

CONCEPTS D'IMAGERIE MÉDICALE DANS LA MISE AU POINT ET LE SUIVI DES CANCERS :

REGARD SUR L'IMAGERIE ONCOLOGIQUE

COUSIN F (1), VALKENBORGH C (1), HUSTINX R (1)

RÉSUMÉ : L'imagerie oncologique, qui est une sous-discipline de l'imagerie médicale, s'intéresse spécifiquement à la mise au point et au suivi des cancers. Elle prend en compte toutes les spécificités de la maladie oncologique, dont les traitements évoluent constamment à l'ère de la médecine de précision. Elle joue un rôle primordial à toutes les étapes du trajet de soin du patient. Elle permet la réalisation de diagnostics fiables et donne des informations sur l'étendue de la maladie au moment du diagnostic, nécessaires à l'établissement d'un plan de traitement. L'imagerie oncologique s'intéresse également au suivi des patients sous traitement, grâce notamment à l'utilisation de score d'évaluation de la réponse thérapeutique. L'imagerie interventionnelle, à travers la réalisation de procédures faiblement invasives, joue un rôle dans l'obtention du diagnostic, dans le traitement de certaines tumeurs ou dans l'amélioration de la qualité de vie du patient. Enfin, de nombreuses perspectives, et notamment l'avènement de l'intelligence artificielle (radiomique), ne vont faire que renforcer le rôle central de l'imagerie oncologique dans les prochaines années.

MOTS-CLÉS : *Imagerie oncologique - Cancer - Bilan d'extension - Diagnostic*

**CONCEPTS OF MEDICAL IMAGING IN THE WORK UP
AND FOLLOW-UP OF CANCER : ONCOLOGICAL IMAGING
AT A GLANCE**

SUMMARY : Oncological imaging is a subspecialty of medical imaging and focuses on the workup and the follow-up of cancer. Oncological imaging takes into account all the specificities of cancer diseases, which is a constantly evolving field, especially in the era of precision medicine, and plays a key role in the care of cancer patients. It permits reliable diagnosis and gives precious information concerning disease extension at diagnosis, which is essential for the treatment planning. Oncological imaging allows also follow-up of patients under treatment, using response evaluation scores. Interventional imaging, which provides minimally invasive procedures, is useful in order to obtain a histological diagnosis, to treat some tumour or to improve quality of life of cancer patients. Finally, numerous perspectives, among them the advent of artificial intelligence (radiomics), will further strengthen the role of oncologic imaging in the near future.

KEYWORDS : *Oncological imaging - Cancer - Staging - Diagnosis*

INTRODUCTION

Le cancer est la première cause de mortalité dans les pays occidentaux (1). Ces dernières décennies ont vu émerger d'importants progrès dans la prise en charge du cancer, avec l'apparition de nouveaux traitements médicamenteux comme les thérapies ciblées ou l'immunothérapie, mais aussi dans d'autres domaines comme la radiothérapie et la chirurgie. Les stratégies s'affinent constamment, évoluant graduellement d'une approche globale à une approche plus ciblée, davantage centrée sur le patient et ses spécificités, pour offrir des soins toujours plus personnalisés et adaptés à chaque situation.

C'est pour relever les défis soulevés par ces évolutions qu'a logiquement émergé une sous-discipline de la radiologie, l'imagerie oncologique. On peut la définir comme une branche de la radiologie qui s'intéresse spécifiquement au diagnostic, à la mise au point et au suivi des

cancers, toutes régions anatomiques et toutes modalités confondues.

L'imagerie joue un rôle central à chacune des étapes du parcours de soins du patient, de la détection au suivi de la réponse thérapeutique en passant par le bilan d'extension et la recherche des complications liées à la maladie ou au traitement. Le choix de la modalité d'imagerie idéale pour chaque situation clinique est primordial et doit répondre à plusieurs critères, comme sa disponibilité, son innocuité et sa performance.

Dans cet article, nous allons réaliser un tour d'horizon des différents concepts sur lesquels s'appuie l'imagerie oncologique à l'ère de la médecine de précision. Après s'être familiarisé avec la notion de biomarqueur radiologique, nous discuterons des fonctions principales de l'imagerie oncologique que sont la détection des lésions, le bilan d'extension et l'évaluation de la réponse au traitement. Nous évoquerons le rôle de l'imagerie interventionnelle et, pour finir, nous jetterons un regard sur l'avenir de la discipline. Relevons que si les méthodes d'imagerie hybride (PET/CT, SPECT/CT) jouent également un rôle important en oncologie, elles ne seront pas abordées ici.

(1) Service de Médecine nucléaire et d'Imagerie oncologique, CHU Liège, Belgique.

CONCEPTS D'IMAGERIE QUANTITATIVE ET DE BIOMARQUEUR RADIOLOGIQUE

L'interprétation descriptive et subjective d'un examen d'imagerie peut s'accompagner d'imprécisions et manquer de reproductibilité, ce qui limite son utilité dans la résolution de certains problèmes spécifiques (2). C'est pourquoi l'imagerie médicale moderne, pour répondre aux attentes de la médecine de précision, fait une place croissante aux méthodes d'analyses quantitatives, à l'étude de paramètres reproductibles et qui ont une signification clinique fiable. L'imagerie quantitative est définie comme suit par la «Quantitative Imaging Biomarker Alliance» : «C'est l'extraction, à partir d'images médicales, de paramètres quantifiables pour l'évaluation du normal ou de la sévérité, du degré de changement ou du statut d'une pathologie. Elle inclut le développement, la standardisation et l'optimisation de protocoles d'acquisition des images, d'analyse des données et des structures de compte-rendus. Ces paramètres permettent la validation de mesures obtenues de façon précise à partir des images médicales dans le but d'être utilisées en recherche et en clinique» (3). Ces paramètres quantifiables, appelés biomarqueurs radiologiques, peuvent être anatomiques, fonctionnels ou moléculaires et sont des outils qui facilitent la prise de décision dans de nombreuses situations cliniques, particulièrement en oncologie (4). Quelques biomarqueurs radiologiques utilisés couramment en oncologie sont présentés dans le **Tableau I**. Ils sont particulièrement utiles, et nous en reparlerons, dans les essais cliniques (5). Nous discuterons également, dans le dernier chapitre, de la forme la plus avancée de l'imagerie quantitative, la radiomique, qui, couplée à l'intelligence artificielle, offre de nombreuses perspectives.

LA DÉTECTION TUMORALE

L'imagerie médicale joue, depuis ses origines, un rôle clé dans la détection et le diagnostic des maladies, en particulier tumorales. C'est souvent à la suite de symptômes d'appel ou dans le cadre d'un dépistage qu'un examen d'imagerie est réalisé, révélant la présence d'une lésion. Depuis quelques années, de nombreux scores radiologiques ont été développés pour aider à la détection et la catégorisation des lésions tumorales dans différents organes : BI-RADS («Breast Imaging Report and Data System») pour le sein, LI-RADS («Liver Imaging Report and Data System») pour le foie, PI-RADS («Prostate Imaging Report and Data System») pour la thyroïde, etc. Ce sont des outils non invasifs de standardisation des méthodes d'acquisition et d'interprétation des images, mis au point par des groupes d'experts sur base de données scientifiques. Ils ont pour but d'améliorer la performance des examens d'imagerie dans la distinction entre une lésion bénigne et une lésion maligne et de limiter l'ambiguïté des compte-rendus radiologiques pour améliorer la communication et la transmission des informations avec le clinicien.

L'utilisation de ces outils d'interprétation standardisés constitue, à elle seule et au même titre que l'amélioration des performances techniques des machines, une évolution importante qui contribue directement à améliorer la qualité des soins donnés aux patients.

L'EXEMPLE DU CANCER DE LA PROSTATE

Un exemple remarquable est le score PI-RADS pour la détection du cancer de la prostate, qui a récemment bouleversé la mise au point du cancer prostatique (6, 7). Il a été démontré que la réalisation systématique d'une IRM avec interprétation selon le score PI-RADS permettait

Tableau I. Quelques biomarqueurs radiologiques quantitatifs couramment utilisés en oncologie (6).

Biomarqueurs	Modalité	Utilité clinique	Mécanisme biologique
ADC	IRM	Détection, caractérisation tumorale, évaluation de la réponse tumorale	Étude de la diffusion des molécules d'eau dans les tissus
Perfusion (CBF, Tmax, CBV)	IRM, CT	Détection, caractérisation tumorale	Étude de la vascularisation tumorale
Densité (UH)	CT	Évaluation de la réponse tumorale	Évaluation de la nécrose tumorale
RECIST 1.1	CT, IRM	Évaluation de la réponse tumorale	Évaluation du volume tumoral
PI-RADS, BI-RADS, LI-RADS	IRM, CT	Détection et caractérisation tumorale	Score de probabilité de la présence d'une lésion tumorale

ADC, apparent diffusion coefficient; IRM, imagerie par résonance magnétique; CT, computerized tomography; CBF, cerebral blood flow; CBV, cerebral blood volume; UH, unités Hounsfield; RECIST, response evaluation criteria in solid tumours; PI, prostate imaging; LI, liver imaging; BI, breast imaging; RADS, reporting and data system.

d'améliorer le taux de détection du cancer de la prostate, tout en diminuant le nombre de biopsies prostatiques inutiles (8). L'IRM prostatique a récemment été intégrée dans les guidelines européens et fait maintenant partie intégrante de la mise au point du cancer de la prostate (9).

L'EXEMPLE DE L'HÉPATOCARCINOME

Le carcinome hépatocellulaire est un des rares cancers qui peut être diagnostiqué avec certitude sur base de la seule présence de signes radiologiques spécifiques chez un patient à risque, sans qu'une confirmation histologique ne soit nécessaire (10, 11) et ce, notamment, grâce au développement et à l'utilisation des critères LI-RADS (12). C'est un score basé sur les données d'un CT ou d'une IRM avec injection intraveineuse de produit de contraste et qui permet de définir la probabilité qu'une lésion hépatique corresponde ou non à un hépatocarcinome. En cas de score LR-5, la probabilité qu'il s'agisse d'un carcinome hépatocellulaire est de 94 % et la probabilité qu'il s'agisse d'une lésion tumorale au sens large est de 97 % (Figure 1) (11).

LE BILAN D'EXTENSION

Lorsque le diagnostic de cancer est confirmé, la première étape dans la prise en charge

médicale du patient est d'établir avec précision l'étendue de la maladie, c'est le bilan d'extension. Il fournit des indications sur le pronostic de la maladie, il oriente le clinicien dans le choix du traitement et il constitue une base pour l'évaluation ultérieure de l'efficacité du traitement (13). Même si d'autres facteurs sont utilisés pour remplir ces objectifs, comme la différenciation histologique, la présence de mutations, l'âge ou encore l'état général du patient, l'imagerie joue un rôle capital dans l'appréciation du statut de la maladie au moment du diagnostic.

Différents systèmes de classification standardisés des cancers par organe existent, le plus répandu est le système TNM (Tumor Node Metastasis) publié par la «Union for International Cancer Control» (UICC) depuis 1958, et qui en est actuellement à sa huitième version. Le stade TNM est très largement basé sur l'imagerie pour établir l'extension anatomique de la maladie (13). Le stade T se réfère à l'extension tumorale locale, le N à la présence d'adénopathies loco-régionales et le M à la présence de métastases.

L'EXEMPLE DU CANCER RECTAL

Le pronostic du cancer rectal est intimement lié à l'infiltration tumorale du fascia mésorectal et à la possibilité de réaliser une résection chirurgicale avec des marges de résection circonfé-

Figure 1. Coupes axiales IRM 3T du foie en pondération T1 avec suppression du signal de la graisse démontrant une lésion nodulaire de 22 mm avant injection intraveineuse de produit de contraste (A) chez un patient cirrhotique. La lésion se rehausse intensément à la phase artérielle (B, flèche). Sur la phase tardive (C), la lésion est hypointense par rapport au parenchyme hépatique («washout») avec persistance d'une capsule rehaussée (flèche). Selon la classification LI-RADS v2018 (D), il s'agit d'un score LR-5, permettant d'établir avec certitude le diagnostic de carcinome hépatocellulaire (12).

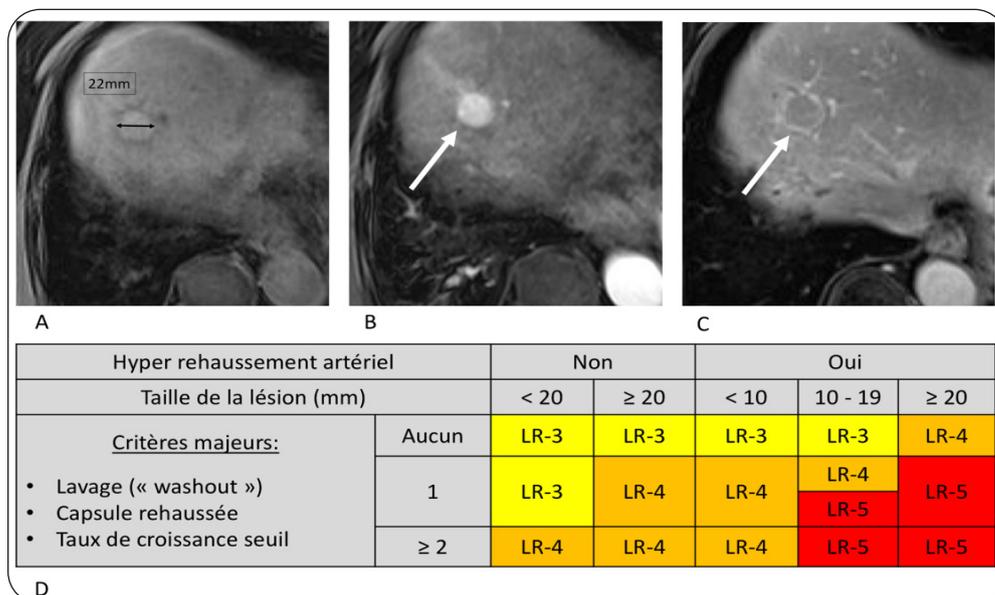
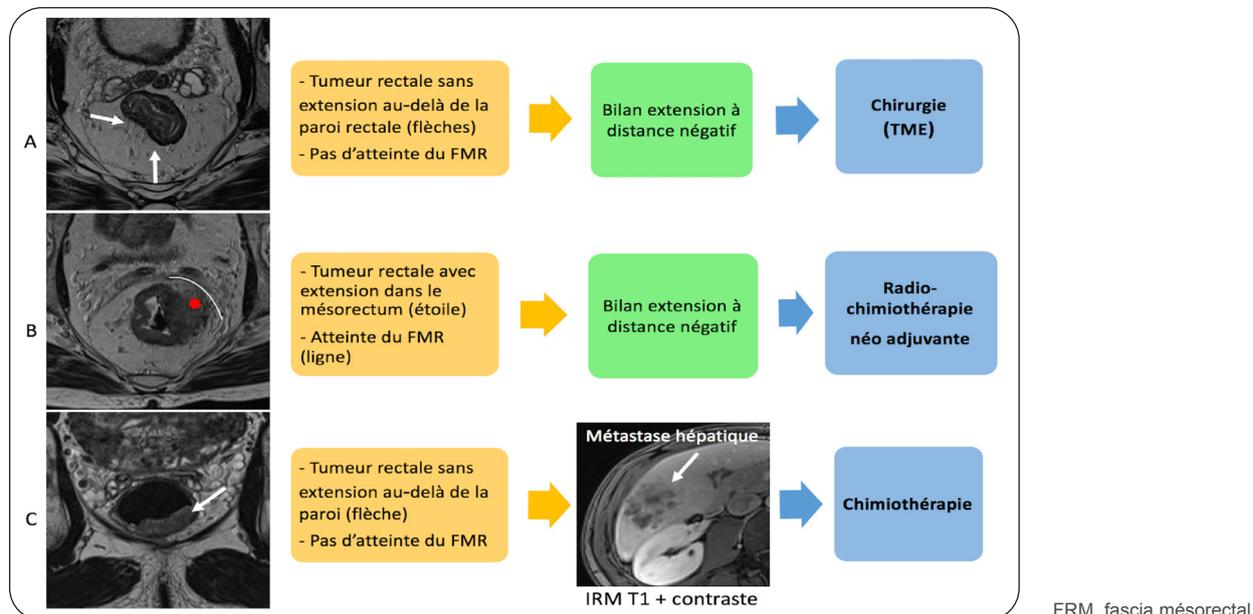


Figure 2. Coupes IRM axiales du rectum en pondération T2 chez trois patients présentant une tumeur du moyen rectum (A, B et C). Le bilan d'extension initial par imagerie révélera trois situations cliniques différentes qui feront chacune l'objet d'un traitement spécifique.



rentielle négatives (14). Il a été démontré que l'IRM préopératoire est l'outil le plus fiable pour prédire l'envahissement tumoral de la marge de résection circonférentielle et cet examen est, dès lors, devenu la clé de voûte de la mise au point initiale (15). C'est sur base des résultats de l'IRM que le traitement sera choisi (Figure 2). L'IRM sera également utilisée dans le suivi pour évaluer la réponse tumorale et rechercher des signes de récurrence. Pour être performants et remplir leurs objectifs en matière de stadification, les protocoles d'acquisition des images d'IRM du rectum doivent répondre à un certain nombre d'exigences techniques régulièrement mises à jour dans la littérature (16).

ÉVALUATION DE LA RÉPONSE THÉRAPEUTIQUE

À la suite du bilan d'extension et après l'élaboration du plan de traitement, le patient peut entamer son parcours thérapeutique. En raison de l'évolutivité du cancer et de la toxicité importante des traitements anti-tumoraux, le monitoring étroit de l'efficacité (et de la sécurité) du traitement est primordial en oncologie. Il faut identifier au plus tôt, souvent par le biais d'examen d'imagerie, les patients qui ne répondent pas au traitement afin de leur proposer rapidement une alternative thérapeutique et leur éviter les effets indésirables d'un traitement inefficace.

Dans le but d'harmoniser et de simplifier l'évaluation de la réponse thérapeutique en imagerie, et surtout de pouvoir comparer l'efficacité des traitements entre eux dans le cadre d'essais cliniques, des critères radiologiques standardisés de l'évaluation de la réponse thérapeutique ont été développés.

LES CRITÈRES RECIST

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) publie, en 1979, les premiers critères d'évaluation de la réponse tumorale, suivis par les critères RECIST (Response Evaluation Criteria in Solid Tumours) en 2000, mis à jour en 2009 sous le nom de RECIST 1.1 (17). Ces derniers critères sont aujourd'hui les plus largement utilisés. Développés pour l'évaluation de la réponse des tumeurs solides aux chimiothérapies cytotoxiques, ce sont des critères exclusivement morphologiques qui évaluent les variations de taille des lésions en CT et en IRM au cours du traitement. Le concept est d'établir une liste exhaustive des lésions avant le début du traitement, ces lésions seront suivies au cours du temps lors d'examen successifs. On distingue les lésions cibles, dont on va mesurer et additionner le grand axe, et qui seront le reflet quantitatif de la charge tumorale du patient, et les lésions non cibles, qui feront l'objet d'un suivi qualitatif. Les différents types de réponses tumorales selon les critères RECIST 1.1 sont présentés dans le **Tableau II**.

Tableau II. Types de réponses selon les critères RECIST 1.1.

Réponses	Définition
Réponse complète (CR)	Disparition de toutes les lésions
Réponse partielle (PR)	Diminution de 30 % de la somme des lésions cibles
Progression (PD)	Majoration de 20 % de la somme des lésions cibles
	Ou majoration non équivoque des lésions non cibles
	Ou apparition d'une nouvelle lésion
Maladie stable (SD)	Pas de CR, de PR ni de PD

Développés initialement pour servir dans le cadre d'essais thérapeutiques, ils ne sont donc pas utilisés en routine clinique, mais peuvent s'avérer utiles au quotidien comme guide d'interprétation de la réponse tumorale, en facilitant la prise de décision et la communication avec le clinicien.

LES AUTRES CRITÈRES

L'utilisation de la taille comme seul marqueur de la réponse tumorale présente, cependant, des limites, notamment dans l'évaluation des lésions osseuses ou cérébrales, ou encore, dans l'évaluation de traitements anti-tumoraux non cytotoxiques comme les thérapies ciblées ou l'immunothérapie, au cours desquelles une réponse peut être observée sans diminution de la taille des lésions (18). De nouveaux critères ont donc été développés pour intégrer ces spécificités, en adaptant certains paramètres morphologiques ou en intégrant des paramètres fonctionnels (Tableau III).

L'EXEMPLE DE L'IMMUNOTHÉRAPIE

L'immunothérapie, en particulier le traitement par les inhibiteurs de checkpoints immunitaires a, depuis quelques années, révolutionné le pay-

sage des traitements anti-tumoraux (19). Ils agissent en neutralisant les mécanismes d'inhibition immunitaire développés par la tumeur, stimulant ainsi les lymphocytes T qui peuvent alors reconnaître les cellules tumorales et les détruire. Leurs mécanismes d'action particuliers entraînent des profils de réponses radiologiques atypiques, très différents de ceux observés dans les chimiothérapies classiques et difficiles à appréhender par les critères d'imagerie classiques basés sur la taille des lésions (20). La réaction inflammatoire intra-tumorale induite par le traitement peut être responsable, dans un premier temps, d'une augmentation de la taille des lésions ou de l'apparition de nouvelles lésions qui vont secondairement disparaître, laissant place à une réponse prolongée. Ce phénomène est appelé pseudo-progression et pose de grandes difficultés dans le suivi des patients pouvant conduire à l'arrêt inapproprié d'un traitement pourtant efficace ou, à l'inverse, à la poursuite d'un traitement inutile et potentiellement toxique (Figure 3) (21).

Par ailleurs, ces traitements sont également associés à des effets indésirables de type auto-immunitaire (hypophysites, colites, pneumopathies, etc.) qui doivent être reconnus rapidement (22).

IMAGERIE INTERVENTIONNELLE ET ONCOLOGIE

L'imagerie interventionnelle a l'avantage de proposer des procédures précises, car contrôlées en temps réel par l'imagerie, et peu invasives. Que ce soit en échographie, en CT ou en fluoroscopie, les indications en oncologie sont de plus en plus nombreuses et concernent toutes les étapes de la prise en charge du patient.

D'abord au diagnostic, l'imagerie interventionnelle offre la possibilité de réaliser des biopsies

Critères	Tumeurs	Traitements	Paramètres	Modalités d'imagerie
RECIST 1.1	Tumeurs solides	Chimiothérapie	Taille	CT ou IRM
Choi	GIST	Thérapie ciblée	Taille + densité	CT
modified RECIST	CHC	Tout traitement	Taille + densité	CT ou IRM
iRECIST	Tumeurs solides	Immunothérapie	Taille	CT ou IRM
Lugano	Lymphomes	Chimiothérapie	Taille + activité métabolique	CT et PET/CT, IRM

RECIST, response evaluation criteria in solid tumor; CT, computerized tomography; IRM, imagerie par résonance magnétique; GIST, gastrointestinal stromal tumor; CHC, carcinome hépatocellulaire; PET, positron emission tomography.

Tableau III. Principaux critères radiologiques d'évaluation de la réponse thérapeutique.

Figure 3. Coupes CT axiales du thorax d'un patient présentant une néoplasie pulmonaire du lobe supérieur droit (LSD) avec métastases pulmonaires (baseline; flèches blanches). Un mois après initiation d'une immunothérapie de 2^{ème} ligne par pembrolizumab, on observe une régression de la lésion du LSD, mais une croissance des autres nodules pulmonaires (flèches rouges). Suspectant une pseudo-progression, le traitement est maintenu. La pseudo-progression sera confirmée avec la régression secondaire de l'ensemble des lésions, visible à 14 mois (flèches bleues).

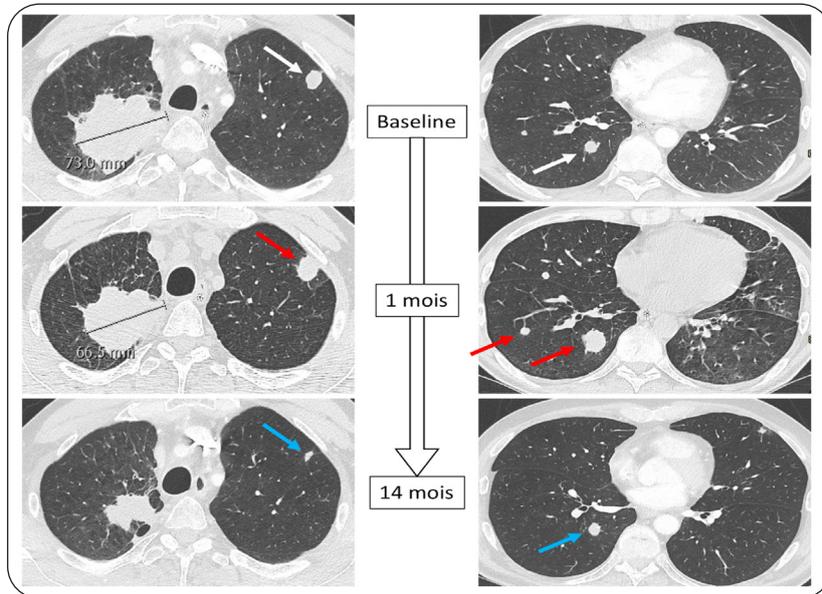


Figure 4. Coupes IRM axiales en diffusion (A) et en pondération T1 + gadolinium à la phase artérielle (B) montrant une lésion métastatique unique du dôme hépatique (flèches) dans un contexte de tumeur neuro-endocrine de l'intestin grêle. Coupes CT axiales durant la procédure d'ablation avec, dans un premier temps, la création d'un pneumothorax pour protéger le poumon lors de l'ablation (C). Dans un deuxième temps, l'aiguille de radio-fréquence est positionnée dans la lésion hépatique en évitant le poumon (D). Coupes IRM axiales en diffusion (E) et en pondération T1 + gadolinium (F) réalisées 6 mois après la procédure montrant une ablation complète de la lésion (flèches), sans signe de récurrence.

percutanées sous contrôle CT ou échographique, qui permettent l'obtention de fragments de tissu tumoral nécessaires au diagnostic histologique. Des lésions de petites tailles (< 1 cm) peuvent être accessibles sous anesthésie locale dans des organes profonds, comme le foie ou les poumons.

Ensuite, de nombreux traitements peuvent également être réalisés, notamment par voie endovasculaire, comme la chimio-embolisation et la radio-embolisation hépatiques.

Ils consistent en l'administration, soit d'un agent de chimiothérapie, soit de particules marquées à l'yttrium-90 (qui émettent localement des rayons bêta réalisant une radiothérapie interne) directement dans une branche de l'artère hépatique qui alimente la tumeur. Cette approche permet de maximiser l'effet anti-tumoral local, tout en diminuant la toxicité. Les ablations percutanées sous contrôle radiologique sont également des procédures de plus en plus pratiquées. Il s'agit d'appliquer de l'énergie (thermique, en général) directement dans la tumeur à l'aide d'une aiguille pour la détruire de façon minimalement invasive. Certaines techniques utilisent le froid (cryo-ablation), d'autres la chaleur (radio-fréquences, micro-ondes). Un exemple d'ablation par radiofréquence est illustré dans la Figure 4.

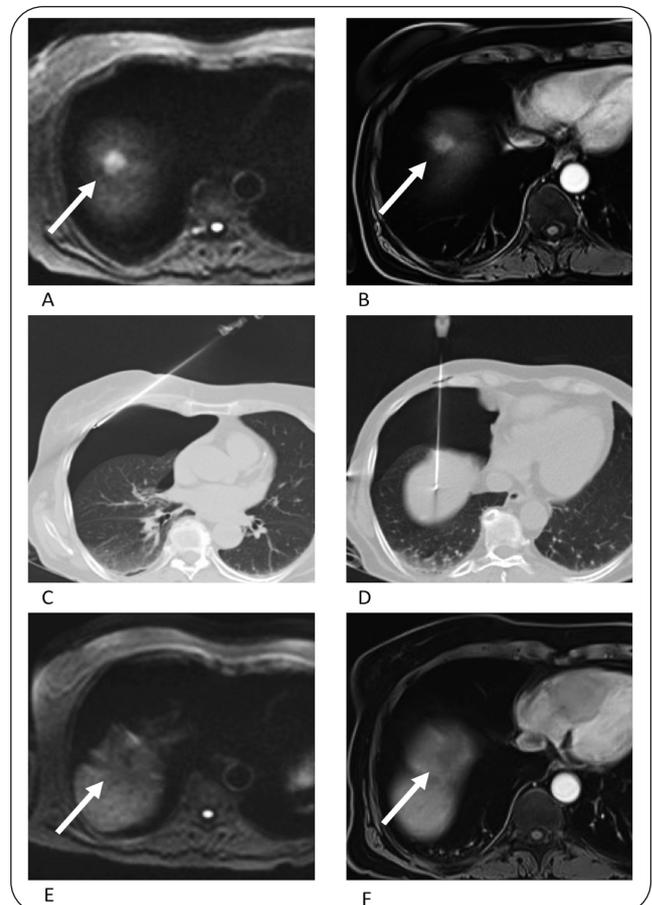
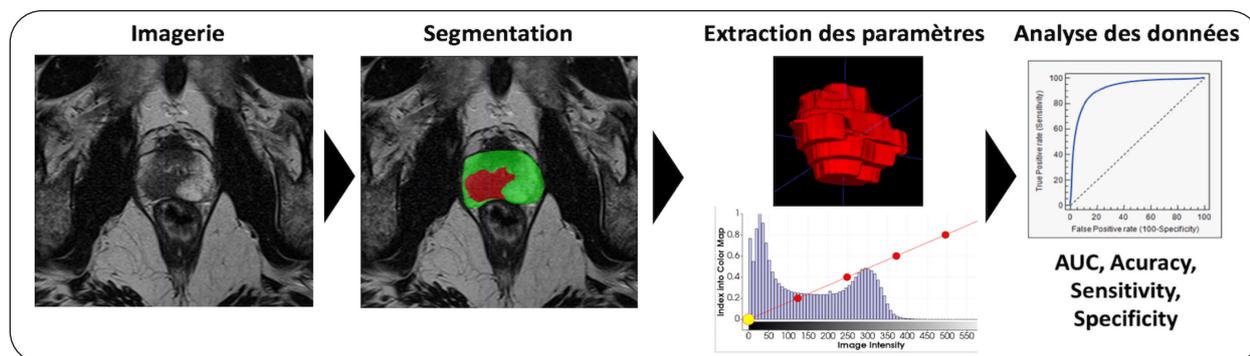


Figure 5. Les grandes étapes du processus de la radiomique.



Enfin, de nombreuses procédures permettent d'améliorer la qualité de vie du patient, comme le drainage de collections invalidantes, le cimentage de métastases osseuses ou la réalisation d'ablation de plexus nerveux en cas de douleurs sur infiltration tumorale.

PERSPECTIVES À L'ÈRE DE LA RADIOMIQUE ET DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

L'imagerie a longtemps été considérée comme un outil majoritairement qualitatif qui fournit principalement des informations anatomiques et morphologiques. Plus récemment, avec l'avènement de la digitalisation, on s'est progressivement intéressé aux données numériques imperceptibles à l'œil nu contenues dans l'image et à leur potentielle exploitation clinique, particulièrement en oncologie (23). L'idée sous-jacente est que les paramètres numériques de l'image de la tumeur, à l'échelle du pixel, sont le reflet du phénotype de la tumeur et de son microenvironnement tissulaire (24). Grâce aux algorithmes d'intelligence artificielle qui utilisent l'apprentissage automatique (machine learning, deep learning), ces paramètres numériques sont traités et sont couplés à d'autres informations non radiologiques (cliniques, biologiques, génomiques, métaboliques, etc.) pour établir des associations appelées signatures. Ces signatures peuvent être associées à certains événements cliniques et être utilisées comme outils d'aide à la décision clinique. Le domaine de recherche qui s'intéresse aux processus de conversion d'une image digitale en données numériques et à leur analyse est appelé radiomique (Figure 5). La radiomique a l'avantage d'être non invasive, d'étudier l'entière du tissu tumoral et d'être facilement accessible dans la mesure où les données sont extraites à partir

d'examen d'imagerie réalisés en routine clinique (25).

La radiomique a déjà montré des résultats très prometteurs, notamment en oncologie pulmonaire dans la prédiction du pronostic (24), dans la classification des nodules bénins ou malins (26), dans l'évaluation de la réponse tumorale ou encore dans la compréhension de la biologie tumorale (24, 27). Même si ces outils ne sont pas encore implémentés en routine clinique, nous sommes, sans aucun doute, à l'aube d'une révolution qui va bouleverser la pratique de l'imagerie oncologique dans les années à venir.

CONCLUSION

Nous avons vu le rôle primordial de l'imagerie oncologique, tant diagnostique qu'interventionnelle, à toutes les étapes de la mise au point et du suivi des tumeurs. À l'ère de la médecine de précision, des soins oncologiques de qualité n'existent pas sans une imagerie oncologique de qualité. Celle-ci doit tenir compte de toutes les spécificités du patient oncologique et de sa maladie. D'abord par l'attention particulière apportée au patient lors de la réalisation des examens, étape qui peut être vécue comme traumatisante et déshumanisante. Ensuite, par l'obtention d'examen de qualité, ciblés et orientés. Ces examens doivent être encadrés et interprétés par des radiologues spécialisés, qui ont une connaissance actualisée des schémas d'exploration et de prise en charge du patient oncologique et qui connaissent les implications cliniques des signes sémiologiques radiologiques. Enfin, cela passe par une communication optimale entre les cliniciens et le radiologue, notamment lors des réunions de consultations oncologiques multidisciplinaires (COM).

BIBLIOGRAPHIE

1. Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin* 2021;caac.21660.
2. Brady AP. Error and discrepancy in radiology : inevitable or avoidable? *Insights Imaging* 2017;8:171-82.
3. Rosenkrantz AB, Mendiratta-Lala M, Bartholmai BJ, et al. Clinical utility of quantitative imaging. *Acad Radiol* 2015;22:33-49.
4. Vargas AJ, Harris CC. Biomarker development in the precision medicine era : lung cancer as a case study. *Nat Rev Cancer* 2016;1:525-37.
5. Hersberger KE, Mendiratta-Lala M, Fischer R, et al. Quantitative imaging assessment for clinical trials in oncology. *J Natl Compr Canc Netw* 2019;17:1505-11.
6. European Society of Radiology, deSouza NM, Achten E, et al. Validated imaging biomarkers as decision-making tools in clinical trials and routine practice : current status and recommendations from the EIBALL* subcommittee of the European Society of Radiology (ESR). *Insights Imaging* 2019;10:87.
7. Weinreb JC, Barentsz JO, Choyke PL, et al. PI-RADS prostate imaging-reporting and data system : 2015, version 2. *Eur Urol* 2016;69:16-40.
8. Kasivisvanathan V, Rannikko AS, Borghi M, et al. MRI-targeted or standard biopsy for prostate-cancer diagnosis. *N Engl J Med* 2018;378:1767-77.
9. Mottet N, van den Bergh RC, Briers E, et al. EAU-EANM-ESTRO-ESUR-SIOG Guidelines on prostate cancer. 2020 Update. Part 1 : screening, diagnosis, and local treatment with curative intent. *Eur Urol* 2021;79:243-62.
10. Marrero JA, Kulik LM, Sirlin CB, et al. Diagnosis, staging, and management of hepatocellular carcinoma: 2018. Practice guidance by the American Association for the study of liver diseases : Marrero et al. *Hepatology* 2018;68:723-50.
11. van der Pol CB, Lim CS, Sirlin CB, et al. Accuracy of the liver imaging reporting and data system in computed tomography and magnetic resonance image analysis of hepatocellular carcinoma or overall malignancy. A systematic review. *Gastroenterology* 2019;156:976-86.
12. Chernyak V, Fowler KJ, Kamaya A, et al. Liver imaging reporting and data system (LI-RADS) Version 2018: Imaging of hepatocellular carcinoma in at-risk patients. *Radiology* 2018;289:816-30.
13. James D. Brierley, Mary K. *Gospodarowick and christian witterkind. TNM classification of malignant tumours*. 8th edition. John Wiley&Sons;2017.
14. Adam IJ, Martin IG, Finan P, et al. Role of circumferential margin involvement in the local recurrence of rectal cancer. *Lancet* 1994;344:707-11.
15. Taylor FG, Quirke P, Heald RJ, et al. Preoperative magnetic resonance imaging assessment of circumferential resection margin predicts disease-free survival and local recurrence : 5-year follow-up results of the MERCURY study. *J Clin Oncol* 2014;32:34-43.
16. Beets-Tan RG, Lambregts DM, Maas M, et al. Magnetic resonance imaging for clinical management of rectal cancer : updated recommendations from the 2016 European Society of Gastrointestinal and Abdominal Radiology (ESGAR) consensus meeting. *Eur Radiol* 2018;28:1465-75.
17. Eisenhauer EA, Therasse P, Bogaerts J, et al. New response evaluation criteria in solid tumours : revised RECIST guideline (version 1.1). *Eur J Cancer* 2009;45:228-47.
18. Tirkes T, Hollar MA, Tann M. Response criteria in oncologic imaging : review of traditional and new criteria. *RadioGraphics* 2013;33:1323-41.
19. Hodi FS, O'Day SJ, McDermott DF, et al. Improved survival with ipilimumab in patients with metastatic melanoma. *N Engl J Med* 2010;363:711-23.
20. Nishino M, Hatabu H, Hodi FS. Imaging of cancer immunotherapy : current approaches and future directions. *Radiology* 2019;290:9-22.
21. Park HJ, Kim KW, Pyo J, et al. Incidence of pseudoprogression during immune checkpoint inhibitor therapy for solid tumors : a systematic review and meta-analysis. *Radiology* 2020;297:87-96.
22. Michot JM, Bigenwald C, Champiat S, et al. Immune-related adverse events with immune checkpoint blockade : a comprehensive review. *Eur J Cancer* 2016;54:139-48.
23. Gillies RJ, Kinahan PE, Hricak H. Radiomics : images are more than pictures, they are data. *Radiology* 2016;278:563-77.
24. Aerts HJ, Velazquez ER, Leijenaar RT, et al. Decoding tumor phenotype by noninvasive imaging using a quantitative radiomics approach. *Nat Commun* 2014;5:4006.
25. Lambin P, Rios-Velazquez E, Leijenaar R, et al. Radiomics : extracting more information from medical images using advanced feature analysis. *Eur J Cancer* 2012;48:441-6.
26. Dhara AK. A combination of shape and texture features for classification of pulmonary nodules in lung CT images. *J Digit Imaging* 2016;29:466-7.
27. Yoon HJ, Sohn I, Cho JH, et al. Decoding tumor phenotypes for ALK, ROS1, and RET fusions in lung adenocarcinoma using a radiomics approach. *Medicine (Baltimore)* 2015;94:e1753.

Les demandes de tirés à part doivent être adressées au Dr F. Cousin, Service de Médecine nucléaire et d'Imagerie oncologique, CHU Liège, Belgique.
Email : fcousin@chuliege.be