cancers du foie dans le courant des années 1980. Plus tard, au début des années 2000, le champ d'action de ce procédé est étendu aux tumeurs pulmonaires voire rénales et surrénales, complétant ainsi l'arsenal thérapeutique à disposition des soignants à côté >>>

### Chiffre clé

# 10 580

En France, l'incidence du cancer primitif du foie a presque triplé entre 1990 et 2018, année au cours de laquelle on recense près de 10 580 nouveaux cas, dont 80% chez l'homme.

Source : Santé publique France.

» de la radiofréquence, des ultrasons focalisés de haute intensité (HIFU) ou du laser, en complément ou en alternative à la chirurgie et/ou à la chimiothérapie. Les progrès en imagerie facilitent le repérage des lésions à traiter comme le contrôle du bon déroulement de l'ablation. La technicité des antennes s'accroît, pour des zones d'ablation à la fois sphériques, prédictibles et reproductibles.

## Une alternative à la radiofréquence

« Le choix de la thérapeutique et de l'énergie utilisées pour traiter les tumeurs s'effectue en fonction de la taille, de la localisation et de la vascularisation de

la zone à traiter », résume le Pr de Baère. L'ablation percutanée de tumeurs par micro-ondes est, en l'occurrence, « une approche alternative à la radiofréquence pour traiter des lésions primaires et secondaires. Elle permet d'atteindre une température intra-tumorale plus élevée et de plus grands volumes d'ablation tumorale. Plus rapide, elle est également plus efficace en théorie à proximité des vaisseaux, en limitant l'effet de convection thermique, c'est-à-dire de dissipation de chaleur. La technique est ainsi très utilisée dans le foie. Elle l'est moins dans les poumons et les reins, pour réduire le risque d'affecter des parties nobles. Pour des tumeurs atteignant les os, en revanche, la cryoablation est plutôt privilégiée », conclut le professeur.



Système d'ablation thermique

## Quid des techniques d'ablation non thermiques ?

On retrouve, parmi les techniques d'ablation non thermiques, l'ablation chimique par injection percutanée d'éthanol ou d'acide acétique, l'ablation par thérapie photodynamique laser – qui consiste à sensibiliser les tissus cancéreux à l'action de la lumière par l'injection préalable d'une molécule photosensibilisante –, ou encore l'électroporation réversible ou irréversible. Cette dernière permet d'ouvrir les pores des membranes cellulaires par application d'un champ électrique de forte intensité grâce à des électrodes. Cet effet est obtenu par interaction avec le champ électrique de la couche phospholipidique membranaire qui est électriquement chargée.

L'électroporation peut être réversible – les pores cellulaires sont ouverts temporairement pour y laisser entrer de la chimiothérapie,

laquelle cible les cellules cancéreuses – ou irréversible. L'idée est alors d'ouvrir définitivement les pores cellulaires pour obtenir la détérioration irréversible des mécanismes d'homéostasie cellulaire, et donc des cellules, qu'elles soient tumorales ou saines.

« Cette technique, réalisée en radiologie interventionnelle, est en règle générale privilégiée par rapport à la radiofréquence dans le traitement des métastases hépatiques dans des localisations délicates, notamment au contact des vaisseaux qui réduisent l'efficacité de la radiofréquence ou des voies biliaires qui sont à risque de dommage thermique », précise le Pr Thierry de Baère, médecin radiologue au sein de l'équipe de radiologie interventionnelle de l'Institut Gustave Roussy, à Villejuif.

# UN FROID SUR LES TUMEURS

Il existe des méthodes de destruction des tumeurs par le « chaud »... mais aussi par le « froid ». Tel est l'enjeu de la cryoablation.



### DE LA THÉORIE...

La cryoablation est une technique qui permet de détruire les tumeurs grâce à des températures très basses, tout en respectant les tissus environnants.

### À LA PRATIQUE

Elle consiste à faire pénétrer une aiguille creuse de 10 à 20 cm de longueur dans la tumeur. L'aiguille est reliée à deux bouteilles de gaz, l'une remplie d'argon ou d'azote liquide, l'autre d'hélium, toutes deux connectées à un générateur. L'argon ou l'azote est mis sous haute pression et envoyé dans l'aiguille pour abaisser la température jusqu'à -20 voire -40 °C à son extrémité, afin d'y former une boule de glace de forme ovoïde. S'ensuit une série de cycles de refroidissement puis de réchauffement grâce à l'hélium, pour détruire progressivement les cellules cancéreuses. La procédure, guidée par échographie, scanographie ou IRM,

est généralement réalisée sous anesthésie locale. En fonction de la taille mais aussi de la localisation de la tumeur, il est possible d'apposer deux ou trois aiguilles au lieu d'une.

### Chiffre clé

# 95 %

« Les études ont montré des taux de réussite du traitement par cryoablation de l'ordre de 95 % pour les tumeurs de moins de 3 cm », selon le Pr Thierry de Baère, de l'Institut Gustave Roussy (Villejuif).

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

L'utilisation du froid pour soigner remonte à 3000 av. J.-C. Le remède est toutefois réservé alors aux fractures et aux plaies. La première application de la cryothérapie pour les tumeurs est attribuée au Dr James Arnott au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle. Après avoir décrit les bénéfices de l'application locale de froid pour les traitements des maux de têtes ou névralgies, il recourt à des solutions de glace pilée entre -18 et -24°C sur des cancers de la peau, du sein ou du col de l'utérus; en 1851, il observe une diminution de la taille des cancers et de la douleur ressentie.

### Essor de la technique

L'idée fait son chemin et, peu à peu, de nouvelles méthodes de cryogénie apparaissent, qui permettent d'obtenir des températures extrêmement basses (entre -40 et -196°C): air liquide, oxygène liquide, neige carbonique, argon puis azote liquide. D'abord réservée aux lésions cutanées (verrues, condylomes, lupus et tumeurs), la technique finit par être étendue au traitement de cibles internes au cours du XX<sup>e</sup> siècle, notamment en oncologie pour le traitement de tumeurs du sein, de l'utérus, du cerveau, osseuses, hépatiques, rénales, voire (par voie transurétrale) de la prostate. Les progrès considérables de l'imagerie dès la fin des années 1980 facilitent ensuite les procédures pour le repérage préopératoire des lésions et tumeurs cancéreuses, de même que le guidage et le monitoring en temps réel des gestes par échographie, IRM et scanner lors de l'intervention!

1851

Première  
cryothérapie sur  
des cancers

2005-2006

Première utilisation d'azote  
liquide pour traiter un cancer  
du sein par cryoablation

2023

Le National Comprehensive  
Cancer Network (NCCN)  
ajoute la cryoablation dans ses  
recommandations de pratique  
clinique en oncologie

### Au cœur de l'arsenal thérapeutique

«La cryoablation est devenue, pour le traitement des cancers, un outil clinique de routine, pointe le Pr Thierry de Baère, médecin radiologue au sein de l'équipe de radiologie interventionnelle de l'Institut Gustave Roussy, à Villejuif. Cela a notamment été rendu possible par la miniaturisation des aiguilles il y a un peu plus d'une dizaine d'années. Leur diamètre mesure aujourd'hui autour de 2 mm, contre 6 à 8 mm auparavant, ce qui réduit grandement le risque d'hémorragie et d'infection.» La possibilité d'utiliser plusieurs aiguilles simultanément et indépendamment, tout comme l'automatisation des cycles de cryothérapie, ont aussi facilité les procédures. Les gaz à disposition sont l'argon et l'azote liquide, une alternative moins coûteuse avec un appareillage plus petit.

### Tumeurs de moins de 5 cm

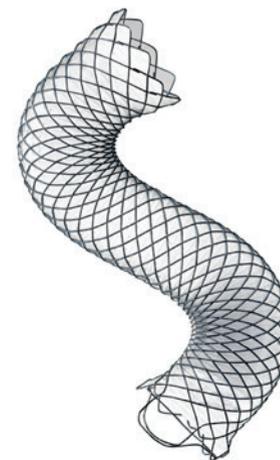
« Cette technique est indiquée pour les tumeurs de moins de 5 cm – et idéalement de moins de 3 cm –,

situées plutôt au niveau de l'os ou des organes pleins comme le foie, le rein et le poumon, voire les glandes surrénales », poursuit le Pr de Baère. L'avantage: « La formation d'une boule de glace de forme ovoïde au bout de l'aiguille (ou des aiguilles) facilite le monitoring du traitement. Celui-ci est, en outre, un peu plus respectueux des organes environnants que les techniques d'ablation ayant recours aux micro-ondes ou à la radiofréquence. » Néanmoins, « la technique est plus onéreuse du fait de l'utilisation de gaz », complète-t-il. Par ailleurs, « une fois le patient installé et la ou les aiguilles positionnées, le traitement dure environ 30 minutes, contre 5 à 15 minutes pour les méthodes 'par le chaud' ». Mais « l'effet anesthésiant du froid favorise le recours à l'anesthésie locale ou à la sédation, plus légère que l'anesthésie générale », poursuit-il. Les patients peuvent généralement rentrer chez eux le soir-même ou le lendemain. « Selon les études, le taux de survie en cas de tumeur de moins de 3 cm est identique que le patient soit traité par chirurgie ou par cryoablation mais, avec cette dernière, le risque de complications est rare et exceptionnel », conclut le professeur.

## DRAINAGE ET STENTING

# UN ENJEU CRUCIAL: SOULAGER LES PATIENTS

La technique du drainage et/ou de la pose de stent en oncologie est utilisée à des fins palliatives dans le cas de cancers bilio-pancréatiques lorsque les voies biliaires sont obstruées. Elle trouve également des applications aujourd'hui en cas d'obstruction des voies digestives.



### DE LA THÉORIE...

Il arrive qu'une tumeur bloque un canal biliaire et empêche la bile de circuler normalement, si bien que celle-ci s'accumule. Le drainage biliaire permet de rétablir l'écoulement de la bile et de soulager les symptômes comme la jaunisse ou la douleur, mais aussi de prévenir l'infection. Il vise, non pas à traiter le cancer, mais à améliorer la qualité de vie du patient.

### À LA PRATIQUE

Avant les années 90, la bile rétentionnelle était évacuée par la pose d'un drain par voie chirurgicale ou

percutanée vers une poche à l'extérieur du corps ou dans le tube digestif. À la fin des années 90, commencent à être utilisées des prothèses biliaires métalliques ou plastiques (*stents*, en anglais) permettant de maintenir le canal biliaire ouvert et de restaurer l'écoulement normal de la bile.

« Une consultation préalable est nécessaire pour juger de l'absence de contre-indication à l'anesthésie et stopper temporairement l'éventuelle prise de traitements anticoagulants et antiagrégants », détaille le Dr Arthur Belle, gastro-entérologue au sein de l'unité d'endoscopie digestive du service de gastro-entérologie de l'hôpital Cochin (AP-HP).

Un examen d'imagerie – « une échographie abdominale ou un scanner et une IRM pour vérifier que » >>>



»»» *les voies biliaires sont bien dilatées, confirmer la cause de l'obstruction et compléter le bilan pré-thérapeutique du cancer*» – est réalisé en amont du geste. L'intervention se déroule au sein d'un bloc d'endoscopie digestive sous échographie (ou sous échocendoscopie), en présence d'un gastro-entérologue formé en endoscopie interventionnelle, d'un ou deux infirmiers en endoscopie digestive, d'un anesthésiste et d'un infirmier anesthésiste.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Le recours au drainage en oncologie est indiqué «*en cas d'obstruction des voies biliaires, soit principales soit intra-hépatiques*», resitue le Dr Belle. Celle-ci peut être «*causée par un cancer du pancréas ou un cancer des voies biliaires (cholangiocarcinome) ou, plus rarement, par un envahissement ganglionnaire en cas de propagation d'un cancer du côlon, d'un cancer du sein, d'un lymphome, etc.*», énumère-t-il.

## Essor de l'endoscopie

«*Historiquement, les drainages étaient réalisés par voie chirurgicale ou, ce qui est encore parfois le cas, par voie percutanée en radiologie interventionnelle, poursuit le praticien. Dans le premier cas, le risque de fistules était réel et les conséquences pouvaient être majeures. Dans le second cas, les patients ont l'inconvénient de se voir poser à travers la peau un ou plusieurs drains externes. Dès la fin des années 1990, la pose de stents par voie endoscopique s'est alors progressivement développée.*»

Les stents sont introduits à l'aide d'un duodénoscope et d'un fil-guide en passant par les voies naturelles jusque dans la voie biliaire sténosée ou obstruée. La procédure est connue sous le terme de «*cholangio-pancréatographie rétrograde endoscopique*» (CPRE, ou ERCP en anglais). Elle vise à faciliter voire à rétablir l'écoulement de la bile.

## Voies biliaires... et digestives

«*La technique est également utilisée en cas d'obstruction des voies digestives au niveau de l'œsophage, de l'estomac, du duodénum, du colon voire du rectum*», complète le Dr Belle. Les causes de cette obstruction varient : «*Elles peuvent être bénignes, mais restent malheureusement souvent liées à un cancer : cancer de l'œsophage, du poumon ou du sein (dont les ganglions sont en regard*

### Le saviez-vous ?

Une dérivation biliaire par voie chirurgicale peut également être envisagée pour modifier le parcours de la bile et lui permettre de contourner un blocage causé par une tumeur. On peut procéder à une cholédojéjunostomie pour relier le canal cholédoque au jéjunum – une partie de l'intestin grêle – ou à une hépatojéjunostomie pour relier le canal hépatique commun au jéjunum. L'intervention chirurgicale est généralement proposée aux personnes atteintes d'un cancer des canaux biliaires extrahépatiques de stade avancé, notamment lorsqu'il n'est pas possible de poser un stent ou que celui-ci ne permet pas de dégager l'obstruction d'un canal biliaire.

Avant

1990

Drainages par  
voie chirurgicale  
ou percutanée

Fin des années

1990

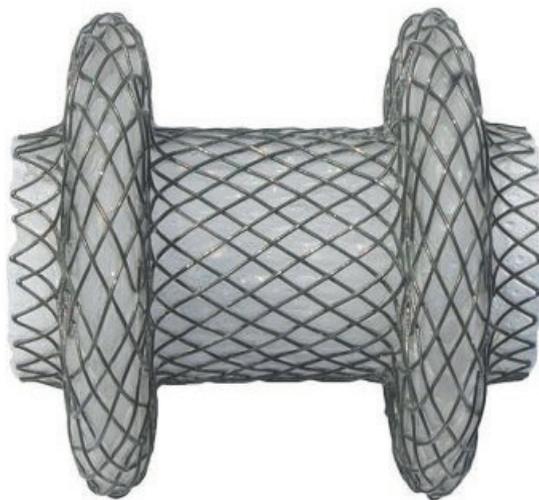
Essor du stenting  
par voie  
endoscopique

2010

Arrivée en Europe des  
premières prothèses  
d'apposition luminales  
de drainage sous  
écho-endoscopie

2015

Développement des  
prothèses d'apposition  
luminales munies  
d'une fonction  
d'électro-cautérisation



de l'œsophage), de l'estomac, du pancréas, du duodénum, du côlon... La pose d'un ou de plusieurs stents permet de rétablir la continuité digestive et, ainsi, le passage normal de l'eau et des aliments, afin que les patients retrouvent un bon transit et/ou ne souffrent plus de vomissements.» Et ce, sans recourir à la chirurgie.

## Réduire le risque d'infection et de dénutrition

« Réalisée sous anesthésie générale, en ambulatoire ou lors d'une journée d'hospitalisation, la procédure dure entre 30 et 90 minutes. Son taux de réussite est de 90% pour la pose de stents dans les voies digestives, et est encore supérieur pour la pose de stents dans les voies biliaires », ajoute le D<sup>r</sup> Belle. Dans les deux cas, la récupération des patients est rapide et le risque de dénutrition, « facteur majeur de complication ou de mauvaise réponse au traitement (chirurgie, chimiothérapie...) en cas de cancer », se trouve réduit. La bile est « indispensable à l'absorption des lipides », rappelle en effet le gastro-entérologue.

## Anastomose des voies biliaires et pancréatiques

Une nouvelle étape est franchie dans les années 2010 avec les prothèses d'apposition luminales sans fonction d'électrocautérisation. Désormais, « lorsque la voie biliaire est totalement obstruée, et en cas d'échec du drainage endoscopique, il est >>>

8 700

### Chiffre clé

C'est le nombre de décès de cancer du foie et des voies biliaires en France en 2021.

Source : « Panorama des cancers en France », édition 2024, INCa.

» possible, par voie écho-endoscopique (c'est-à-dire à l'aide d'un endoscope doté d'une sonde d'échographie miniaturisée) de créer une nouvelle voie de communication en posant une prothèse d'apposition luminale, entre la voie biliaire obstruée et le duodénum ou l'estomac pour un drainage transduodénal ou transgastrique», relève le D<sup>r</sup> Belle.

La réalisation d'anastomose à l'aide de prothèses d'apposition luminales permet à la bile de s'écouler de nouveau dans le tube digestif à travers un « nouveau chemin » – soit via l'estomac, soit via le duodénum.

### Des systèmes « tout en un »

Sont ensuite apparues les prothèses d'apposition luminales munies d'une fonction d'électrocautérisation: « La technique s'est améliorée, diffusée et démocratisée grâce à la mise au point de nouvelles prothèses; auparavant, il fallait ponctionner la voie biliaire sous écho-endoscopie, introduire un fil-guide, créer une ouverture dans le duodénum ou l'estomac et la voie biliaire puis introduire la prothèse – soit quatre étapes un peu longues et techniques avec, à chacune d'elles, un risque d'échec et de complication, note le D<sup>r</sup> Belle. Or, depuis 2014 se développent des prothèses munies d'une fonction d'électrocautérisation innovantes: la prothèse est montée sur une aiguille, à l'intérieur de laquelle figure un dispositif de perforation. Il n'y a donc plus besoin de fil-guide, et les étapes de la procédure sont sécurisées et accélérées. Le taux de succès en est considérablement accru. »

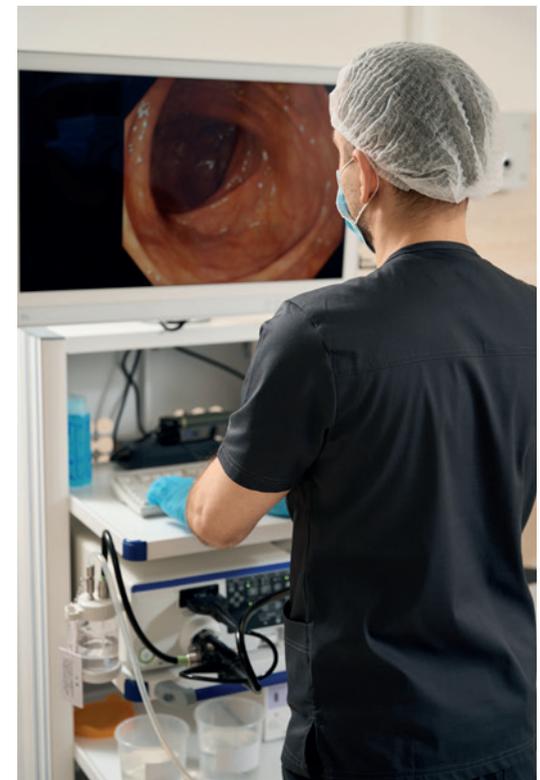
Les dispositifs incluent un ballonnet de dilatation, pour faciliter le passage du cathéter porteur de la prothèse, et une fonction d'électrocautérisation. « La pose de la prothèse en elle-même peut désormais être réalisée en 30 à 60 secondes, contre 20 à 30 minutes en moyenne auparavant. » Au regard de la simplicité de leur pose et de leur efficacité, ce type de prothèses, auparavant réservé aux situations où la CPRE était contre-indiquée, « est de plus en plus proposé en première intention dans certaines indications, comme le cancer du pancréas pour réduire le risque de pancréatite, une complication fréquente de la CPRE », poursuit le spécialiste.

### Développement des indications digestives

En matière d'obstruction des voies digestives, « des progrès notables permettent aujourd'hui de mieux prendre en charge l'obstruction duodénale », ajoute le praticien. Chez certains patients, la tumeur peut bloquer la sortie de l'estomac, empêchant le passage des aliments vers l'intestin. « Auparavant, nous recourions à des stents métalliques de grande taille, placés dans le duodénum pour rouvrir la lumière digestive à ce niveau. Or certains patients ne ressentaient pas, à long terme, l'efficacité de ce dispositif et évoquaient de nouveau, quelques jours après l'intervention, des sensations de satiété précoce par exemple. De là est née l'idée de procéder à une dérivation digestive et de 'court-circuiter' le duodénum, comme le faisaient les chirurgiens digestifs, mais de manière non invasive cette fois: une prothèse

est ainsi placée entre l'estomac et l'intestin grêle pour rapprocher l'estomac et l'intestin grêle. »

La procédure en question, utilisée depuis deux à trois ans, est appelée gastro-entéro-anastomose sous écho-endoscopie. Elle est réalisée à l'aide des prothèses d'apposition luminales évoquées plus haut. « Des études randomisées sont en cours pour confirmer son efficacité par rapport à la prothèse duodénale », conclut le D<sup>r</sup> Belle.



## PROTECTION DES SOIGNANTS

# MAÎTRISER LES RISQUES D'EXPOSITION PROFESSION- NELLE

Les traitements médicamenteux utilisés contre les cancers sont administrés par voie intraveineuse et, dans certains cas, par voie orale. Leur préparation et leur administration par perfusion exposent les professionnels de santé à des risques en établissements de soins comme à domicile. Des procédures et des équipements adaptés ont donc été progressivement mis en place.



### DE LA THÉORIE...

« Nous savons aujourd'hui que les médicaments cytotoxiques et les produits à risque, tels que les antiviraux, largement utilisés dans la chimiothérapie des cancers, représentent un danger pour les équipes soignantes en l'absence de mesures de précaution, relève Sandra Ruitort, pharmacienne et cheffe du service de pharmacotechnie du CHU de Nice. Bien qu'aucune étude n'ait démontré un lien de causalité entre l'apparition de cancers et l'exposition professionnelle, ces traitements présentent des propriétés cancérigènes, mutagènes et génotoxiques. Ils sont encadrés, depuis 2022, par une nouvelle directive européenne concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des produits dangereux. » Cela implique la protection « de l'ensemble des personnels

en contact avec eux, de leur préparation à leur administration », sans oublier les personnels « en charge du transport des traitements ainsi que de la gestion des déchets et de l'entretien ». Les voies de contamination, diverses, sont majoritairement respiratoires (aérosols), cutanéomuqueuses, mais aussi orales et oculaires en cas d'accidents de projection.

### À LA PRATIQUE

L'enjeu est « d'éviter le risque de piqûre, de formation de micro-gouttes, de bris de flacons... », énumère Julien Duquesne, pharmacien au sein du service de pharmacotechnie du CHU de Nice. La formation des équipes aux bonnes pratiques est donc essentielle; le recours à des locaux dédiés et à des équipements sécurisés – sans aiguille, >>>

»»» dotés de connecteurs et de valves empêchant les fuites accidentelles de produit, etc. – est également crucial.

### UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Revenons à l'histoire même de la chimiothérapie en oncologie. En 1948, Sidney Farber, pathologiste américano-polonais, démontre une rémission chez les enfants atteints de leucémie lymphoblastique aiguë lorsqu'ils sont traités avec la méthotrexate,

#### Quid des effets secondaires des « chimios » ?

Les chimiothérapies peuvent entraîner chez les patients divers effets secondaires, qu'elles soient administrées par voie intraveineuse ou orale : fatigue, perte de cheveux, nausées, vomissements, diminution des globules blancs (qui peut augmenter le risque d'infections) ou rouges, diminution des plaquettes (qui peut augmenter le risque de saignement), problèmes gastro-intestinaux, neuropathie périphérique... Ils dépendent du type de médicaments administrés, de leurs doses et de leur association, ainsi que de chaque patient et de son état général.

un antimétabolite. En 1951, l'Américaine Jane Wright révèle l'efficacité de cette substance active sur les tumeurs solides. Pionnière, elle tente des approches multi-médicaments pour augmenter l'efficacité du traitement tout en minimisant les effets secondaires.

La recherche conduit ensuite au développement de nouvelles classes de médicaments anticancéreux (agents alkylants, antimétabolites, anthracyclines, agents ciblés...). Puis, dans les années 1990, l'avènement de tests génétiques permet d'adapter les traitements à la signature génétique du cancer de chaque patient, ouvrant la voie à la chimiothérapie personnalisée ! Une prise en charge d'autant plus individualisée que, désormais, les traitements médicamenteux peuvent être utilisés en association avec d'autres formes de thérapies.

#### Des environnements contrôlés

La chimiothérapie reste, à ce jour, l'un des principaux traitements des cancers. Elle vise soit à détruire les cellules tumorales, soit à les empêcher de se multiplier. Or, ces traitements « de choc » ne sont pas sans risque sur les cellules saines et les muqueuses. La protection des soignants chargés de préparer et d'administrer ces traitements est donc un enjeu majeur.

« Auparavant, dans les établissements de soins français, les chimiothérapies étaient préparées dans les services par les personnels infirmiers. Depuis le début des années 1990, les procédures

#### Des « DASRI » à éliminer

Les déchets médicaux liés aux chimiothérapies (matériel de perfusion, compresses, gants, etc.) doivent être éliminés conformément aux réglementations en vigueur pour éviter toute contamination des personnes comme de l'environnement. Considérés comme des déchets d'activités de soins à risques infectieux (DASRI), ils « sont incinérés à 1200 °C dès qu'ils ont été en contact avec un produit anti-cancéreux concentré », et « à 800 °C s'ils ont été en contact avec un anti-cancéreux dilué », détaille Sandra Ruitort, pharmacienne et cheffe du service de pharmacotechnie du CHU de Nice.

ont été progressivement centralisées au sein des pharmacies hospitalières, relate Anne El Aatmani, pharmacienne hospitalière au sein du CHRU de Strasbourg. Depuis, les préparations sont reconstituées sous hotte ou isolateur pour minimiser la dispersion de particules et d'aérosols potentiellement nocifs, dans des zones à atmosphère contrôlée. Les préparateurs portent des gants en nitrile, une blouse à manches longues, un masque, des lunettes, une charlotte et des sur-chaussures. Toutes les préparations sont vérifiées, par méthode physico-chimique, par vidéo ou par contrôle visuel humain durant la

Années  
1970

Premiers arbres  
d'administration  
de chimiothérapie

Années  
1980

Développement de  
dispositifs de sécurité  
pour minimiser le risque  
de reflux

Années  
1990

Intégration de mécanismes  
de verrouillage dans les  
dispositifs

2009

Premières recommandations pour la sécurité  
des médicaments de chimiothérapie de  
l'American Society of Clinical Oncology (ASCO),  
actualisées en 2016



Dispositif de transfert de solutions cytotoxiques

*préparation (numéro de lot des produits et solvants utilisés, volumes injectés, etc.). La validation des prescriptions et le contrôle des préparations avant leur libération sont effectués par des pharmaciens. Le circuit, de la prescription à l'administration, est tracé informatiquement.»*

## Un référentiel de bonnes pratiques

Les procédures, strictes, sont encadrées par les BPP (Bonnes pratiques de préparation), un référentiel opposable destiné aux pharmaciens d'officine et hospitaliers mis à jour en septembre 2023. «*Les préparateurs doivent suivre une formation spécifique comprenant un volet théorique mais aussi pratique, et renouveler régulièrement leur habilitation, complète Julien Duquesne. Ils sont notamment filmés lors de simulations. Les vidéos font ensuite l'objet d'une restitution globale - anonymisée - et d'un débriefing pour l'amélioration continue des procédures.»*

Par ailleurs, les personnels chargés du transport et de l'administration des préparations sont >>>

372 348

### Chiffre clé

C'est le nombre de personnes traitées en France par chimiothérapie, au cours de l'année 2021.

Source : « Panorama des cancers en France », édition 2024, INCa.

»» «régulièrement formés» pour veiller «à la bonne utilisation des équipements et à la maîtrise du protocole à suivre en cas de piqûre, de fuite de poche de chimiothérapie ou de bris de flacon», précise-t-il, alors que 40 000 préparations sont préparées et administrées chaque année au sein du CHU de Nice.

### Sécurité, de la préparation à l'administration

Au fil du temps, les pharmacies hospitalières ont également pu s'équiper de dispositifs permettant de sécuriser les manipulations, parmi lesquels des percuteurs pour poches et flacons («*spikes*») dédiés à la chimiothérapie. Ces dispositifs de perforation sans aiguille se présentent sous la forme d'une canule en plastique, dotée d'une valve bidirectionnelle qui se referme automatiquement. Clipsables, «ils réduisent le risque de piqûre et de contamination des opérateurs», détaille Anne El Aatmani, pour qui ces systèmes sont «*de vrais plus*». Ils évitent également le risque de fuites ou d'émissions de micro-gouttelettes dans l'air. Tout en un, «ils incluent un système de prise d'air pour équilibrer la pression entre le flacon et l'air ambiant». Ils sont également équipés d'un filtre pour que l'air pénétrant dans le flacon soit dépourvu de bactéries. Le prélèvement, maintenu dans un «système clos», est ensuite introduit dans une poche de solvant pour dilution, toujours sans aiguille, à l'aide de valves bidirectionnelles adaptées. «Cela évite la contamination des préparateurs et de leur environnement de travail par le médicament cytotoxique,

confirme Sandra Ruitort. De plus, la mise à disposition d'une poche purgée à l'aide d'un solvant neutre – chlorure de sodium ou glucose – en salle propre sous poste de sécurité microbiologique (PSM) – et non plus au lit du patient – protège le personnel infirmier dans les services.»

### Essor des arbres d'administration de chimiothérapie

Apparus dans les années 1970, les arbres d'administration de chimiothérapie améliorent, eux aussi, la sécurité du personnel dans les unités de soins. Composés aujourd'hui de plusieurs branches pour le raccordement d'une à six poches de traitement, ils sont dotés, depuis les années 1990, de connecteurs de sécurité conçus pour empêcher les fuites, grâce à des membranes parfaitement étanches, mais aussi les déconnexions accidentelles. Les connecteurs en question se distinguent par un code couleur pour éviter toute confusion avec d'autres solutions intraveineuses – telles que la solution de rinçage, par exemple, destinée à s'assurer que la totalité du traitement est bien délivrée et qu'il n'en reste aucune goutte dans les tubulures. Ces dernières sont d'ailleurs parfois ambrées pour protéger les préparations photosensibles de la lumière. Sur certains modèles récents, une seringue peut également être vissée en toute sécurité pour un rinçage poussé de la poche et de la tubulure en fin de perfusion. Enfin, des filtres garantissent une administration sans particule ni micro-organisme,

des systèmes anti-reflux empêchent tout «retour» du cathéter vers la poche de perfusion, et l'accès aux branches de chimiothérapie non utilisées sont verrouillables pour éviter tout contact avec les médicaments.

### Deux sigles, deux types de dispositifs

Il existe deux types de dispositifs aux caractéristiques et performances distinctes : les CSTD, pour *Closed Safety Transfer Device* ou «dispositifs de transfert en système clos», permettant de protéger les personnels travaillant dans les unités de reconstitution de chimiothérapie (URC) en empêchant la formation d'aérosols de médicaments dangereux et en limitant la contamination de l'environnement de travail ; et les CSSA, pour *Closed Safety System for Administration* ou «système clos sécurisé pour l'administration». Plus récents, moins volumineux et dotés de connecteurs permettant de sécuriser l'embout distal de la ligne de perfusion ainsi que d'en réaliser la purge, ces derniers sont spécifiquement conçus pour la protection des infirmiers administrant les chimiothérapies.

## QUALITÉ DE VIE

# LE CONFORT DES PATIENTS AU CŒUR DES ENJEUX

La qualité des soins et le confort des patients, souvent négligés jusqu'au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, sont aujourd'hui au cœur des prises en charge.



Au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, avec les progrès de la médecine, le traitement du cancer se perfectionne. Les soignants se concentrent toutefois encore essentiellement sur la guérison de la maladie, et ce n'est qu'à la fin du XX<sup>e</sup> siècle qu'un changement de paradigme s'opère avec la prise en compte croissante du confort des patients – à travers les soins palliatifs ou encore les programmes de gestion de la douleur.

Au début des années 2000, les traitements s'individualisent et les préférences des patients sont de plus en plus écoutées. En France, des programmes

de certification de la qualité des centres de cancérologie sont mis en place pour garantir des normes élevées de soins.

### **Bien-être physique, émotionnel, social**

Les Plans Cancer consécutifs (2003-2007, 2009-2013, 2014-2019) et, plus récemment, la stratégie décennale de lutte contre les cancers (2021-2030) considèrent la qualité de vie des patients comme une priorité. Les prises en charge, de plus en >>>



Chambre implantable micro pour la pose mini-invasive au niveau du bras du patient

ses besoins», confirme le Dr Hervé Rosay, médecin anesthésiste-réanimateur au sein du Centre de lutte contre le cancer Léon Bérard, à Lyon.

## Amélioration de l'accès vasculaire

Parallèlement, « la prise en charge des patients nécessitant la pose et la gestion d'accès vasculaires périphériques et centraux s'améliore », poursuit le Dr Rosay. Dans le monde, le Global Vascular Access Network (GloVANet) participe à la diffusion des bonnes pratiques, en mettant tout particulièrement l'accent sur la sécurité et la qualité des soins. En France, un décret en date de septembre 2013 « précise les compétences nécessaires en la matière et établit les exigences en termes de formation des soignants ; il favorise également la mise en place d'unités spécialisées dans les établissements de santé, notamment médico-infirmières et appelées 'centres d'accès veineux vasculaires', souligne le spécialiste. Cela a favorisé l'organisation et la professionnalisation des équipes, réduit les risques de complications et, par ailleurs, diminué le délai d'attente des patients pour accéder à leur chimiothérapie, leur soin de confort, une nutrition parentérale ou encore un antidouleur intraveineux ».

Au sein de l'unité spécialisée du Centre Léon Bérard, ce sont ainsi en moyenne « 3500 cathéters par an » qui sont posés à l'heure actuelle, « contre 600 il y a une quinzaine d'années ». À l'époque, « les patients que nous ne pouvions prendre en charge

au sein de notre établissement étaient adressés dans les établissements situés alentours », détaille-t-il. Une modalité qui n'est aujourd'hui plus nécessaire. En conséquence, leur « délai d'attente pour une prise en charge est aujourd'hui réduit : entre trois et cinq jours en moyenne, voire dans la journée en cas d'urgence ».

## Échographie et ECG endocavitaire

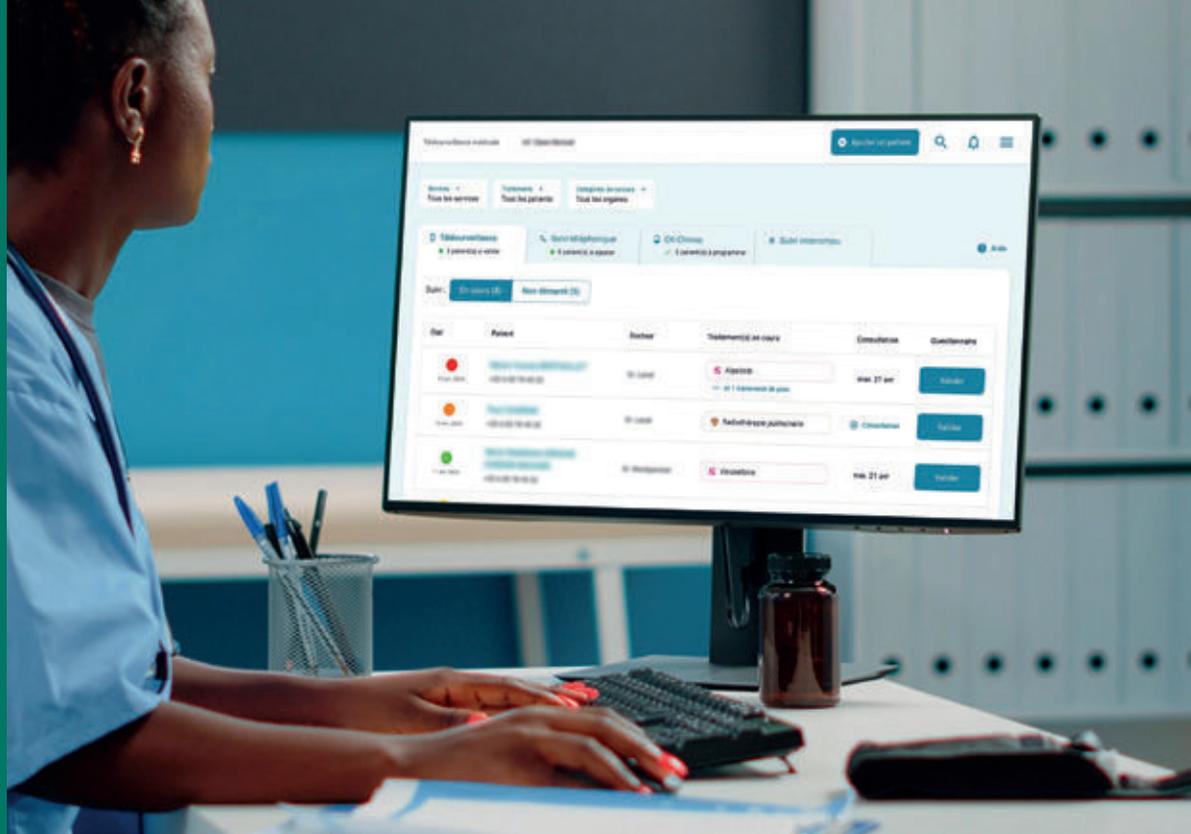
Dans le même temps, « l'arrivée du polyuréthane pour des cathéters plus flexibles, plus résistants et moins traumatisants pour le corps, mais aussi des micro-introducteurs, de l'échographie et, plus récemment, de l'électrocardiogramme endocavitaire » ont permis « d'améliorer la technique, et donc le vécu de la pose d'un accès veineux qui ne nécessite désormais généralement qu'une anesthésie locale », relève le Dr Rosay.

Aujourd'hui, les dispositifs d'accès veineux disponibles, de plus en plus petits, discrets et esthétiques, sont ainsi de deux sortes : les chambres implantables, placées chirurgicalement au niveau du thorax – voire du bras désormais –, et reliées à un cathéter lui-même placé dans une veine (à chaque perfusion, les médicaments sont injectés directement dans la chambre implantable à travers la peau) ; et les cathéters veineux centraux, insérés dans une veine du bras (l'injection s'effectue via l'embout du cathéter, qui « sort » du corps et est maintenu en place à l'aide de quelques points de suture).

» plus personnalisées, multidisciplinaires et holistiques, englobent, outre la lutte contre la maladie elle-même, le soulagement des symptômes, la gestion des effets secondaires et le soutien psychosocial. Une forte attention est portée à l'information, à l'avis et à l'adhésion du patient à son traitement. « Il est fondamental d'être centré sur le patient et sur

# AU PLUS PRÈS DES PATIENTS À DOMICILE

Facilitée par l'essor de solutions numériques sur-mesure, la télésurveillance favorise la continuité de la prise en charge de certains patients atteints de cancer, ainsi que la détection précoce des effets secondaires liés aux traitements prescrits.



### DE LA THÉORIE...

En oncologie, la télésurveillance consiste, *via* une solution numérique, à analyser les données fournies par les patients à domicile ainsi que les éventuelles alertes qu'elles déclenchent pour anticiper et prévenir les complications de la maladie ou les effets secondaires des traitements (immuno-thérapie, chimiothérapie...). Mais elle ne remplace en aucun cas la consultation à intervalles réguliers avec le médecin spécialiste.

### À LA PRATIQUE

Concrètement, les patients remplissent (seuls ou avec un aidant), généralement chaque semaine, un questionnaire standardisé sur leurs symptômes mis à leur disposition *via* une plateforme web, un logiciel ou une application mobile. Leurs réponses sont évaluées grâce à un algorithme et génèrent, si nécessaire, une alerte auprès de l'équipe soignante qui prend alors les mesures qui s'imposent. Naturellement, le patient peut aussi >>>

»» signaler grâce à l'outil des symptômes ressentis entre les questionnaires prévus.

L'enjeu? Assurer un suivi étroit des patients entre leurs rendez-vous médicaux, les rassurer et identifier précocement les symptômes ou effets indésirables de leur traitement (nausées, douleurs, fièvre, etc.) pour réduire leur risque d'hospitalisation. La télésurveillance, prescrite par l'oncologue, peut être proposée à tout type de patient atteint de cancer même si, dans les faits, sa mise en place est fonction du protocole de soins auquel est intégré chaque patient.

### UNE HISTOIRE D'INNOVATION

En plein essor, la télésurveillance en oncologie – avec gestion des alertes par des infirmières dédiées de coordination – fait l'objet d'études cliniques depuis une dizaine d'années. La première étude randomisée sur le sujet (*Berry et al.*) a ainsi été menée aux États-Unis auprès de 581 patients ambulatoires atteints de tout type de cancer (y compris des tumeurs hématologiques pour 18% d'entre eux) débutant un nouveau traitement de chimiothérapie. Publiée en 2014, celle-ci révèle un meilleur contrôle des symptômes ressentis par les patients grâce à ce système de suivi à distance. En 2017, une autre étude américaine (*Basch et al.*) incluant 766 patients atteints d'un cancer solide en situation métastatique démontre, pour sa part, un bénéfice tant sur la qualité de vie et la survie globale des patients que sur la réduction des passages aux urgences!

### Pleinement reconnue en oncologie

La télésurveillance est d'ailleurs désormais pleinement reconnue en oncologie. Lors du congrès de la Société française de santé digitale, organisé à Paris les 5 et 6 octobre 2022, le Pr Fabrice Denis, oncologue-radiothérapeute au sein du centre de cancérologie Jean Bernard, au Mans, mais aussi président de l'Institut national de la e-santé (INeS) depuis mai 2022, a évoqué «*la convergence de huit études randomisées*» sur les bénéfices de la télésurveillance.

Lui-même a mené une étude randomisée, baptisée «*Sentinel*» et publiée dans le *Journal of the National Cancer Institute (JNCI)*, ayant conduit en France à la prise en charge dans le droit commun, par l'Assurance maladie, d'une solution de télésurveillance dès juillet 2021. Les essais cliniques ont apporté la preuve d'une amélioration de la survie globale de 7,6 mois grâce à ce dispositif médical associé à un questionnaire hebdomadaire simple visant à détecter une récurrence ou une complication pendant le suivi de patients atteints d'un cancer du poumon. Cela nécessite néanmoins «*de disposer d'infirmières de coordination, de dégager du temps médical pour gérer les alertes et de former tous les acteurs – y compris les patients*», insiste le Pr Denis.

### De plus en plus de patients suivis à domicile

Les progrès médicaux et thérapeutiques, incluant notamment l'essor des traitements anticancéreux

oraux, conduisent en parallèle de plus en plus les patients à poursuivre leur traitement à domicile. «*Ce qui donne ainsi tout son sens à la télésurveillance*», évoque le Pr Jean-Pierre Delord, médecin oncologue et directeur général du Centre de lutte contre le cancer Oncopole-Claudius Regaud au sein de l'Institut universitaire du cancer de Toulouse (IUCT Oncopole).

Dans son établissement, comme dans d'autres, «*nous avons commencé, il y a un peu plus de dix ans déjà, par organiser un télé-suivi à travers des appels téléphoniques aux patients à domicile à intervalles réguliers pour évoquer leur ressenti, s'assurer que tout va bien et identifier d'éventuels symptômes*», se souvient-il. Celui-ci avait été mis en place pour les patients atteints d'un cancer «*de grade 3 ou 4*» et ayant «*plus de 15% de risque d'être confrontés à des effets secondaires des traitements*». Un «*registre de conduite à tenir*» avait alors été élaboré pour les «*infirmiers de coordination*» afin de leur permettre «*de répondre aux questions les plus fréquemment posées par les patients sur la gestion des effets secondaires des traitements*».

### Du suivi téléphonique à la télésurveillance

Puis, «*rapidement, nous avons fait évoluer le système et, chaque fois que cela était possible, nous avons remplacé l'appel sortant par l'utilisation d'un outil de télésurveillance*», poursuit le Pr Delord. Dans ce cadre, les «*patients fournissent des informations simples et claires sur leur état via un questionnaire*

2017

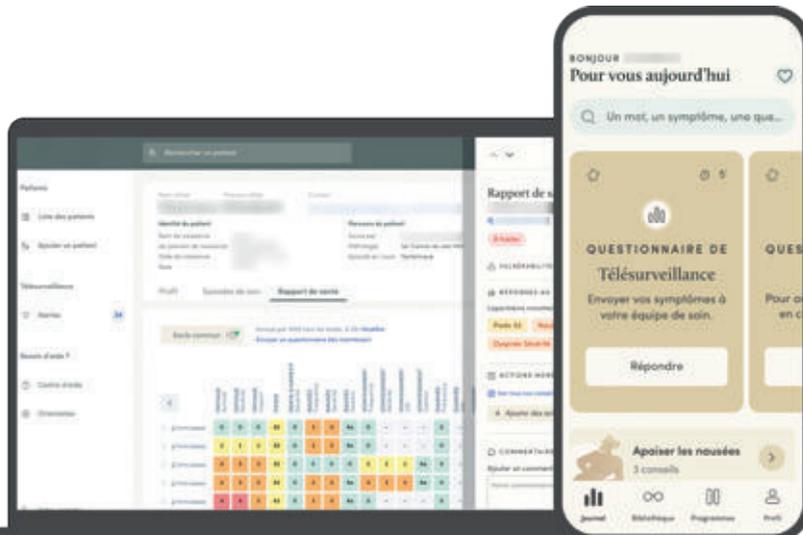
Première étude américaine révélant une amélioration de la survie globale de patients atteints de cancer grâce à la télésurveillance

Juillet  
2020

Première prise en charge en France d'un logiciel de télésurveillance en oncologie dans le cadre du droit commun

Avril  
2022

Premières recommandations internationales sur la télésurveillance en oncologie



50%

## Chiffre clé

La proportion des traitements médicamenteux par voie orale « devrait passer des 25 % actuels à 50 % » d'ici à 2025.

Source : Unicancer.

d'auto-évaluation envoyé par messagerie. Ils peuvent, en complément de leur réponses textuelles ou schématiques, joindre des photos ou des documents. Une option 'chat' est également disponible si besoin.

L'outil utilisé au sein de l'Oncopole, « sécurisé et 100% en ligne », couvre « plus de cinquante parcours de soins », en chirurgie ambulatoire – algologie, oncologie, hématologie (notamment pour les chimiothérapies, les thérapies orales, les thérapies ciblées, les immunothérapies...), ou encore pour des surveillances nutritionnelles en radiothérapie. Au total, « plus de vingt soignants sont en charge de la coordination de ces parcours et du suivi des alertes classées 'rouge', 'orange' ou 'vert' selon la sévérité de la situation, pour apporter les réponses appropriées aux patients – dans la journée (alertes rouges) ou dans les 24-48 heures (alertes oranges) ». En cumulé, « plusieurs milliers de patients en bénéficient » actuellement ; et en « temps réel, une centaine », évalue le Pr Delord.

## Des patients plus « rassurés »

« Les patients se sentent moins abandonnés : ils disposent d'un contact direct avec l'infirmier de coordination et leur traitement peut rapidement être réajusté si nécessaire, estime le Pr Delord. Cela tend à réduire leur risque de se retrouver aux urgences. Ils deviennent, en prime, encore plus acteurs de leur santé. Nous n'avons pas encore évalué le dispositif via un questionnaire de satisfaction, mais nous recevons régulièrement des >>>

»» messages de la part de nos patients qui reconnaissent se sentir très rassurés par le dispositif. » À l'avenir, « l'enjeu sera de développer des systèmes de plus en plus intelligents pour le suivi et l'adressage de conseils et de ressources – brochures, vidéos explicatives, etc. – au bon moment, aux bons patients, en fonction de leurs besoins ».

Certaines limites demeurent toutefois, « principalement liées à la facilité ou la difficulté avec laquelle les patients se saisissent de l'outil », relève-t-il. Les infirmiers de coordination ont ainsi la charge de leur montrer comment bien le prendre en main. C'est notamment la raison pour laquelle la télésurveillance ne met pas un terme au télé-suivi, notamment pour les personnes les plus fragiles et/ou isolées socialement, ainsi que celles ne

disposant pas d'une bonne connexion à Internet. Pour les établissements, les défis sont organisationnels mais aussi financiers, avec le recrutement de nouveaux profils tels que des Infirmiers de coordination (IDEC) ou des Infirmiers en pratique avancée (IPA).

### Des solutions en plein essor

Les atouts n'en restent pas moins nombreux. En 2023, après avoir expérimenté une solution de télésurveillance pendant quatre mois au sein de deux de ses établissements situés à Rouen et à Brest, le groupe Vivalto Santé a constaté, d'après une enquête menée auprès des patients, que 96% d'entre eux étaient satisfaits du suivi à distance.

De plus, 97% saluaient le délai de réponse des soignants, tandis que 98% soulignaient l'utilité et la pertinence des messages thérapeutiques qui leur étaient envoyés. Des résultats donc positifs, qui ont décidé le groupe à déployer la solution en question (qui propose en prime des contenus informatifs et des soins de support digitaux) au sein de l'ensemble de ses établissements ayant une activité de cancérologie. Et ce n'est sans doute qu'un début.

À ce jour, il existe différentes solutions pour la télésurveillance en oncologie des patients en cours de traitement. Et de leur côté, les entreprises du secteur prédisent que la télésurveillance des rechutes sera à l'avenir également possible.

## Des recommandations internationales

C'est une première. L'European Society for Medical Oncology (ESMO) a publié, en avril 2022, des recommandations sur le rôle des mesures rapportées par le patient, ou *Patient-Reported Outcome Measures (PROMS)*, dans le cadre de la télésurveillance des patients en oncologie. Celles-ci définissent les critères auxquels doivent répondre les outils numériques employés à cet effet. Ceux-ci doivent ainsi, entre autres, obtenir le marquage CE de classe IIa pour le marché européen, respecter la réglementation sur la protection des données (RGPD) et garantir la création d'alertes pour les professionnels de santé. Leurs algorithmes doivent également être validés par des essais cliniques publiés, et le même outil doit pouvoir être utilisé pour le suivi de tous

les cancers et de toutes les toxicités de tous les traitements. « Sont à exclure les algorithmes de plus de cinq ans sans mise à jour réalisée selon les standards de prise en charge, et ceux que le professionnel de santé pourrait modifier lui-même (potentielle source d'erreur); en outre, l'éditeur ne doit pas avoir subi d'alerte critique de sécurité au cours des trois dernières années », a résumé le Pr Fabrice Denis, oncologue-radiothérapeute, qui a participé à l'élaboration de ces recommandations, dans un entretien paru en 2022 dans la revue *Pharmaceutiques*. « Les critères que nous proposons vont certainement contribuer fortement à éclaircir le paysage des logiciels existants et orienter le développement des futures solutions », a-t-il ajouté.

## TÉMOIGNAGE

« La télésurveillance est devenue, pour nous, un 'standard of care' »

Elsa Blanchard est infirmière en pratique avancée (IPA) au sein de l'Institut de cancérologie et radiothérapie bretonnais (ICRB), près de Rennes, depuis 2021. Elle accompagne en télésurveillance des patients adultes sous thérapie orale en sénologie et urologie, ainsi que des patients sous radiochimiothérapie concomitante pour des pathologies du rectum et ORL.

«Après un an et demi d'usage, la télésurveillance est devenue, pour nous, un 'standard of care' », explique Elsa Blanchard. L'enjeu est « d'apporter un niveau d'information et de soutien adapté aux besoins du patient, prévenir et gérer les éventuels effets secondaires et limiter le risque de mésusage et/ou défaut d'observance », pointe-t-elle. Et les premiers retours sont plutôt positifs. « Nous constatons, dans l'ensemble, une meilleure observance des traitements. En cas d'effets secondaires, les patients sont pris en charge précocement et les parcours optimisés. »

### Un suivi complémentaire

«La télésurveillance est proposée par le médecin, rappelle l'infirmière. Si le patient l'accepte, un rendez-vous est pris avec moi pour une consultation d'une heure dans les sept jours suivants. L'objectif est de faire connaissance avec lui, d'en savoir plus sur son quotidien, son degré d'autonomie, ses fragilités... C'est aussi l'occasion de répondre à ses éventuelles questions sur son diagnostic et son traitement, puis de lui présenter l'application mobile via laquelle il pourra, chaque semaine voire chaque mois, répondre à un questionnaire.»

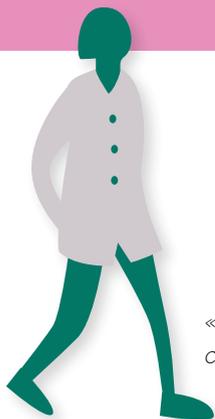
En fonction de la gravité des symptômes déclarés (nausées, diarrhées, baisse de moral, troubles du sommeil...), des alertes, classées selon un code couleur, apparaissent sur le tableau de bord de l'IPA, connectée en journée du lundi au vendredi. « Selon l'urgence, je contacte les patients pour les informer sur la conduite à tenir, je me mets en lien avec un professionnel de ville, je sollicite un avis médical ou j'anticipe une hospitalisation. » En complément, une consultation à deux mois est prévue avec l'IPA et « une messagerie instantanée est à leur disposition ».

### Une bonne adhésion des patients

Actuellement, 175 patients de l'ICRB sont activement télésurveillés. Les alertes sont toutes reportées dans leur dossier médical. « 20 % d'entre elles requièrent un avis médical ; 80 % sont gérées en autonomie par l'IPA », détaille Elsa Blanchard. Seuls « 20 % de nos patients éligibles à la télésurveillance n'en bénéficient pas, soit par manque d'adhésion à l'outil, soit par manque d'équipement (tablette, smartphone, connexion Internet) », poursuit-elle. In fine, « nous avons un taux global de réponse aux questionnaires hebdomadaires de 91 % ».

# « Il faut co-construire les dispositifs médicaux avec les patients »

## LE REGARD DU PATIENT



Diagnostiquée d'un cancer du sein en 2000, Catherine Cerisey rechute deux ans plus tard. Après moult traitements et interventions, elle est déclarée en rémission totale en 2008. Commence alors un engagement associatif et professionnel au service des patients et de l'amélioration du système de santé.

*« Au moment de l'annonce de mon cancer il y a 24 ans, j'étais mariée, maman de deux jeunes enfants de 4 et 7 ans et je travail-*

*lais dans le milieu de l'art. Cela a tout chamboulé dans ma vie, car il y a la maladie mais également tous les dommages collatéraux qu'elle entraîne avec elle. Ainsi, j'ai été licenciée. Au niveau amical aussi, il y a eu des bouleversements: j'ai perdu des amis mais j'en ai gagné aussi. Et si mon mari a été extraordinaire pendant les traitements, nous avons fini par divorcer, car cela a été très long. De fait, j'ai eu énormément de traitements: dix-huit chimiothérapies, trente radiothérapies, cinq ans d'hormonothérapie, deux tumorectomies, une mastectomie et des dizaines d'opérations de reconstruction... C'est dire si, entre le début de mes traitements en 2000 – qui se sont terminés en 2008 – et ma dernière reconstruction en 2019,*

*j'ai vu les choses évoluer, d'autant que je suis cela de près, tant via mes engagements associatifs que du fait de mon activité professionnelle\*.*

*J'ai vu arriver des traitements de plus en plus efficaces. La mise en place du dépistage organisé en 2004 a également été une grande avancée, même si la réponse des femmes ne semble pas complètement à la hauteur des espérances; quoique ce point mérite d'être nuancé car le dépistage individuel n'est pas pris en compte dans les chiffres alors qu'il représente une part importante. La douleur est désormais prise en compte et bien mieux gérée.*

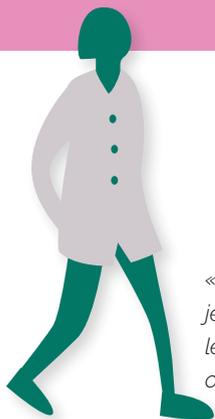
*En ce qui concerne les techniques, la chirurgie de reconstruction est non seulement bien meilleure mais, surtout, on accepte désormais que certaines femmes ne veulent pas de reconstruction. Il y en a pourtant toujours eu parmi elles, mais leur choix n'était pas entendu. Tout cela,*

*c'est grâce à l'information des patients et au processus de décision partagée.*

*Il faut donner toute leur place aux patients et, surtout, co-construire les dispositifs médicaux avec eux. Un dispositif peut sembler très discret voire miniaturisé à celui qui le fabrique, mais il peut n'être pas du tout vécu de la même manière par le patient. Si l'on ne co-construit pas, ce n'est pas adapté et donc, pas utilisé. Nous, patients, devons être associés très en amont, dès la phase de conception, pour chercher à savoir ce dont nous avons vraiment besoin, si c'est interopérable, si c'est ergonomique, etc. Car, après tout, c'est de notre vie dont il s'agit. »*

# « Un quotidien amélioré grâce à la télésurveillance »

## LE REGARD DU PATIENT



Au printemps 2021, la vie de Grégory Radigue bascule suite à un diagnostic de cancers du foie et du colon. Âgé de seulement 34 ans, le papa d'une famille recomposée de cinq enfants n'est pas du genre à se laisser abattre et fait montre d'un optimisme et d'une détermination qui forcent le respect.

*« Depuis l'annonce de ma maladie, je suis suivi au Centre de lutte contre le cancer François Baclesse à Caen, où je suis accompagné par une équipe pluridisciplinaire à la fois extrêmement compétente, bienveillante et disponible. J'y ai alterné protocoles de chimiothérapie, interventions chirurgicales – au total, 63% de mon foie ont été retirés – et séances de radiothérapie. En avril l'année dernière, les traitements semblaient avoir payé et il n'y avait plus de trace de cancer. Heureux, j'ai repris mon travail de couvreur après deux ans d'arrêt et, avec ma compagne, nous avons déménagé à côté de Granville.*

*Mais quelques mois plus tard, on m'a annoncé une récurrence et je suis reparti en chimiothérapie, avec plus ou moins de réussite. Aujourd'hui, j'en suis à trente-huit chimiothérapies et je dois avouer que cela commence à faire beaucoup... Mais je n'ai pas un tempérament à me laisser abattre: même quand cela ne va pas, je fais aller!*

*C'est pourquoi je continue de travailler, d'autant que mes traitements ne m'en empêchent pas, ce qui n'est pas donné à tout le monde.*

*Depuis sa mise en place au Centre Baclesse, il y a environ un an, j'ai intégré un programme de suivi à distance. Auparavant, quelques jours avant le début d'une chimiothérapie, je recevais un appel d'une infirmière qui me posait une série de questions sur mon état. Désormais, je réponds à un questionnaire hebdomadaire avec une trentaine de questions et un espace d'expression libre. L'équipe le reçoit et, en fonction des symptômes et de leur gravité, on m'appelle afin de mettre en place les solutions nécessaires si besoin.*

*Au début, j'ai été un peu désorienté par le changement de fonctionnement, mais dès que j'ai pris l'outil en main, j'ai été convaincu! En effet, quand on m'appelait avant les cures, il fallait veiller à ne pas rater le coup de fil. Avec l'application, on reçoit une notification pour nous rappeler de répondre au questionnaire et, si on n'a pas le temps de le*

*faire dans la journée, on peut le faire le soir ou le lendemain. Cela permet un suivi très régulier et une grande réactivité en cas d'effets indésirables. À mon sens, cela fait également gagner un temps précieux aux professionnels de santé, qui peuvent de fait se concentrer sur les questionnaires qui le nécessitent vraiment. Pour moi, tout le monde y gagne, mais je comprends que des personnes aient besoin d'un lien par téléphone. C'est vraiment au cas par cas. Pour ma part, mon quotidien en est amélioré car simplifié, ce qui est vraiment précieux dans ce combat de tous les jours contre le cancer.»*

## A

### Algologie

Discipline médicale qui se consacre à l'étude et au traitement de la douleur.

### Anastomose

Abouchement de deux vaisseaux, nerfs ou organes.

### Artefact

Phénomène parasite faussant le tracé d'un appareil enregistreur, du fait de la technique utilisée ou de l'appareil lui-même, et qui risque de perturber l'interprétation des données.

## B

### Bilan d'extension

Ensemble d'examen qui visent à évaluer l'étendue d'un cancer et la présence de métastases dans le corps.

### Biomarqueur

Caractéristique biologique mesurable qui permet d'évaluer ou de renseigner, sur un processus pathologique, une fonction physiologique ou une réponse biologique de l'organisme à la suite d'une intervention thérapeutique.

## C

### Chirurgie coelioscopique

Technique de chirurgie permettant d'accéder à l'intérieur de l'abdomen par de petites incisions de la paroi abdominale. Cet acte se pratique pour diagnostiquer ou traiter certaines maladies, notamment gynécologiques ou digestives.

### Coil

Spire métallique expansible implantée par voie endovasculaire en neuroradiologie interventionnelle.

### Collection

Accumulation de liquide physiologique ou pathologique (sang, pus...) dans une cavité de l'organisme.

## E

### Échographie

Technique d'imagerie médicale fondée sur l'enregistrement des échos produits par les ultrasons lors de leur passage à travers différents milieux et structures de l'organisme.

### Électrocautérisation

Technique médicale utilisant un courant électrique de haute fréquence pour arrêter les saignements ou,

dans le traitement des cancers, détruire des cellules ou des tissus.

### Excréta

Substances rejetées hors de l'organisme, consistant principalement en déchets de la nutrition et du métabolisme (vomissements, urine, selles, sueur, etc.).

## N

### Niveau de référence diagnostique

Le Code de la santé publique a établi, pour les actes les plus fréquents et/ou les plus irradiants, des niveaux de référence diagnostiques (NRD) dans le but de protéger les patients exposés aux rayons X à des fins diagnostics. Les NRD représentent une valeur de dose ou une activité radiologique délivrée.

## R

### Radiotracteur (ou traceur radioactif)

Molécule marquée avec un atome radioactif et utilisée pour suivre, par détection externe, le fonctionnement normal ou pathologique d'un organe. Le radiotracteur présente les mêmes propriétés physico-chimiques que son homologue non radioactif, mais a la particularité d'émettre un rayonnement, ce qui permet de repérer sa position dans l'organisme.

**S****Scintigraphie**

Technique d'imagerie médicale relevant de la médecine nucléaire et fondée sur le repérage dans l'organisme d'un atome radioactif introduit pour étudier un phénomène physiologique ou pathologique. Les radiations émises par l'atome radioactif sont enregistrées par un compteur à scintillation placé en face de la zone à explorer. On obtient ainsi la silhouette et la carte de l'organe ou de la région qui a fixé le produit radioactif.

**Spectroscopie par résonance magnétique**

Technique qui permet une exploration non-invasive de la composition moléculaire des tissus.

**T****Tesla**

Unité du système international pour l'induction magnétique, utilisée notamment pour quantifier la puissance d'un appareil IRM. Ce terme vient du nom du physicien yougoslave Nikola Tesla (1857-1943).

## OUVRAGES

J.-H. Breasted, « *The Edwin Smith Surgical Papyrus* », University of Chicago Press, 1930

« *Comprendre la radiothérapie* », Guide de référence, Ligue contre le cancer et Institut national du cancer, octobre 2009

J.-M. Cosset, « *Effets secondaires des rayonnements sur les tissus sains et organes à risque* », *Cancer/Radiothérapie*, vol. 14, n°4-5, juillet 2010, p.228-231

N. Foray, « *Victor Despeignes ou le premier traitement du cancer par rayons X* », Éditions Glyphe, 2021

« *Panorama des cancers en France - édition 2023* », Institut national du cancer, Coll. État des lieux et des connaissances / Épidémiologie, juillet 2023

## RAPPORTS & ÉTUDES

« *Le traitement du cancer demain: place de la chirurgie et des chirurgiens* », Académie nationale de médecine, Rapport 22-07, avril 2022

P.-Y. Bondiau, « *Mise en œuvre et évaluation d'outils de fusion d'image en radiothérapie. Interface homme-machine* », Université Nice Sophia Antipolis, 2004

C. Canada, F. Dubuc, S. El Khoury, L. Roussel, J.-Y. Sinnas, « *Place de l'imagerie spectrale en scanner* », Université de Technologie de Compiègne (France), Master Ingénierie de la Santé, Parcours Technologies Biomédicales et Territoires de Santé (TBTS) et Dispositifs Médicaux et Affaires Réglementaires (DMAR), Mémoire de projet, réf n° IDS123, janvier 2022

K. Lång, V. Josefsson, A.-M. Larsson, S. Larsson, C. Högberg, H. Sartor, S. Hofvind, I. Andersson, A. Rosso, « *Artificial intelligence-supported screen reading versus standard double reading in the Mammography Screening with Artificial Intelligence trial (MASAI): a clinical safety analysis of a randomised, controlled, non-inferiority, single-blinded, screening accuracy study* », *The Lancet Oncology*, août 2023

## ARTICLES

P. Ström et al., « *Artificial intelligence for diagnosis and grading of prostate cancer in biopsies: a population-based, diagnostic study* », *The Lancet Oncology*, janvier 2020

J.M. Kalaf, « *Mammography: a history of success and scientific enthusiasm* », *Radiologia Brasileira*, 47(4):VII-VIII, juillet-août 2014

P. Haehnel, « *Hommage à Charles-Marie Gros (1910-1984)* », 32<sup>e</sup> Journées de la Société Française de Sénologie et de Pathologie Mammaire (SFSPM), Strasbourg, 2010

O. Ratib, « *Le scanner PET-CT: nouvel outil d'imagerie moléculaire* », *Med Hyg*, vol. 62, n°2490, 2004, p.1470-1474

D.L. Berry, F. Hong, B. Halpenny, A.H. Partridge, J.R. Fann, S. Wolpin, W.B. Lober, N.E. Bush, U. Parvathaneni, A.L. Back, D. Amtmann, R. Ford, « *Electronic self-report assessment for cancer and self-care support: results of a multicenter randomized trial* », *Journal of Clinical Oncology*, janvier 2014

T. De Baère, « *Nouvelles techniques d'ablation tumorale en cancérologie (micro-ondes, électroporation)* », *Journal de Radiologie*, vol. 92, n°9, 2011, p.789-795

V. Cristina et al., « *Traitement des tumeurs malignes du foie par radiologie interventionnelle: techniques ablatives* », *Revue médicale suisse*, vol. 10, n°431, 2014, p.1123-1126

E. Basch, AM. Deal, MG Kris, HI. Scher et al., « *Symptom Monitoring With Patient-Reported Outcomes During Routine Cancer Treatment: A Randomized Controlled Trial* », *Journal of Clinical Oncology*, février 2016

E. Basch, A.M. Deal, M.G. Kris, H.I. Scher et al., «*Symptom Monitoring With Patient-Reported Outcomes During Routine Cancer Treatment: A Randomized Controlled Trial*», *Journal of Clinical Oncology*, février 2016

C. Weill Giès, «*La place du patient atteint de cancer dans le parcours de prise en charge: apport des plans cancer*», *Revue française des affaires sociales*, 2017/1, 2017, p.176-186

E.M. Basch et al., «*Overall survival results of a randomized trial assessing patient-reported outcomes for symptom monitoring during routine cancer treatment*», *JAMA*, juillet 2017

P. Dielenseger, B. Zeitoun, A.-M. Ollitrault et al., «*Risques d'exposition aux médicaments cytotoxiques et protection des personnels soignants*», *Bulletin Infirmier du Cancer*, vol. 21, n°84, 2021, p.135-140

Z. Chen, L. Meng, J. Zhang, X. Zhang, «*Progress in the cryoablation and cryoimmunotherapy for tumor*», *Frontiers in Immunology*, 25 janvier 2023

## ARTICLES DE PRESSE

F. Denis, «*Télésurveillance en oncologie: un nouveau standard du parcours de soins en oncologie*», *SFJRO Mag*, n°3, décembre 2022

«*Télésurveillance en oncologie: premières recommandations mondiales*», entretien du P<sup>r</sup> Fabrice Denis, *Pharmaceutiques*, avril 2022

## RECOMMANDATIONS DE BONNES PRATIQUES

M. Di Maio, E. Basch, F. Denis et al., «*The role of patient-reported outcome measures in the continuum of cancer clinical care: ESMO Clinical Practice Guideline*», pour le compte du Comité des lignes directrices de la Société européenne d'oncologie médicale (ESMO), *Annals of Oncology*, vol.33, n°9, septembre 2022, p.878-892

## SOCIÉTÉS SAVANTES ET ASSOCIATIONS

Association européenne pour la recherche sur le cancer (EACR)

Institut Curie

Institut national du cancer (INCa)

Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)

Fondation ARC

Fondation pour la recherche médicale (FRM)

Ligue contre le cancer

Observatoire national de la radiothérapie

Société européenne d'oncologie médicale (ESMO)

Société française du cancer (SFC)

Société française d'endoscopie digestive (SFED)

Société française de radiothérapie oncologique (SFRO)

# REMERCIEMENTS

---

**Nadine Aknin**, Medical Science Liaison Manager Europe, Moyen-Orient et Afrique, Sirtex Medical

**Anne El Aatmani**, pharmacien hospitalier au CHRU de Strasbourg

**D<sup>r</sup> Clément Bailly**, médecin spécialiste en médecine nucléaire au sein du service de médecine nucléaire du CHU de Nantes

**D<sup>r</sup> Arthur Belle**, gastro-entérologue au sein de l'unité d'endoscopie digestive du service de gastro-entérologie de l'hôpital Cochin (AP-HP), Paris

**P<sup>r</sup> Robert Benamouzig**, chef du service de gastro-entérologie de l'hôpital Avicenne (AP-HP), Bobigny

**Elsa Blanchard**, infirmière en pratique avancée à l'Institut de cancérologie et radiothérapie breillien (ICRB), Rennes et Saint Malo

**Maxime Bonaventure**, HEMA Senior Specialist France, Boston Scientific

**P<sup>r</sup> Sébastien Crouzet**, chirurgien urologue au CHU de Lyon

**P<sup>r</sup> Thierry de Baère**, médecin radiologue au sein de l'équipe de radiologie interventionnelle de l'Institut Gustave Roussy, Villejuif

**D<sup>r</sup> Costantino del Guidice**, radiologue interventionnel à l'Institut mutualiste Montsouris, Paris

**P<sup>r</sup> Jean-Pierre Delord**, médecin oncologue et directeur général du Centre de lutte contre le cancer Oncopole-Claudius Regaud au sein de l'Institut universitaire du cancer de Toulouse (IUCT-Oncopole)

**Anaïs Dron**, Responsable marketing, Cair LGL

**Julien Duquesne**, pharmacien du département de pharmacotechnie au CHU de Nice

**Christophe Garcia**, Responsable du secteur Périphérique vasculaire et Oncologie interventionnelle France, Belgique et Luxembourg, Boston Scientific

**D<sup>r</sup> Igor Latorzeff**, onco-radiothérapeute à la Clinique Pasteur et à l'hôpital Purpan du CHU de Toulouse

**Alexandre Lambert**, Directeur général vente et marketing, Ovesco Endoscopy France

**D<sup>r</sup> Yann Le Baleur**, gastro-entérologue et hépatologue au sein du Groupe hospitalier Paris Saint-Joseph

**D<sup>r</sup> Sarah Leblanc**, hépato-gastro-entérologue à l'hôpital privé Jean Mermoz de Lyon et du Médipôle Lyon-Villeurbanne

**Clémence Mignon**, Health Economics & Market Access Specialist France, Boston Scientific

**P<sup>r</sup> Fabrizio Panaro**, chirurgien au sein du service hépato-bilio-pancréatique et transplantation du CHU de Médecine de Montpellier

**Pierre Reboul**, Directeur, EDAP TMS France

**D<sup>r</sup> Hervé Rosay**, médecin anesthésiste-réanimateur au Centre Léon Bérard, Lyon

**P<sup>r</sup> Mathieu Roumigué**, chirurgien urologue au sein du département d'urologie du CHU de Toulouse

**Sandra Ruitort**, pharmacienne et cheffe de service de la pharmacotechnie au sein du CHU de Nice

**Émilie Ruyant**, Spécialiste du développement des marchés, Medtronic France

**Bruno Zeitoun**, Responsable marketing international, Vygon

AIDE A LA PRÉVENTION DES ESCARRES	ANESTHÉSIE - RÉANIMATION	APPAREIL DIGESTIF	AUDIOLOGIE	CARDIOLOGIE	CONTACTOLOGIE
DIABÈTE	DIALYSE	HANDICAP MOTEUR	IMAGERIE	INJECTION - PERFUSION	NEUROLOGIE
NUMÉRIQUE EN SANTÉ	OPHTALMOLOGIE	ORTHÈSES	ORTHOPÉDIE	PATHOLOGIES VEINO-LYMPHATIQUES	PLAIES ET CICATRISATION
RESPIRATION	ROBOTIQUE	SANTÉ BUCCO- DENTAIRE	SANTÉ DE LA FEMME	UROLOGIE	

Tous les livrets sont téléchargeables sur le site du Snitem : [www.snitem.fr](http://www.snitem.fr)



Quand l'épopée de l'innovation  
des dispositifs médicaux  
se confond avec l'extraordinaire  
histoire de l'oncologie.

**SNITEM**

CS 30080 – 92038 Paris - La Défense cedex

Tél. : 01 47 17 63 88

[www.snitem.fr](http://www.snitem.fr)

[info@snitem.fr](mailto:info@snitem.fr)

 @snitem

