

# La médecine nucléaire

Louis Sibille, Enrique Nalda, Laurent Collombier, Pierre-Olivier Kotzki et Vincent Boudousq

**Résumé** La médecine nucléaire est une spécialité médicale exploitant les propriétés de la radioactivité. Des marqueurs radioactifs associés à différents vecteurs sont utilisés comme traceur (ou radiopharmaceutique) dans un but diagnostique et/ou thérapeutique. Depuis sa naissance il y a plus d'un demi-siècle, la médecine nucléaire est devenue incontournable dans la prise en charge de nombreux patients, notamment en oncologie. Après quelques définitions, cet article aborde les principaux domaines de la médecine nucléaire – imagerie fonctionnelle, traitement par radiothérapie interne, détection per-opératoire, technique de dosage par radio-immunologie – ainsi que le devenir de cette discipline.

**Mots-clés** Médecine nucléaire, scintigraphie, TEP, radiopharmaceutique, JIREC 2010.

**Abstract** **Nuclear medicine**  
Nuclear medicine is a medical specialty using the properties of radioactivity. Radioactive markers associated with vectors are used as a tracer or radiopharmaceutical for diagnostic purposes and/or therapy. Since its birth more than half a century ago, it has become essential in the care of many patients, particularly in oncology. After some definitions, this paper presents the main nuclear techniques – imaging for diagnostic, radiopharmaceuticals as therapeutic agents, intra-operative detection, technique of radioimmunoassay – and the future of this field.

**Keywords** Nuclear medicine, scintigraphy, PET, radiopharmaceutical, JIREC 2010, teaching.

L' utilisation militaire de la radioactivité a laissé une image négative du nucléaire. Son utilisation civile est elle aussi vivement contestée depuis l'accident de Tchernobyl en 1986 et les événements récents qui ont touchés le Japon et la centrale nucléaire de Fukushima. Aujourd'hui, la gestion des déchets à long terme fait débat. Tous ces points négatifs sont largement médiatisés et occultent une application majeure du nucléaire qu'est l'utilisation médicale de la radioactivité. La médecine nucléaire est une spécialité exploitant les propriétés de la radioactivité [1-3]. Pour cela, elle utilise des radioéléments en sources non scellées\*. Des marqueurs radioactifs associés à différents types de vecteurs sont utilisés comme traceur (ou radiopharmaceutique) dans un but diagnostique et/ou thérapeutique. La très grande sensibilité de détection de la radioactivité permet d'utiliser des activités très faibles lors des procédures diagnostiques. Profitant des innovations en biologie, en physique et en chimie, la médecine nucléaire a connu une évolution rapide depuis sa naissance il y a plus d'un demi-siècle. Elle est devenue incontournable dans la prise en charge de nombreux patients, notamment en oncologie. Après quelques définitions, nous aborderons successivement les domaines de la médecine nucléaire que sont l'imagerie fonctionnelle, le traitement par radiothérapie interne vectorisée, la détection per-opératoire et enfin très succinctement la technique de dosage par radio-immunologie. Pour conclure, nous aborderons l'état actuel et le futur de cette discipline.

## Quelques définitions

### Radiopharmaceutique ou radiotraceur

Un radiopharmaceutique est un médicament composé d'un marqueur radioactif lié à un vecteur [4]. Sa demi-vie effective dans l'organisme résulte de son élimination

biologique (demi-vie biologique) et de sa décroissance radioactive (demi-vie physique). Un traceur est par définition quelque chose que l'on peut suivre à la trace, ici grâce à la radioactivité. C'est aussi quelque chose que l'on utilise à l'état de trace, c'est-à-dire en très faible quantité. En médecine nucléaire, la quantité pondérale du principe actif contenu dans un radiopharmaceutique est généralement de l'ordre du picogramme ; il n'a donc aucun effet pharmacologique.

### Vecteur

La nature du vecteur utilisé est très variable : il peut s'agir d'une cellule, d'une hormone, d'un anticorps, d'un peptide, d'ADN, d'un acide aminé, d'une molécule de taille quelconque qui peut être le marqueur lui-même. C'est le vecteur qui confère au radiopharmaceutique ses caractéristiques biologiques, qui permettront d'explorer spécifiquement tels ou tels fonction, métabolisme, répartition d'un type de récepteur... Il sera choisi selon le but de l'examen.

### Marqueur

Les radioéléments utilisés en diagnostic sont de deux natures :

- Ceux utilisés en scintigraphie\* par émission monophotonique (imagerie), en radio-immunologie (dosage) ou lors de détection per-opératoire de lésion sont majoritairement des émetteurs  $\gamma$  tels  $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ... En raison de ses caractéristiques physiques favorables en imagerie, de sa disponibilité (générateur de  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ ) et de son coût relativement faible, le  $^{99m}\text{Tc}$  est le marqueur le plus utilisé en médecine nucléaire. Ceux utilisés en scintigraphie par émission biphotonique (imagerie) ou tomographie\* par émission de positon (TEP)\* sont des émetteurs  $\beta^{+}$  tels  $^{18}\text{F}$ ,  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$ ...

## Glossaire

Les termes suivis d'un astérisque\* dans le texte sont définis ci-dessous.

**Annihilation (réaction d')** : réaction entre un électron (particule chargée négativement) et un positon (antiparticule chargée positivement) au cours de laquelle ces deux particules disparaissent pour donner deux photons  $\gamma$  de 511 keV émis à  $180^\circ$  l'un de l'autre.

**Imagerie par résonance magnétique (IRM)** : modalité d'imagerie s'appuyant sur la résonance magnétique nucléaire.

**Rayonnement  $\beta^-$**  : électron chargé négativement.

**Rayonnement  $\beta^+$  ou positon** : antiparticule de l'électron (chargée positivement).

**Rayonnement  $\gamma$**  : rayonnement d'origine nucléaire (ou provenant de phénomènes subatomiques comme la réaction d'annihilation). Les rayonnements  $\gamma$  sont généralement plus énergétiques que les rayonnements X.

**Rayonnement X** : rayonnement d'origine extra-nucléaire (réarrangement du cortège électronique). Les rayonnements X sont généralement moins énergétiques que les rayonnements  $\gamma$ .

**Scintigraphie** : modalité d'imagerie basée sur l'enregistrement de rayonnements  $\gamma$  à l'aide d'un détecteur à scintillation.

**Sievert (Sv)** : unité de dose reflétant les effets biologiques des rayonnements ionisants sur l'organisme.

**Source non scellée** : source dont la présentation et les conditions normales d'utilisation ne permettent pas de prévenir toute dispersion de substance radioactive ; elle est donc irradiante et potentiellement contaminante.

**Tomodensitométrie (TDM) ou scanner X** : modalité d'imagerie s'appuyant sur l'atténuation des rayons X par les tissus, en fonction de leur densité.

**Tomographie** : technique d'imagerie 3D permettant de reconstruire un volume à partir d'images 2D acquises sous différents angles. Ce volume est généralement visualisé sous différents plans de coupe.

**Tomographie par émission monophotonique (TEMP)** : acquisition tomographique en scintigraphie basée sur la détection de photons  $\gamma$ .

**Tomographie par émission de positon (TEP) ou tomographie par émission biphotonique** : acquisition tomographique en scintigraphie basée sur la détection en coïncidence (simultanée et à  $180^\circ$ ) de deux photons  $\gamma$  de 511 keV émis lors d'une réaction d'annihilation entre un positon et un électron.

La demi-vie du  $^{18}\text{F}$  est de 110 min, assez longue pour permettre son acheminement du lieu de production (cyclotron) au centre de médecine nucléaire et assez courte pour limiter dans le temps l'irradiation reçue par le patient. C'est le seul marqueur émetteur de positon utilisé en pratique clinique actuellement.

• Ceux utilisés en thérapie sont généralement des émetteurs  $\beta^*$  tels  $^{131}\text{I}$ ,  $^{153}\text{Sm}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ... Ce rayonnement présente une toxicité radiobiologique élevée car il délivre la totalité de son énergie sur un faible rayon (libre parcours moyen de l'ordre du mm) entraînant une destruction cellulaire localisée. La demi-vie relativement longue (pour une application médicale) de ces radioéléments – huit jours pour l'iode 131 – permet d'obtenir un débit de dose faible limitant les effets secondaires. Les activités utilisées en thérapie sont supérieures à celles utilisées en diagnostic d'un facteur 10 à 100.

## Radioprotection et irradiation

En accord avec le principe de justification, une décision médicale est toujours fondée sur un rapport bénéfice/risque favorable pour le patient et estimé au cas par cas. C'est

pourquoi il n'existe pas de limitation légale chiffrée de la dose de rayonnement délivrée au patient. Le patient doit toutefois être informé des risques avant tout examen ou traitement. Le principe d'optimisation (ou ALARA, « as low as reasonably achievable ») consiste à utiliser des activités adaptées à chaque patient, aussi faibles que possible, permettant d'obtenir des examens de qualité suffisante pour porter un diagnostic ou effectuer un traitement efficace. Elles incluent une traçabilité des radiopharmaceutiques et des contrôles de qualité (puretés radiochimique et radionucléidique). À titre indicatif, une radiographie pulmonaire délivre moins de 0,2 mSv\*, alors qu'un scanner abdominal est à l'origine d'une irradiation de 10 à 15 mSv et une scintigraphie osseuse de 5 mSv.

Les grands principes de la radioprotection sont la justification, l'optimisation (principe ALARA) et la limitation de dose. Nous avons vu que ce dernier point ne s'applique pas au patient ; il est par contre présent pour le personnel médical (et plus généralement le personnel soumis à des rayonnements ionisants) et la population générale. Pour le personnel médical, la limite de dose reçue lors du travail et rapportée au corps entier est de 20 mSv/an. La protection du personnel contre les rayonnements ionisants est sous la responsabilité du chef de service, qui dispose de trois interlocuteurs privilégiés : la personne compétente en radioprotection, le radiophysicien et le médecin de prévention de l'établissement. Les bases de ce travail reposent sur la surveillance dosimétrique des travailleurs, la conception des locaux, la définition des zones surveillées et contrôlées, le respect du règlement intérieur, la gestion des déchets nucléaires, le contrôle qualité des appareils et la formation du personnel à la radioprotection [5].

Le bilan des expositions externes effectué par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) en 2008 sur 3 346 personnes travaillant dans un service de médecine nucléaire a montré que seules trois personnes avaient reçu une dose corps entier de 6 à 15 mSv et aucune une dose de 15 à 20 mSv (la limite légale étant de 20 mSv) [6]. Concernant la population générale, la limite de dose est de 1 mSv/an, en excluant les irradiations médicale et naturelle. Il faut garder en mémoire que l'irradiation moyenne annuelle par habitant en France est de 3,6 mSv/an dont 66 % sont d'origine naturelle (principalement liée au radon), 33 % d'origine médicale et moins de 1 % liée à l'industrie du nucléaire.

## Imagerie fonctionnelle et métabolique

La médecine nucléaire est complémentaire de la radiologie (*tableau I*). Cette discipline médicale voisine emploie d'autres techniques d'imagerie irradiante (radiologie standard, tomodensitométrie ou TDM\*) et non irradiante

Médecine nucléaire	Radiologie
Imagerie fonctionnelle ou métabolique	Imagerie morphologique ou anatomique
Scintigraphie	Tomodensitométrie (TDM)
Rayons $\gamma$	Rayons X*
Paramètre biologique via paramètre physique (radioactivité)	Paramètre physique (densité)

Tableau I - Différences entre les imageries en médecine nucléaire et en radiologie.

(IRM\*, échographie). Le choix de tel ou tel examen dépend de la pathologie à explorer, du patient et bien sûr de la disponibilité des machines. Prenons pour exemple la scintigraphie osseuse qui permet d'apprécier le métabolisme de l'os sur l'ensemble du squelette et de détecter très précocement, avant toute modification morphologique, de nombreux processus pathologiques (fracture, infection, cancer, inflammation...). La radiologie standard et la TDM étudient quant à elles les densités des différents tissus, et peuvent mettre en évidence des hypo- ou des hyperdensités osseuses (figure 1).

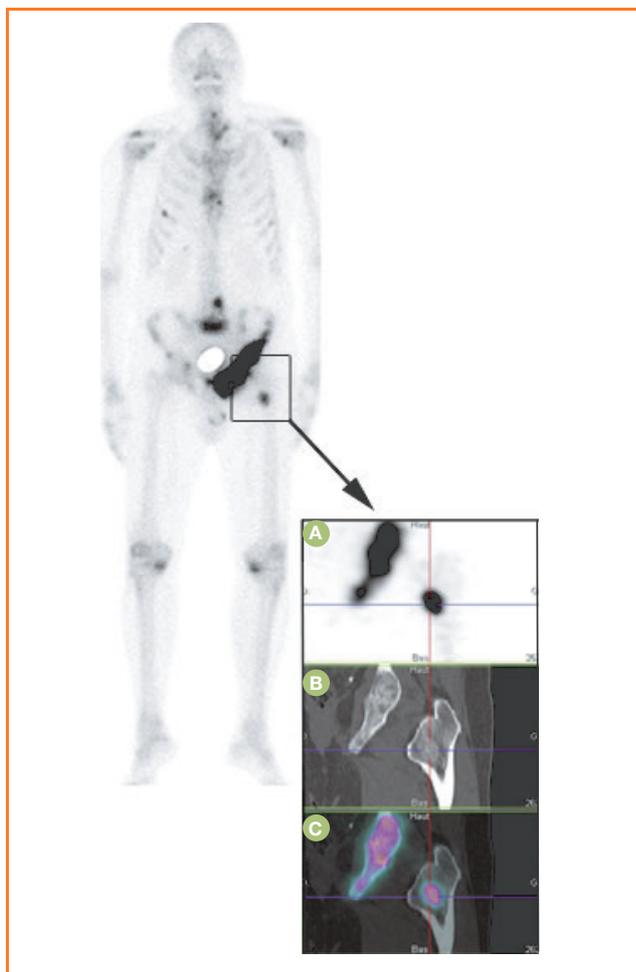


Figure 1 - Scintigraphie osseuse retrouvant plusieurs métastases osseuses (cancer de la prostate). Image planaire du corps entier avec images en coupes centrées sur une métastase du fémur gauche : scintigraphie (A), tomographie par émission de positons (B) et fusion (C).

La première étape d'une scintigraphie est d'administrer le radiotracer au patient. Cette administration s'effectue le plus souvent par injection, mais peut aussi se faire par ingestion ou inhalation. Dans le cas d'une scintigraphie osseuse, elle se fait par injection intraveineuse. Ce traceur va se distribuer dans l'organisme selon la spécificité du vecteur utilisé. Après un temps d'attente variable, de quelques secondes à quelques heures, le patient est positionné sur la table d'acquisition de la  $\gamma$ -caméra ou du TEP, le plus souvent dans une position allongée. Les rayonnements  $\gamma^*$  émis sont détectés, triés et comptabilisés. L'information ainsi obtenue est retranscrite sous forme d'images, qui font l'objet d'une interprétation par un médecin nucléaire, conduisant à un diagnostic.

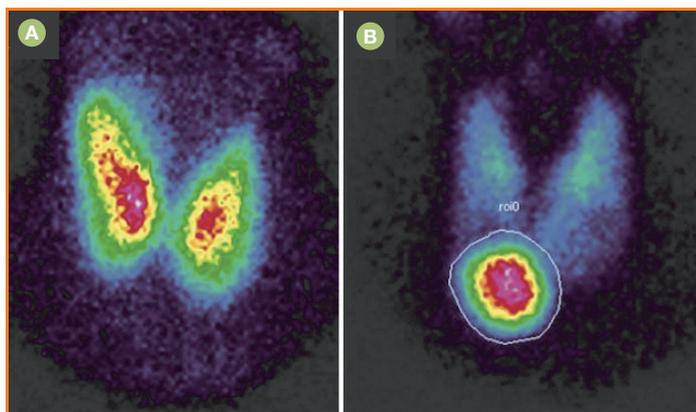


Figure 2 - Scintigraphie thyroïdienne : image normale (A) ; nodule chaud responsable d'une hyperthyroïdie (B).

Le premier organe exploré par les isotopes radioactifs fut la thyroïde [7] (figure 2). De nos jours, les domaines d'application de la médecine nucléaire sont très nombreux et peuvent être classés par organe (cœur, os, thyroïde, cerveau...), par fonction (vascularisation, ventilation, innervation, transit digestif...) ou par pathologie (inflammation, infection...). Les patients recourant à un examen de médecine nucléaire sont de tout âge : du nourrisson en cas d'hypothyroïdie aux personnes âgées en cas de démence. Il n'existe pas d'allergies aux produits employés en médecine nucléaire et les seules contre-indications, qui restent relatives, sont la grossesse et l'allaitement.

On distingue deux types de  $\gamma$ -caméra suivant qu'un ou deux photons sont détectés suite à la désintégration du marqueur [2-3]. Les  $\gamma$ -caméras dites « classiques » sont les plus anciennes et les plus nombreuses ; fonctionnant toujours selon le principe décrit par Anger en 1952, elles permettent la réalisation d'images planaire (2D) ou tomographique\* (3D). Dans ce dernier cas, on parle de tomographie par émission monophotonique (TEMP)\*. Depuis les années 2000, l'équipement des centres de médecine nucléaire a évolué avec l'apparition des caméras TEP (tomographie par émission de positons\*). Le principe de détection de la TEP est plus complexe que celui des  $\gamma$ -caméras classiques. Le positon émis par la désintégration du marqueur ne peut être détecté directement ; il interagit très rapidement avec un électron du milieu lors d'une réaction d'annihilation\*. Cette réaction conduit à l'émission de deux photons de même énergie (511 keV) selon des directions opposées, qui sont captés simultanément et en coïncidence grâce aux détecteurs répartis en couronne.

L'ensemble des caméras vendues actuellement sont équipées de systèmes hybrides associant  $\gamma$ -caméra et TDM (TEMP/TDM ou TEP/TDM) (figures 3 et 4). En comparaison à des examens tomographique et scintigraphique effectués de façon séparée, l'utilisation de systèmes hybrides améliore la précision diagnostique et influe sur la prise en charge des patients. Les informations obtenues en TDM permettent d'augmenter la qualité des images scintigraphiques d'une part, et de localiser et de caractériser de façon plus précise les lésions d'autre part [8-9].

## Radiothérapie interne vectorisée

Le versant thérapeutique de la médecine nucléaire est moins développé mais tout aussi efficace que le versant diagnostique. Il s'apparente en termes de spécialité



Figure 3 - Caméra hybride TEP/TDM (Philips®).

médicale non plus à la radiologie mais à la radiothérapie (tableau II). L'utilisation des émetteurs  $\beta^-$  en association avec des vecteurs choisis permet de cibler spécifiquement les tissus ou cellules à détruire [10-11]. La radiothérapie interne vectorisée est un traitement complémentaire de la radiothérapie externe, de la chimiothérapie et de la chirurgie dans la lutte contre le cancer.

Médecine nucléaire	Radiothérapie
Interne (sources non scellées)	Externe Interne (sources scellées)
Irradiation très sélective	Irradiation moins sélective
Rayons $\beta^-$	Rayons $\beta^-$ , X, $\alpha$
Débit de dose faible	Débit de dose élevé

Tableau II - Différences entre les traitements en médecine nucléaire et en radiothérapie.

Le principe de radiopharmaceutique est le même que pour les applications diagnostiques, la différence résidant dans le choix du marqueur. Certains marqueurs, comme l'iode  $^{131}$  utilisé dans le traitement des cancers thyroïdiens, présentent une émission mixte  $\beta^-$  et  $\gamma$  permettant de réaliser des images diagnostiques (recherche de métastases) en plus de leur effet thérapeutique.

En cas de cancer, la radiothérapie interne vectorisée peut être utilisée dans deux buts. L'effet curatif est recherché dans le traitement des cancers thyroïdiens ou des lymphomes, alors que dans le traitement des métastases osseuses, l'effet recherché est palliatif ; il s'agit alors d'un traitement symptomatique.

Son utilisation ne se limite pas à l'oncologie ; la radiothérapie interne est aussi employée dans le traitement de pathologies bénignes comme l'hyperthyroïdie ou certaines atteintes inflammatoires des articulations.

### Détection per-opératoire

Une étroite collaboration entre chirurgiens et médecins nucléaires a donné naissance à des techniques de détection per-opératoire utilisant les isotopes radioactifs [12]. La plus connue est la détection du ganglion sentinelle servant dans le traitement chirurgical des cancers du sein.

Le principe, toujours basé sur le couple vecteur-marqueur, est simple. Le radiotracer est injecté au niveau du sein malade de la patiente le jour ou la veille de l'intervention chirurgicale. Juste avant l'intervention, une image est réalisée pour vérifier la bonne migration du radiotracer jusqu'au ganglion sentinelle (premier ganglion de la chaîne de drainage lymphatique du sein). Lors de l'intervention, le ganglion sentinelle sera repéré à l'aide d'une sonde de détection (figure 5), puis prélevé et analysé. Selon le résultat de cette analyse, le chirurgien pratiquera (si le ganglion est envahi par le cancer) ou non un curage

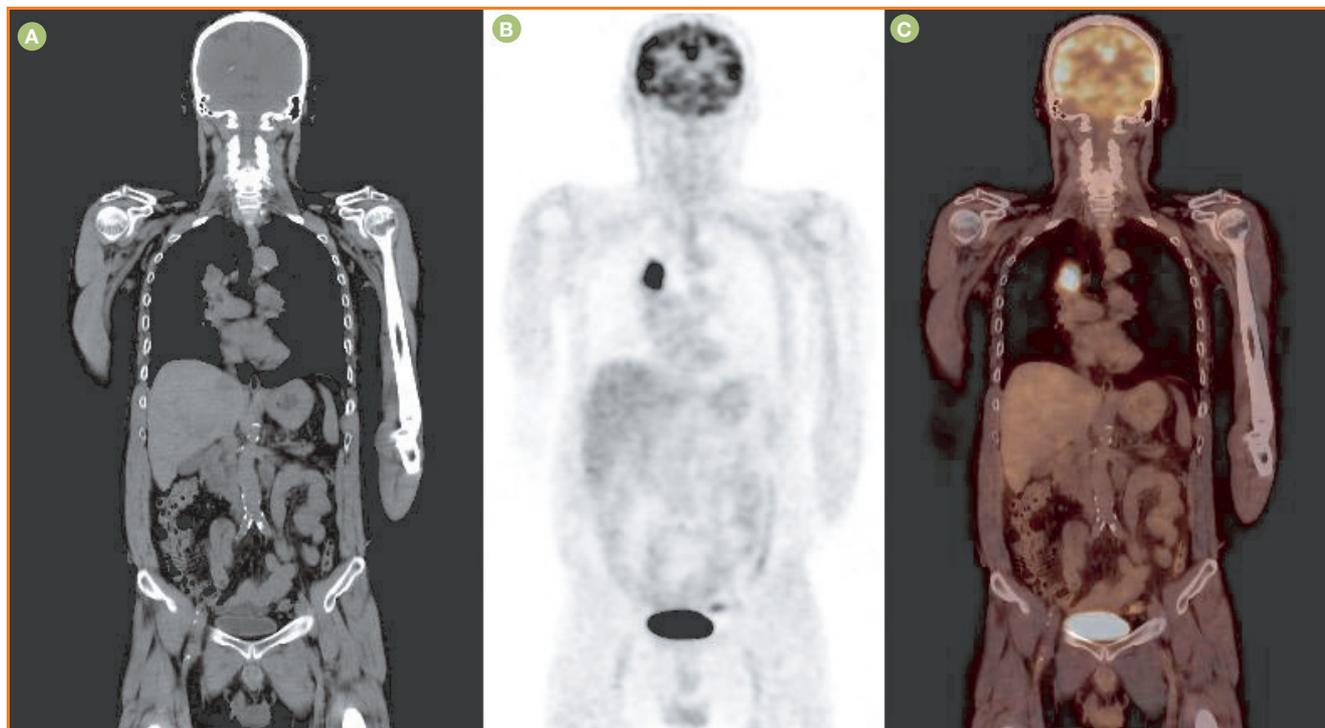


Figure 4 - TEP/TDM au  $^{18}\text{F}$ -FDG montrant un cancer du poumon droit. Images en coupes frontales : tomodensitométrie (A), scintigraphie (B) et fusion (C).



Figure 5 - Sonde de détection per-opérateur (Clerad®).

ganglionnaire axillaire complet (ablation de tous les ganglions). Cette technique a pour but d'éviter des curages ganglionnaires inutiles qui peuvent entraîner des complications à long terme.

## Radio-immuno-analyse

Un domaine de la médecine nucléaire plus proche de la biologie est la radio-immuno-analyse (RIA). Cette technique bénéficie de la sensibilité de détection de la radioactivité et de la spécificité de la réaction immunologique antigène-anticorps. Elle permet le dosage d'hormones (thyroïde, hypophyse...), de peptides et de vitamines, ainsi que de certains marqueurs tumoraux (thyroglobuline, PSA : antigène prostatique spécifique...). Son utilisation a diminué au profit des dosages par techniques enzymatique, fluorescente et chimioluminescente. Ne représentant plus que 10 à 20 % de l'activité de biologie clinique, elle ne sera pas développée ici.

## Situation actuelle et perspectives

En 2009, la France métropolitaine comptait 337  $\gamma$ -caméras classiques et 77 TEP installées pour environ 550 médecins nucléaires. La quasi-totalité des  $\gamma$ -caméras vendues à l'heure actuelle sont hybrides (TEMP/TDM ou TEP/TDM). L'imagerie hybride, qui permet une fusion des informations fonctionnelles et anatomiques, continue à se développer : amélioration des logiciels, de la qualité des unités TDM et apparition de caméras de recherche associant TEP et IRM [13]. D'autres développements sont attendus comme la généralisation des nouveaux détecteurs à semi-conducteur (CZT pour CdZnTe), qui sont plus sensibles et améliorent les résolutions spatiales et en énergie [14].

L'avenir de la médecine nucléaire dépend de l'amélioration et du développement des caméras, mais aussi et surtout de la découverte et de la production à grande échelle de nouveaux radiopharmaceutiques. Il n'existe pas de limite théorique, l'enjeu étant de trouver un vecteur d'intérêt biologique synthétisable, dont la distribution et l'accumulation dans l'organisme ne seront pas ou peu changées par son marquage. Nous pouvons espérer que ces futurs traceurs

permettront de relever les défis de la médecine moderne que sont la prévention, le diagnostic et les traitements précoces des pathologies neurodégénératives (maladie d'Alzheimer), cardiovasculaires (infarctus du myocarde, accidents vasculaires cérébraux) ou endocriniennes (diabète). Toutefois, la mise au point d'un nouveau traceur est longue : de cinq à dix ans. Le développement de ces traceurs est encadré, mais aussi parfois ralenti par la rigidité de la double législation portant sur l'utilisation des isotopes radioactifs et des médicaments.

Une autre préoccupation est le problème médico-économique de ces recherches : elles sont financées dans la majorité par les industries qui n'ont que vingt ans de monopole, recherche comprise, pour rentabiliser des investissements de 200 à 900 millions d'euros [2].

## Conclusion

La médecine nucléaire est une discipline encore mal connue qui apporte pourtant une contribution indiscutable dans la prise en charge des patients atteints de maladies cancérologiques, ostéo-articulaires, cardiologiques ou neurologiques. Elle possède deux facettes : l'une diagnostique (imagerie, dosage biologique) et l'autre thérapeutique (radiothérapie interne vectorisée, détection per-opérateur). Cette jeune spécialité médicale possède un vrai dynamisme basé sur l'évolution des caméras et la recherche de nouveaux traceurs.

Chaque année, quarante millions de personnes dans le monde bénéficient d'un examen de médecine nucléaire. Mais depuis 2008, cette spécialité est menacée par des crises répétées d'approvisionnement en générateur de  $^{99}\text{Mo}$  servant à produire le  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , isotope le plus utilisé en médecine nucléaire [15]. 95 % de la production mondiale de ces générateurs sont assurés par seulement cinq centrales nucléaires, les plus importantes étant situées au Canada, en Europe et en Afrique du Sud. Les arrêts de fonctionnement pour maintenance sont de plus en plus fréquents et longs en raison d'un vieillissement de ces structures, âgées de 43 à 53 ans, qui ne devraient plus être opérationnelles d'ici quinze ans. Des interventions harmonisées de la part des gouvernements et des acteurs industriels sont nécessaires pour pérenniser la production et l'approvisionnement de ces générateurs afin de ne pas pénaliser un grand nombre de patients.

## Références

- [1] Nalda E., Sibille L., Comte F., [www.mednuc.net](http://www.mednuc.net).
- [2] Zimmermann R., *La médecine nucléaire – La radioactivité au service du diagnostic et de la thérapie*, EDP Sciences, 2006.
- [3] Bourguet P., Courbon F., Le Guludec D., Giamarile F., Kraeber-Bodéré F., Payoux P. *et coll.*, Dossier : La radioactivité au service de la médecine. La médecine nucléaire, une spécialité méconnue, *Techniques Hospitalières*, 2009, 718, p. 18.
- [4] Quelven I., Monteil J., Tafani J.-A.M., Les médicaments radiopharmaceutiques, *Actualités Pharmaceutiques Hospitalières*, 2005, 1(1), p. 45.
- [5] Castagnet X., Mantzarides M., Laroche P., Foehrenbach H., Radioprotection du personnel dans un service de médecine nucléaire, *Arch. Mal. Prof. Env.*, 2007, 68(5), p. 555.
- [6] La radioprotection des travailleurs. Bilan 2008 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France, *Rapport DRPH/DIR/2009-16*, IRSN, 2009, [www.irsn.fr/FR/expertise/rapports\\_expertise/Documents/radioprotection/IRSN\\_bilan\\_annuel\\_travailleurs\\_2008.pdf](http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN_bilan_annuel_travailleurs_2008.pdf).
- [7] Dubois P., Historique de l'imagerie en médecine nucléaire, *IRBM*, 2009, 30(2), p. 40.
- [8] Delbeke D., Schöder H., Martin W.H., Wahl R.L., Hybrid imaging (SPECT/CT and PET/CT): improving therapeutic decisions, *Semin. Nucl. Med.*, 2009, 39(5), p. 308.
- [9] Mariani G., Bruselli L., Kuwert T., Kim E.E., Flotats A., Israel O., Dondi M., Watanabe N., A review on the clinical uses of SPECT/CT, *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, 2010, 37(10), p. 1959.

- [10] Vuillez J.-P., Traitements à visée palliative ou curative : la radiothérapie vectorisée des tumeurs endocrines, *Médecine Nucléaire*, **2007**, 31(9), p. 506.
- [11] Vuillez J.-P., Radioimmunothérapie : quelques réflexions sur le rationnel et les mécanismes d'action, *Médecine Nucléaire*, **2009**, 33(8), p. 465.
- [12] Brenot-Rossi I., La pratique de la technique du ganglion sentinelle dans diverses indications : sein, col utérin, prostate, vulve et verge. Méthodologie pratique, *Médecine Nucléaire*, **2008**, 32(8), p. 418.
- [13] Antoch G., Bockisch A., Combined PET/MRI: a new dimension in whole-body oncology imaging?, *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, **2009**, 36(Suppl. 1), p. 113.
- [14] Slomka P.J., Patton J.A., Berman D.S., Germano G., Advances in technical aspects of myocardial perfusion SPECT imaging, *J. Nucl. Cardiol.*, **2009**, 16(2), p. 255.
- [15] OECD/NEA High-level Group on Security of Supply of Medical Radioisotopes, *The Supply of Medical Radioisotopes Series* ([www.oecd-nea.org/med-radio/med-radio-series.html](http://www.oecd-nea.org/med-radio/med-radio-series.html)).



L. Sibille



L. Collombier



E. Nalda



P.-O. Kotzki



V. Boudousq

**Louis Sibille** (*auteur correspondant*) et **Laurent Collombier** sont praticiens hospitaliers, **Enrique Nalda** est assistant hospitalo-universitaire, **Pierre-Olivier Kotzki** est professeur des universités et praticien hospitalier, et **Vincent Boudousq** est maître de conférence des universités et praticien hospitalier, au CHU de Nîmes\*.

\* CHU de Nîmes, Service de médecine nucléaire et de biophysique, Place du Pr. Robert Debré, F-30029 Nîmes Cedex 9.  
Courriel : [louis.sibille@chu-nimes.fr](mailto:louis.sibille@chu-nimes.fr)



## CNRS Formation Entreprises

Le CNRS | Annuaire | Mots-Clefs CNRS | Autres sites

du 22 au 23 septembre 2011  
à VANDŒUVRE lès Nancy (54)

Méthodologie de recherche d'information scientifique et technique sur Internet

Stage à la carte  
Nous consulter  
à GIF-SUR-YVETTE (91)

RMN des macromolécules biologiques

du 26 au 30 septembre 2011  
à TOULOUSE (31)

Formation avancée en RMN pour la chimie et la biochimie

du 26 au 30 septembre 2011  
à TOULOUSE (31)

Techniques chromatographiques HPLC

du 3 au 7 octobre 2011  
à VILLEURBANNE (69)

Analyse quantitative de gaz par spectrométrie de masse

du 6 au 7 octobre 2011  
à GIF SUR YVETTE (91)

Le risque chimique : connaissance et prévention niveau I

Stage à la carte  
Nous consulter  
à SOLAIZE (69)

Initiation à la pratique d'analyses thermiques : analyse calorimétrique différentielle (DSC),  
analyse thermogravimétrique (ATG)

**Centre de ressources en formation**

Un problème de formation particulier ?

N'hésitez pas à nous consulter :

- par mail à [ressources@cf.cnrs-gif.fr](mailto:ressources@cf.cnrs-gif.fr)

- par téléphone au 01.69.82.44.96

**Catalogue, programmes et inscriptions : CNRS Formation Entreprises** Avenue de la Terrasse Bât. 31 91198 Gif-sur-Yvette Cedex  
Tél. : 01 69 82 44 55 - Fax : 01 69 82 44 89 <http://cnrsformation.cnrs-gif.fr>