

## Évaluation dosimétrique de l'exposition des patients lors de la scintigraphie osseuse à l'Institut de Médecine Nucléaire d'Abidjan

Koffi N'guessan Placide Gabin ALLANGBA<sup>1,2,3,4,5\*</sup>, Annick KOUAME-KOUTOUAN<sup>2,3</sup>,  
N'go Nathalie KOUASSI-ABOUKOUA<sup>2,3</sup>, Éric Émile Gnogbo ZUNON-KIPRÉ<sup>2,3</sup>,  
N'guessan Konan Julien N'DRIN<sup>2,3</sup> et Souleymane KEITA<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Université Jean Lorougnon Guédé, Unité de Formation et de Recherche (UFR) Environnement, Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup> Institut de Médecine Nucléaire d'Abidjan (IMENA), Pôle Biosécurité et Biosûreté, Unité de Physique Médicale et Radioprotection, BP 917 Abidjan 08, Côte d'Ivoire

<sup>3</sup> Université Félix Houphouët-Boigny, Unité de Formation et de Recherche Sciences Médicale (UFR SM), Laboratoire de Biophysique et Médecine Nucléaire (LBMN), BP V 166 Abidjan, Côte d'Ivoire

<sup>4</sup> Université Nangui Abrogoua, Unité de Formation et de Recherche des Sciences Fondamentales et Appliquées (UFR SFA), Laboratoire de Physique Fondamentale et Appliquée (LFAP), BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

<sup>5</sup> Université de Trieste et Centre International de Physique Théorique (ICTP), Département de Physique Médicale, ICTP-Strada Costiera 11, 34151 Trieste, Italie

(Reçu le 09 Août 2024 ; Accepté le 18 Septembre 2024)

\* Correspondance, courriel : [pgallangba@gmail.com](mailto:pgallangba@gmail.com)

### Résumé

L'objectif de cette étude est de procéder à une évaluation dosimétrique des patients ayant bénéficiés d'une scintigraphie osseuse. Les données dosimétriques de 87 patients âgés en moyenne de 55 ans, ont été collectées à l'institut de Médecine Nucléaire d'Abidjan (IMENA). Le niveau de référence diagnostique (NRD) a été déterminée à partir du 75<sup>e</sup> percentile de la distribution de l'activité du radiopharmaceutique administrée aux patients. Les valeurs sont en accord avec d'autres NRD publiées, notamment des NRD de 874,6 ; 944 ; 924 ; 600 et 848-1185 MBq pour l'IMENA, le Koweït, la Corée du sud, le Royaume-Uni et les États-Unis, respectivement. De même, pour les structures osseuses du corps entier, la dose efficace était respectivement de 3,3 ; 7,2 ; 4,2 ; 3,0 et 4,0 mSv pour l'IMENA, le Koweït, le soudan, la Russie et les États-Unis. Les doses absorbées par quelques organes et tissus radiosensibles identifiés après 3h d'exposition correspondaient à 0,56 ; 0,63 ; 0,96 et 0,73 mGy pour le foie, les reins, la paroi vésicale et la rate, respectivement. Ces indicateurs constituent une étape clé du processus de surveillance dosimétrique des patients contre les effets des rayonnements ionisants.

**Mots-clés :** *niveau de référence diagnostique, dose efficace, scintigraphie osseuse.*

## Abstract

### **Dosimetric assessment of patient exposure during Bone Scintigraphy at the Abidjan Institute of Nuclear Medicine**

The objective of this study is to perform a dosimetric assessment of patients who underwent a bone scintigraphy. Dosimetric data from 87 patients, with an average age of 55 years, were collected at the Abidjan Institute of Nuclear Medicine (IMENA). The Diagnostic Reference Level (DRL) was determined from the 75th percentile of the distribution of the activity of the radiopharmaceutical administered to the patients. The values agreed with other published DRLs, including those of 874.6, 944, 924, 600, and 848-1185 MBq for IMENA, Kuwait, South Korea, the United Kingdom, and the United States, respectively. Similarly, for the skeletal structures of the whole body, the effective dose was 3.3, 7.2, 4.2, 3.0, and 4.0 mSv for IMENA, Kuwait, Sudan, Russia, and the United States, respectively. The absorbed doses in certain radiosensitive organs and tissues identified after 3 hours of exposure were 0.56, 0.63, 0.96, and 0.73 mGy for the liver, kidneys, bladder wall, and spleen, respectively. These indicators represent a crucial step in the dosimetric monitoring process for patients against the effects of ionizing radiation.

**Keywords :** *diagnostic reference level, effective dose, bone scintigraphy.*

## 1. Introduction

La médecine nucléaire est une discipline médicale cruciale où les substances radioactives sont utilisées dans des processus diagnostiques et thérapeutiques [1]. Les modalités de l'imagerie anatomique sont utilisées en radiologie et celles de l'imagerie fonctionnelle en médecine nucléaire, y compris les procédures conventionnelles et hybrides telles que TEMP (Tomographie par Emission Monophotonique) /TDM (Tomodensitométrie) et TEP (Tomographie par Emission de Positron) /TDM [2]. Près de 13,5 millions de procédures de médecine nucléaire ont été effectuées aux États-Unis en 2016 [3] et plus de 5 000 procédures de médecine nucléaire sont effectuées chaque année au Koweït [2]. Parfois, l'activité radiopharmaceutique peut varier de 20 fois plus parmi les différents départements de médecine nucléaire [4]. Les principes généraux de la radioprotection contre le danger des rayonnements ionisants sont résumés en 3 mots clés : justification, optimisation et limites de dose [5]. Cependant, le principe d'optimisation, défini par l'article L. 1333-2 du code de la santé publique française, connu sous le nom de principe ALARA (As Low As Reasonably Achievable ou au plus faible niveau que l'on peut raisonnablement atteindre), a conduit, dans le domaine de l'imagerie médicale utilisant des rayonnements ionisants, à introduire le concept de « niveaux de référence diagnostique (NRD) » [6]. A l'Institut de Médecine Nucléaire d'Abidjan (IMENA), la TEMP est utilisée pour l'exploration de plusieurs types de pathologies dont l'ostéome qui fera l'objet de notre investigation. En effet, l'IMENA utilise des produits radioactifs dans ses prestations médicales. Ces pratiques occasionnent une augmentation de l'exposition aux rayonnements ionisants aussi bien chez les patients que chez les travailleurs en zone surveillée. Par conséquent, le NRD doit être établi dans les études d'imagerie en médecine nucléaire pour réduire l'exposition aux rayonnements médicaux et aux préoccupations sociales, ainsi que pour optimiser la radioprotection. Cette exposition a augmenté de façon continue au cours de la dernière décennie, atteignant des niveaux comparables ou même supérieurs à l'exposition de la population aux sources naturelles de rayonnement [7]. L'établissement du NRD est aussi une recommandation de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) et de la Commission Européenne (CE) [8]. En effet, la CIPR dans ses publications n° 37,60, 73 et la CE par la directive « *European Directive 97/43/Euratom* » visent à faciliter l'optimisation des pratiques radiologiques afin de réduire l'exposition des patients. En 1999,

la Commission européenne a publié le document Radioprotection 109 [8] et a déclaré que les NRD devraient être fixés par les États membres en tenant compte des circonstances nationales ou régionales individuelles, telles que la disponibilité d'équipements et la formation dans le cadre de la radioprotection 180 [9]. La publication la plus récente, la CIPR 135 [10], précise les lignes directrices existantes et divers aspects de l'établissement du NRD, comme les considérations relatives à la réalisation d'une enquête nationale, les applications cliniques des NRD et les intervalles appropriés pour leurs mises à jour. Suivant ces instructions, des NRD ont été établis dans de nombreux pays [11 - 15]. L'objectif de ce travail est de procéder à une évaluation dosimétrique des patients ayant bénéficiés d'un examen de scintigraphie osseuse. Le niveau de référence diagnostique (NRD) de l'activité administrée aux patients, la dose efficace et la dose absorbée par les organes et tissus ont été choisis comme indicateurs de performance dosimétrique.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Station de calcul

Ce travail a été réalisé avec une station de calcul dotée d'un ordinateur de marque Dell de processeur Intel(R) Core (TM) i5-6300U CPU @ 2.40GHz, 8 Go RAM, d'un disque dur de 500 Go sur lequel était installé le système d'exploitation Windows 10. Les logiciels MIRDCalc v1.2 et Visual Monte Carlo dose calculation (VMC DC) ont été installés sur ce système.

### 2-2. Collecte de données et calcul du NRD

Cette étude princeps prospective a été réalisée de septembre à novembre 2023. Les données dosimétriques de 87 patients ayant subi une scintigraphie osseuse ont été collectées. Les patients ont été administrés avec un radiopharmaceutique nommé « hydroxy-méthylène diphosphonate marqué au technétium 99 métastase ( $^{99m}\text{Tc-HMDP}$ ) ». Pour notre protocole, la distribution statistique de l'activité administrée aux patients a été calculée en termes de 25<sup>e</sup> percentile, 50<sup>e</sup> percentile, 75<sup>e</sup> percentile, minimum, maximum et déviation standard (SD) [11]. Par définition, le 75<sup>e</sup> percentile de la distribution correspond au NRD. Les percentiles ont été calculés par l'outil statistique « *Social Science Statistics* » [16].

### 2-3. Formalisme des Doses de rayonnement interne médical (MIRD)

La mesure directe des doses absorbées par les organes et tissus internes à partir de radionucléides distribués dans l'anatomie du patient n'est pas réalisable. Par conséquent, la dosimétrie en médecine nucléaire est basée sur une méthode de calcul appelée formalisme des doses de rayonnement interne (MIRD) [17]. Cette méthode est basée sur les données biocinétique, les modèles d'anatomie humaine c'est-à-dire les fantômes humains numériques stylisés, voxels et hybrides. Ce formalisme s'appuie également sur les données du spectre énergétique des radionucléides.

#### 2-3-1. Dose de rayonnement efficace

La dose de rayonnement efficace d'un organe est une mesure de la quantité d'énergie de rayonnement ionisant par cet organe, tenant compte de la sensibilité de cet organe aux effets nocifs des radiations. Elle prend en compte non seulement la dose absorbée, mais aussi le type de rayonnement et le tissu ou organe irradié. Elle s'exprime généralement en sieverts (Sv). Cette dose reçue du  $^{99m}\text{Tc-HMDP}$  par les patients à partir de la procédure de médecine nucléaire a été estimée sur la base des coefficients de dose extraits de la CIPR 106 [18]. Elle a été calculée en utilisant le formalisme MIRD par le logiciel MIRDCalc v1.2 [19].

### 2-3-2. Dose absorbée par les organes ou tissus

La dose absorbée par les organes et tissus mesure la quantité d'énergie de rayonnement ionisant absorbée, exprimée en grays (Gy). Cette mesure ne tient pas compte de la sensibilité biologique de l'organe. Le logiciel « Visual Monte Carlo dose calculation » (VMC DC), écrit en Visual Basic [20], a été utilisé pour effectuer les calculs dosimétriques. Il effectue des calculs en utilisant la méthode de Monte Carlo basée sur le transport de photons à travers les fantômes voxels, les détecteurs de rayonnement et les objets géométriques. Dans cette étude, VMC DC a été utilisé pour calculer les doses chez le fantôme mâle de référence de la CIPR à partir d'une source interne radioactive. Les énergies des photons et des électrons considérées sont entre 15 KeV et 2 MeV [20]. Les compositions des organes et des tissus ont été prises à partir de celles du rapport ICRU numéro 44 [20]. Le code de simulation utilisé pour les calculs, le formalisme MIRD [17]. Les interactions photoélectrique et Compton sont les deux types d'interaction qui ont été pris en compte dans les calculs simulés par VMC DC [20].

### 2-4. Simulation d'une situation d'exposition interne

Pour obtenir les valeurs des doses, la situation d'exposition a été simulée à partir des paramètres présentés dans le **Tableau 1**.

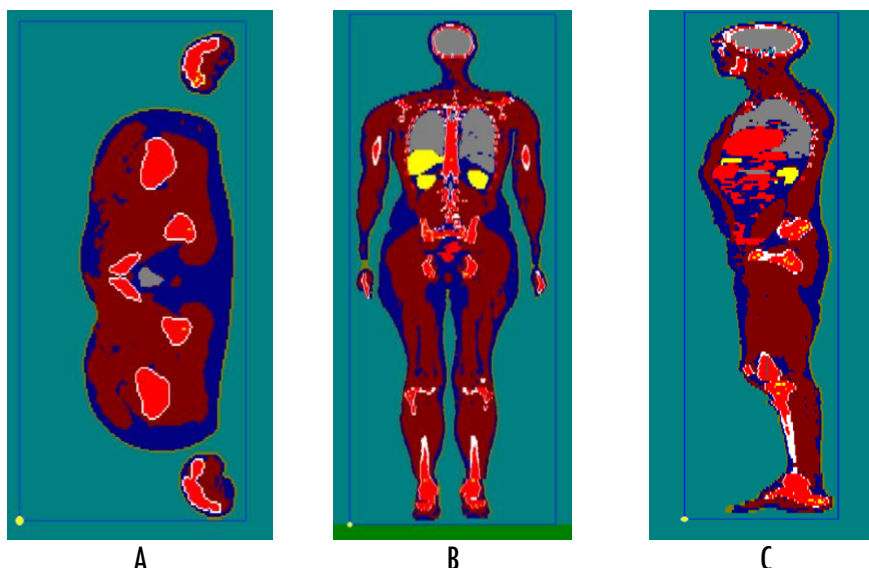
**Tableau 1 : Paramètres de simulation dosimétrique**

	Simulation 1	Simulation 2	Simulation 3
Radioisotope	$^{99m}\text{Tc}$	$^{99m}\text{Tc}$	$^{99m}\text{Tc}$
Source	Interne	Interne	Interne
Activité (MBq)	NRD	NRD	NRD
Fantôme utilisé	Mâle adulte CIPR	Mâle adulte CIPR	Mâle adulte CIPR
Organe ou tissu source	os cortical	os cortical	os cortical
Durée de l'exposition	1 min	3h	6h
Nombre de photon	$10^7$	$10^7$	$10^7$

Dans la pratique clinique, pour effectuer un examen de scintigraphie osseuse, le patient parcourt plusieurs étapes essentielles. La plus importante pour son examen est son entrée dans la zone surveillée où le radiopharmaceutique lui sera administré. Ce parcours est décrit dans les simulations ci-après.

- Simulation 1 : cette étape représente les conditions d'exposition interne du patient, 1 min après l'administration du radioisotope. Le patient devient radioactif.
- Simulation 2 : Le temps d'attente du patient avant son installation sur la machine d'acquisition, la gamma camera TEMP, est de 3h. L'acquisition dure 20 à 30min et varie selon les protocoles.
- Simulation 3 : La décroissance du radioisotope  $^{99m}\text{Tc}$  a une demi-vie physique de 6h. Par conséquent, le patient est sensé se retrouver hors de la zone surveillée où il interagit avec le public.

Dans la simulation, le patient est remplacé par un mannequin virtuel appelé fantôme mathématique ou voxel. Le fantôme mâle adulte CIPR est présenté dans la **Figure 1** ci-après.



**Figure 1 :** Visualisation du Fantôme mathématique mâle voxel CIPR en position, (A) transversale, (B) frontale, (C) profil

### 3. Résultats et discussion

#### 3-1. Etablissement du niveau de référence diagnostique et dose de rayonnement

Les patients étaient âgés en moyenne de 55 ans. Les données statistiques de l'activité administrée pour la scintigraphie osseuse ont été calculées en termes de percentile, minimum, maximum, moyenne et déviation standard (SD). L'établissement du NRD et de la dose efficace de l'IMENA ont également été déterminés. Les résultats sont présentés dans le **Tableau 2**.

**Tableau 2 :** Niveau de référence diagnostique de la scintigraphie osseuse et dose efficace de l'IMENA

Institut ou pays	Radiopharmaceutique pour Scintigraphie osseuse	Minimum	Percentile		
			25 <sup>e</sup>	50 <sup>e</sup>	75 <sup>e</sup>
IMENA	<sup>99m</sup> Tc-HMDP	399,10	720	811,50	874,60
	Maximum	Moyenne	SD	NRD (MBq)	Dose efficace (mSv)
	1200	817,27	144,91	874,60	3,30

#### 3-1-1. Comparaison des NRD de la scintigraphie osseuse

L'activité de <sup>99m</sup>Tc-HMDP administrée aux patients au cours de la scintigraphie osseuse a été évaluée pour 87 examens. Les données statistiques ont montré une fraction d'intervalle minimum et maximum d'activité administrée entre 399,10 MBq et 1200 MBq. Les 25<sup>e</sup>, 50<sup>e</sup> et 75<sup>e</sup> percentiles étaient respectivement de 720 MBq, 811,50 MBq et 874,60 MBq. En moyenne, l'activité était de 817,27 MBq avec une déviation standard de 144,91 MBq. Le NRD de la scintigraphie osseuse a été établi et correspond au 75<sup>e</sup> percentile qui vaut 874,6 MBq (**Tableau 2**). Ce NRD a été comparée aux standards de plusieurs pays et organisations internationales. Le NRD de l'IMENA est au-dessus de celle du soudan [21], du comité ARSA et des royaumes unis [10]. Cependant,

il entre dans l'intervalle du NRD des Etats Unis (USA), de l'Europe, du rapport 172 du NCRP [10] et de l'intervalle internationale [1]. Néanmoins il reste en dessous de certain standard comme celui du Koweït [1], de la Corée du Sud [1], du Japon, de l'Australie [10], du comité IAC [21] et du collège ACR [22]. L'activité administrée aux patients à l'IMENA pour l'examen de la scintigraphie osseuse au  $^{99m}\text{Tc}$ -HMDP respecte les standards internationaux et demeure acceptable. Le **Tableau 4** et la **Figure 3** présentent les NRD des pays, des organisations internationales et de l'IMENA.

**Tableau 3 : Variation des NRD de la scintigraphie osseuse de quelques pays, des organisations internationales et l'IMENA**

		NRD (MBq)			
Examen	Radiopharmaceutique	Koweït	Corée	Japon	Australie
Scintigraphie Osseuse	$^{99m}\text{Tc}$ -HMDP	944	925	950	920
		NRD (MBq)			
Union européenne	Soudan	Rapport 172 du NCRP	ARSA <sup>a</sup>	Intervalle Internationale	IAC <sup>b</sup>
500-1110	777	848-1185	600 (800 TEMP)	500 - 1110	999
		NRD (MBq)			
Australie	Royaumes Unis	Brésil	USA		
920	600	1110	848-1185		
IAC <sup>b</sup>	ACR <sup>c</sup>	IMENA			
999	988	874,60			

<sup>a</sup> Avis sur l'administration des substances radioactives ; <sup>b</sup> Commission d'accréditation intra sociétale ; <sup>c</sup> Collège américain de radiologie



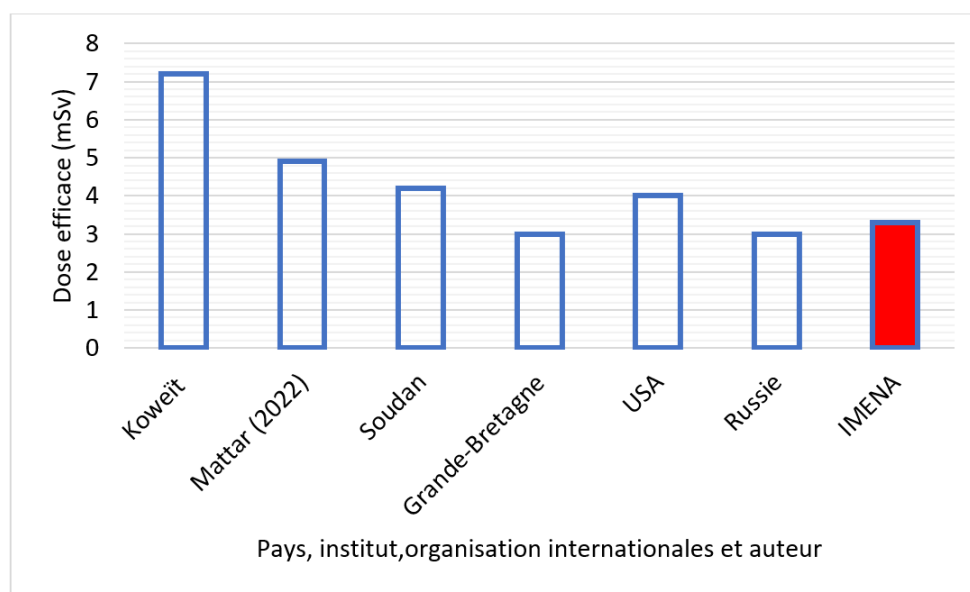
**Figure 2 : Comparaison des NRD des pays, des organisations internationales et de l'IMENA**

### 3-1-2. Comparaison des Doses efficaces associées à la scintigraphie osseuse

Les patients ayant subi un examen de scintigraphie osseuse ont tous été administrés avec le <sup>99m</sup>Tc-HMDP. La dose efficace reçue par les patients à l'IMENA a été calculée et comparée aux normes internationales. Le **Tableau 5** et la **Figure 4** ont montré que la valeur de la dose efficace de l'IMENA est acceptable. Par conséquent, cela garanti une bonne pratique clinique en termes de radioprotection des patients. Ce résultat est en dessous de celui du Koweït [1], de certains travaux de la littérature [23] et des USA [24]. Généralement, le protocole de la scintigraphie osseuse recommandé par l'association européenne de médecine nucléaire (EANM) donne une dose comprise entre 2,9 et 4,00 mSv pour le patient adulte [25]. La dose efficace des structures osseuses de l'IMENA est comprise dans l'intervalle de dose préconisée par la EANM. Néanmoins, Elle est légèrement au-dessus de celui de la Grande-Bretagne et de la Russie [24] qui affichent 3,00 mSv. La dose efficace de la scintigraphie osseuse pratiquée à l'IMENA est par conséquent, en accord avec celle des normes internationales.

**Tableau 4 : Dose efficace associée à la scintigraphie osseuse au <sup>99m</sup>Tc-HMDP**

	Koweït	Mattar (2022)	Soudan	Grande-Bretagne	USA	Russie	IMENA
Dose efficace (mSv)	7,20	4,9	4,2	3,00	4,00	3,00	3,30



**Figure 3 : Comparaison de la dose efficace reçue par les patients adultes ayant subi une scintigraphie osseuse des pays, auteur et IMENA**

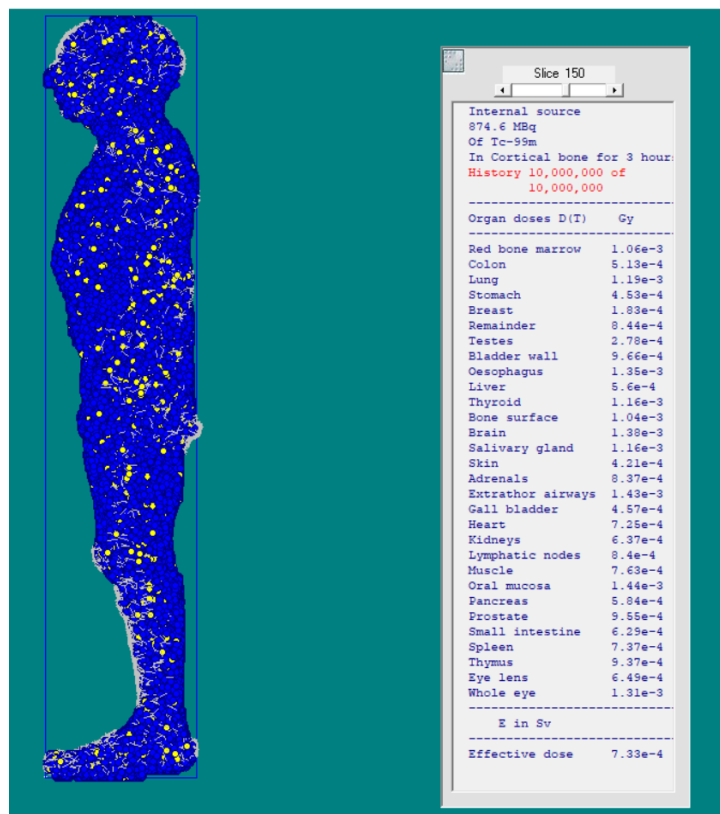
### 3-2. Variation de la dose en fonction de la durée d'exposition

#### 3-2-1. Dose efficace du corps entier

La dose efficace du corps entier a été calculé en vue d'évaluer l'effet radiobiologique du patient lors de l'examen de la scintigraphie osseuse. Dans notre simulation, le niveau de référence de l'activité administrée était de 874,6 MBq. Les doses efficaces obtenues sont disponibles dans le **Tableau 3**. Les doses sont de 0,004 mSv en 1min, de 0,73 mSv en 3h et de 1,47 mSv en 6h. Elles augmentent avec les durées d'exposition d'irradiation interne.

### 3-2-2. Dose absorbée par les organes et tissus

La dose absorbée correspond à la dose équivalente car le  $^{99m}\text{Tc}$  est un émetteur gamma de facteur de pondération radioactif égal à 1. Cette dose a été calculée et présentée dans le **Tableau 3**. La **Figure 2** montre un exemple de résultat des calculs de simulation généré par VMC DC. La dose absorbée varie selon le type d'organe ou tissu irradié. Toutefois, elle augmente avec la durée d'exposition. Cette étude révèle que les organes ou tissus tels que l'œsophage, le cerveau, les voies aériennes extra-thoracique et la muqueuse buccale sont les plus irradiés. En effet, l'œsophage a absorbé une dose de 1,35 mGy à 3h d'exposition interne contre 2,69 mGy en 6h, le cerveau a absorbé 1,38 mGy en 3h contre 2,76 mGy en 6h, les voies aériennes extra-thoracique ont absorbé 1,43 mGy en 3h contre 2,86 mGy en 6h et la muqueuse buccale a absorbé 1,44 mGy en 3h contre 2,89 mGy en 6h. La dose absorbée par les organes ou tissus est très faible lorsque la durée d'exposition est de 1min. Elle vaut environ 0,008 mGy pour les organes les plus irradiés. Certains organes et tissus sont aussi irradiés que les précédents. Parmi eux, les plus importants sont la moelle osseuse rouge, le poumon, la thyroïde, la surface osseuse, la glande salivaire et l'œil entier dont les valeurs de la dose absorbée sont disponibles dans le **Tableau 3**.



**Figure 4 :** Visualisation de l'interface du logiciel VMC DC présentant les indicateurs dosimétriques de quelques organes et tissus 3h après administration du radiopharmaceutique

Les valeurs de la dose absorbée par les organes ou tissus et de la dose efficace du corps entier en fonction la durée d'exposition sont présentées dans le **Tableau 3** ci-après.



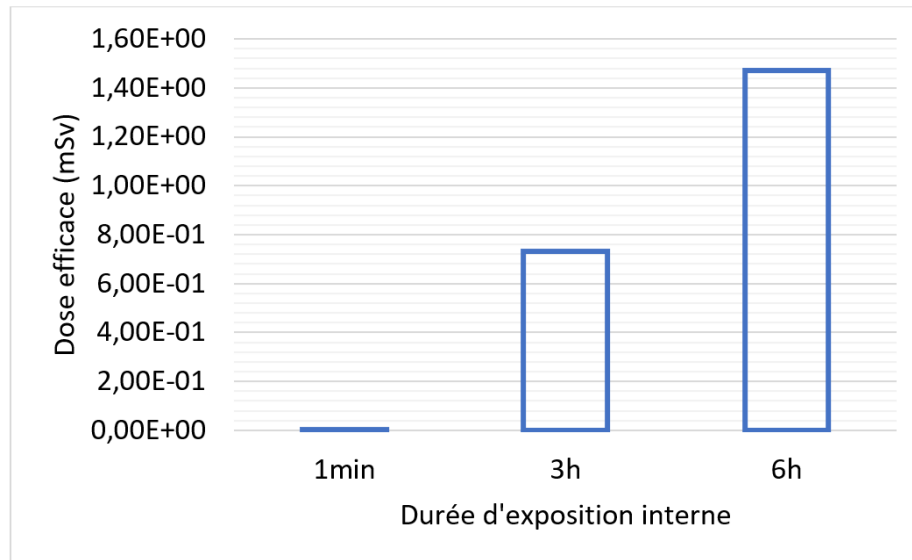
**Tableau 5 :** *Variation de la dose absorbée (mGy) par les organes ou tissus et de la dose efficace du corps entier (mSv) à 1min, 3h et 6h d'exposition*

Organe/tissu	Durée de l'exposition		
	1min	3h	6h
Moelle osseuse rouge	5.87E-03	1.06	2.11
Colon	2.85E-03	5.13E-01	1.03
Poumon	6.62E-03	1.19	2.38
Estomac	2.52E-03	4.53E-01	9.07E-01
Sain	1.02E-03	1.83E-01	3.67E-01
Reste du corps	4.69E-03	8.44E-01	1.69
Testicules	1.55E-03	2.78E-01	5.56E-01
paroi vésicale	5.37E-03	9.66E-01	1.93
Œsophage	7.48E-03	1.35	2.69
Foi	3.11E-03	5.60E-01	1.12
Thyroïde	6.47E-03	1.16	2.33
Surface osseuse	5.77E-03	1.04	2.08
Cerveau	7.65E-03	1.38	2.76
Glande salivaire	6.44E-03	1.16	2.32
Peau	2.34E-03	4.21E-01	8.42E-01
Surrénales	4.65E-03	8.37E-01	1.67
Voies aériennes extra-thoracique	7.95E-03	1.43	2.86
vésicule biliaire	2.54E-03	4.57E-01	9.14E-01
Cœur	4.03E-03	7.25E-01	1.45
Reins	3.54E-03	6.37E-01	1.27
ganglions lymphatiques	4.67E-03	8.40E-01	1.68
Muscle	4.24E-03	7.63E-01	1.53
Muqueuse buccale	8.02E-03	1.44	2.89
Pancréas	3.24E-03	5.84E-01	1.17
Prostate	5.31E-03	9.55E-01	1.91
Petit intestin	3.50E-03	6.29E-01	1.26
Rate	4.09E-03	7.37E-01	1.47
Thymus	5.20E-03	9.37E-01	1.87
cristallin	3.60E-03	6.49E-01	1.30
Œil entier	7.39E-03	1.31	2.62
Dose efficace (mSv)	4.07E-03	7.33E-01	1.47

### 3-3. Analyse de l'évaluation dosimétrique en fonction de la durée d'exposition

La dose efficace typique de la scintigraphie osseuse varie de 2,9 à 4 mSv [24]. Les patients ayant été administrés par le <sup>99m</sup>Tc-HMDP, deviennent radioactifs pendant plusieurs heures. La dose efficace associée au NRD prend en compte l'ensemble du squelette. La dose efficace du corps entier croît avec la durée d'exposition interne. En effet, la durée pendant laquelle le <sup>99m</sup>Tc-HMDP reste dans le corps et émet des radiations influence la dose absorbée par les organes et les tissus environnants. Pour une durée d'exposition interne de 1min c'est-à-dire juste après l'injection du radioisotope, la dose efficace du corps entier est très faible voir 0,004mSv. La distribution du radiopharmaceutique dans le corps entier augmente 3h après l'injection et donne une dose efficace de 0,73 mSv. C'est généralement au cours de cette période que l'acquisition a lieu comme indiqué dans la plupart des protocoles de scintigraphie osseuse [24]. La procédure de l'acquisition d'image du corps entier du patient dure environ 20 à 30 min. Par la suite le patient est libéré du service de médecine nucléaire et il peut rejoindre les accompagnateurs et le public. Vu que 6h après l'injection, la dose efficace de

l'exposition interne reste élevée (1,47 mSv), le protocole de la scintigraphie osseuse recommande aux patients ayant subi l'examen, de boire une grande quantité d'eau afin d'évacuer le radioisotope par voie urinaire [24]. En effet, l'élimination du radioisotope du corps dépend de la demi-vie physique et biologique. Toutefois, cette dose ne présente aucun danger car elle a été produite par un NRD acceptable. La **Figure 5** montre la variation de la dose efficace en fonction de la durée d'exposition.



**Figure 5 :** Variation de la dose efficace du corps entier en fonction de la durée d'exposition interne

Le **Tableau 3** présente de très faibles valeurs de la dose absorbée par les organes et tissus de manière générale lorsque le temps d'exposition est très court, soit à 1min. L'irradiation est forte lorsque la durée d'exposition est longue. Les plus grandes valeurs de la dose absorbée ont été observées à 3h et 6h progressivement. Cette étude révèle une grande sensibilité aux radiations pour certains organes et tissus illustrés dans la **Figure 6**. Les organes et tissus, les plus irradiés sont l'œsophage, le cerveau, les voies aériennes extra-thoracique et la muqueuse buccale. 3h après l'injection des patients, les structures osseuses tels que la moelle rouge osseuse et la surface des os ont absorbé 1,06 mGy et 1,04 mGy respectivement. Soit environ 2,10 mGy qui constitue la dose totale absorbée par ces deux structures osseuses. Généralement, les organes et tissus dont la surveillance s'effectue 3h après l'injection du radiopharmaceutique aux patients, relève d'une importance capitale sur la qualité de l'image lors de l'acquisition en scintigraphie osseuse. Dans certains travaux où des patients ont été administrés avec une activité de 925 MBq, la dose absorbée par les organes et tissus a été évalué. Le foie (0,35 mGy), les reins (0,12 mGy), la paroi vésicale (0,42 mGy) et la rate (0,36 mGy) sont quelques organes et tissus concernés [26]. Des valeurs légèrement supérieures ont été obtenues dans notre étude ; le foie (0,56 mGy), les reins (0,63 mGy), la paroi vésicale (0,96 mGy) et la rate (0,73 mGy). Les valeurs de la dose absorbée sont différentes car elles dépendent de plusieurs facteurs dont l'activité administrée aux patients (925 MBq vs 874,60 MBq), les erreurs inhérentes aux calculs et le type de logiciel utilisé (MIRDcalc vs VMC DC).

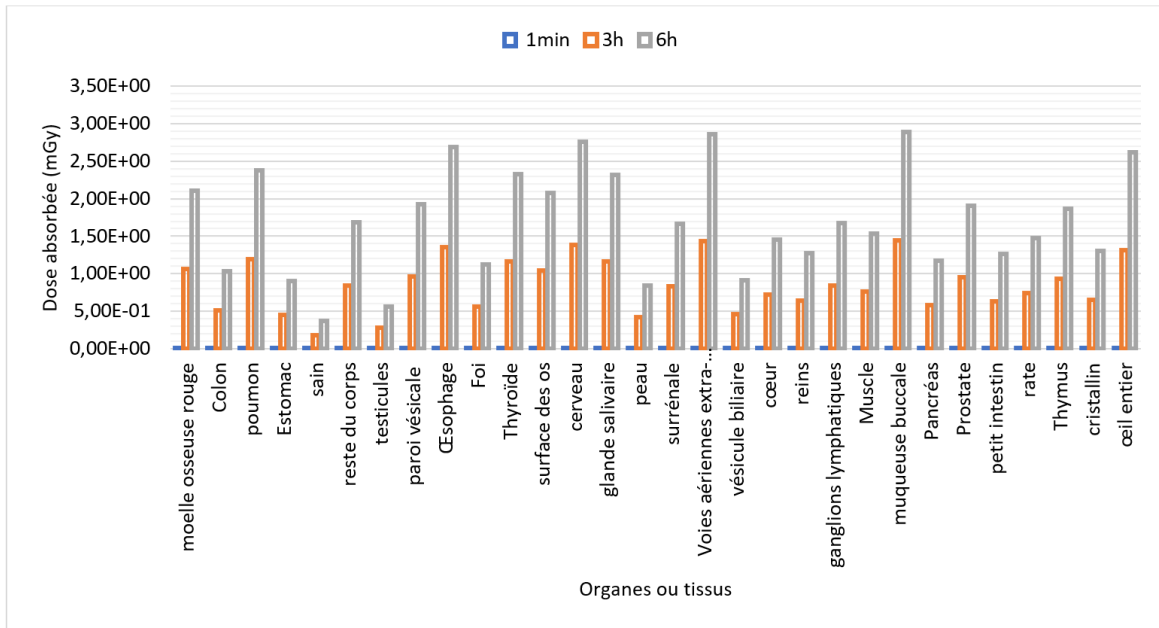


Figure 6 : Dose absorbée par les organes et tissus à 3h et 6h d'exposition interne

Des travailleurs situés à 0,5 m des patients ayant été administrés par une activité de 888 MBq, ont été exposés aux radiations [27]. La distribution de dose absorbée par quelques organes importants a été évaluée et comparée à celle de notre étude. La **Figure 7** illustre cette comparaison. Une dépendance linéaire de la dose efficace par rapport au temps d'exposition du corps humain a été observée [28]. Des résultats similaires ont été obtenus dans cette étude, ce qui indique que la dose de rayonnement augmente au fur et à mesure que la durée d'exposition augmente. Pour des valeurs de l'activité relativement proches (888 MBq vs 874,60 MBq), les valeurs de la dose absorbée correspondantes sont largement différentes. Cette observation serait due au type d'exposition à savoir l'exposition externe dans laquelle la source se trouve à 0,5m du travailleur. Par contre, notre étude s'est intéressée à l'exposition interne dans laquelle la source se trouve à l'intérieur du patient précisément dans les os corticaux.

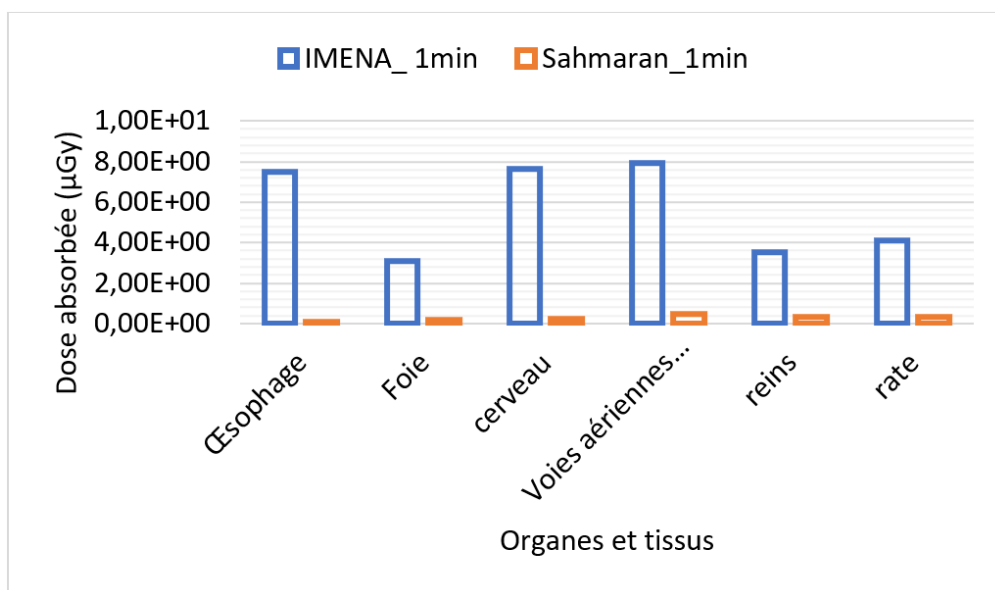


Figure 7 : Comparaison entre la dose absorbée de quelques organes et tissus de la littérature et de l'IMENA

#### 4. Conclusion

Cette étude a été réalisée grâce aux données dosimétriques des patients ayant subi une scintigraphie osseuse à IMENA. Le NRD princeps a été établi par le calcul du 75<sup>e</sup> percentile de la distribution des activités administrées aux patients. Il était de 874,60 MBq. Confronté à l'inaccessibilité des mesures directes de certaines grandeurs dosimétriques tels que la dose efficace et la dose absorbée par les organes et tissus de l'être humain, nous avons eu recours à la méthode de simulation. Des fantômes mathématiques ont été simulés à l'aide des logiciels MIRDCalc et VMC DC, pour imiter l'être humain. Malgré, les erreurs inhérentes aux calculs, ces logiciels se sont avérés robustes pour l'évaluation dosimétrique. La dose efficace des structures osseuses était de 3,30 mSv. Les indicateurs de performance dosimétrique tels que le NRD, la dose efficace et la dose absorbée doivent être considérés comme des lignes directrices de l'IMENA car ils sont conformes aux standards internationaux. La mise à jour de l'évaluation de tels indicateurs devrait se faire périodiquement et s'étendre à d'autre type d'examen scintigraphique en vue d'améliorer la radioprotection des patients.

#### Références

- [1] - M. KHALIL, *Basic Sciences of Nuclear Medicine*. Springer, (2011)
- [2] - A. A. MESHARI, A. MOUSA, A. S. FAISAL., M. A. MUSAB, M. S. TALAL, A. A. FARIDA, O. S. MOHAMMED and A. A. SAUD, National Diagnostic Reference Levels for Nuclear Medicine in Kuwait. *J Nucl Med Technol*, 50 (2022) 54 - 59. DOI: 10.2967/jnmt.121.262175
- [3] - F. A. METTLER JR, M. MAHESH, M. BHARGAVAN-CHATFIELD, C. E. CHAMBERS, J. G. ELEE, D. P. FRUSH, D. L. MILLER, H. D. ROYAL, M. T. MILANO, D. C. SPELIC, A. J. ANSARI, W. E. BOLCH, G. M. GUEBERT, R. H. SHERRIER, J. M. SMITH and R. I. J. VETTER, Patient exposure from radiologic and nuclear medicine procedures in the United States : procedure volume and effective dose for the period 2006-2016. *Radiology*, 295 (2020) 418 - 427. DOI: 10.1148/radiol.2020192256
- [4] - M. M. REHANI, E. VANO, O. CIRAJ-BJELAC and N. J. KLEIMAN, Radiation and cataract. *Radiat Prot Dosimetry*, 147 (2011) 300 - 304. DOI : 10.1093/rpd/ncr299
- [5] - K-H. DO, General principles of radiation protection in fields of diagnostic medical exposure. *J Korean Med Sci*, 31 (2016) (suppl 1) S6 - S9
- [6] - Les utilisations médicales des rayonnements ionisants. Rapport de l'ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire) sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France, (2023) 38 p. <https://www.asn.fr>
- [7] - M. Y. DAMBELE, S. G. BELLO, U. F. AHMAD, M. JESSOP, N. F. ISA and K. K. AGWU, Establishing a Local Diagnostic Reference Level for Bone Scintigraphy in a Nigerian Tertiary Hospital. *J Nucl Med Technol*, 49 (2021) 339 - 343. DOI: 10.2967/jnmt.121.262084
- [8] - Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. International Atomic Energy Agency, (2018) 1
- [9] - European Commission. Radiation protection 180 : diagnostic reference levels in thirty-six European countries, (2014). <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/RP180%20part2.pdf>
- [10] - F. HADI, A. SULTAN, A. E. KHATIB, G. AMER, A. ANTAR, H. K. MOHAMMAD and A. HUDA, National Diagnostic Reference Levels for Nuclear Medicine in Qatar. *J Nucl Med Technol*, 51 (2023) 63 - 67. DOI: 10.2967/jnmt.122.264415
- [11] - P. ROCH and B. AUBERT, French diagnostic reference levels in diagnostic radiology, computed tomography and nuclear medicine : 2004-2008 review. *Radiat Prot Dosim*, 154 (2013) 52 - 75
- [12] - L. GRAY, W. TORREGGIANI, G. O'REILLY, Paediatric diagnostic reference levels in nuclear medicine imaging in Ireland. *Br J Radiol*, 81 (2008) 918 - 9

- [13] - J. WILLEGAIGNON, L. F. BRAGA, M. T. SAPIENZA, G. B. COURA-FILHO, M. A. CARDONA, C. E. ALVES, R. F. GUTTERRES and C. A. BUCHPIGUEL, Diagnostic reference level: an important tool for reducing radiation doses in adult and paediatric nuclear medicine procedures in Brazil. *Nucl Med Commun*, 37 (2016) 525 - 33
- [14] - Japan Network for Research and Information on Medical Exposures (J-RIME). Diagnostic reference levels based on latest surveys in Japan - Japan DRLs, (2015). <http://www.radher.jp/JRIME/report/DRLhoukokusyoEng.pdf>
- [15] - Social Science Statistics. <https://www.socscistatistics.com/descriptive/percentile/default.aspx>.
- [16] - CHOONSIK LEE, A Review of Organ Dose Calculation Methods and Tools for Patients Undergoing Diagnostic Nuclear Medicine Procedures. *J Radiat. Prot. Res*, 49 (1) (2024) 1 - 18. DOI : <https://doi.org/10.14407/jrpr.2023.00087>
- [17] - S. MATTSSON, L. JOHANSSON, S. LEIDE SVEGBORN, J. LINIECKI, D. NOBKE, K. Å RIKLUND, M. STABIN, D. TAYLOR, W. BOLCH, S. CARLSSON, K. ECKERMAN, A. GIUSSANI, L. SÖDERBERG, S. VALIND, ICRP. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals : a compendium of current information related to frequently used substances. *Ann ICRP*, 44 (2suppl) (2015) 7 - 321
- [18] - A. L. KESNER, L. M. CARTER, J. C. RAMOS, D. LAFONTAINE, E. A. OLGUIN, J. L. BROWN, B. PRESIDENT, D. W. JOKISCH, D. R. FISHER et W. E. BOLCH, "MIRD Pamphlet No. 28, Part 1 : MIRDcalc-A Software Tool for Medical Internal Radiation Dosimetry", *Journal Nuclear Medicine*, (2023)
- [19] - Visual Monte Carlo Dose calculation for radiation protection and internal dosimetry, (2023) <https://www.vmcsoftware.com>
- [20] - W. M. ALI, R. M. ELAWAD and M. A. A. IBRAHIM, Establishment of Dose Reference Levels for Nuclear Medicine in Sudan. *Open Journal of Radiology*, 6 (2016) 258 - 263
- [21] - AM. ALESSIO, MB. FARRELL et FH. FAHEY, Role of Reference Levels in Nuclear Medicine : A Report of the SNMMI Dose Optimization Task Force. *J Nucl Med*, 56 (12) (2015) 1960 - 1964
- [22] - MURRAY D. BECKER, PRISCILLA F. BUTLER, MAZEN SIAM, DUSTIN A. GRESS, MUNIR GHESANI, BETH A. HARKNESS, DON C. YOO, M. ELIZABETH OATES. U.S. PET/CT and Gamma Camera Diagnostic Reference Levels and Achievable Administered Activities for Noncardiac Nuclear Medicine Studies. *Radiology*, 293 (2019) 203 - 211
- [23] - E. H. MATTAR, Assessment of Patient and Staff Annual Effective Doses at a Nuclear Medicine Department during Bone Scans. *Open Journal of Radiology*, 12 (2022) 155 - 162. <https://doi.org/10.4236/ojrad.2022.124016>
- [24] - T. VAN DEN WYNGAERT, K. STROBEL, W. U. KAMPEN, T. KUWERT, W. VAN DER BRUGGEN, H. K. MOHAN, G. GNANASEGARAN, R. DELGADO-BOLTON, W. A. WEBER, M. BEHESHTI, W. LANGSTEGER, F. GIAMMARILE, F. M. MOTTAGHY et F. PAYCHA, The EANM practice guidelines for bone scintigraphy. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 43 (2016) 1723 - 1738
- [25] - J. D. HARRISON, M. BALONOV, F. BOCHUD, C. MARTIN, H-G. MENZEL, P. ORTIZ-LOPEZ, R. SMITH-BINDMAN, J. R. SIMMONDS et R. WAKEFORD, ICRP Publication 147 : Use of Dose Quantities in Radiological Protection. *Ann ICRP*, 50 (1) (2021) 9 - 82
- [26] - S. G. DARYOUSH, C. MOHSEN et M. MASOUD, Estimation of organ absorbed doses in patients from <sup>99m</sup>Tc-diphosphonate using the data of mirdose software. *J Med Sign Sens*, 2 (2012) 231 - 4
- [27] - T. SAHMARAN, Evaluation of occupational radiation dose due to <sup>99m</sup>Tc and <sup>131</sup>I based examinations. *J Health Sci Med*, 7 (2) (2024) 168 - 173
- [28] - U. KARA, Cs-137, Co-60 ve Na-24 için Monte Carlo simülasyonu kullanılarak farklı vücut organlarının doz değerlendirilmesi. *AKÜ Fen Müh Bil Derg*, 18 (2) (2018) 710 - 726