



INSTITUT DE FORMATION DES
MANIPULATEURS EN
ÉLECTRORADIOLOGIE MÉDICALE DE
RENNES, 2 RUE HENRI LE GUILLOUX,
35000 RENNES.



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

L'IMPACT ÉCOLOGIQUE DES PRODUITS DE CONTRASTE



BOIS MATHIS

DIRECTICE DE MÉMOIRE : GUENAËLLE BRIAND

**ETUDE DE MANIPULATEUR EN
ÉLECTRORADIOLOGIE MÉDICALE,
PROMOTION 2021-2024.**



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PRÉFET DE LA RÉGION BRETAGNE

**DIRECTION REGIONALE
DE LA JEUNESSE, DES SPORTS
ET DE LA COHÉSION SOCIALE**
Pôle formation-certification-métier

Diplôme d'Etat de : Manipulateur en électroradiologie médical

Travaux de fin d'études : *L'impact écologique des produits de contraste*

Conformément à l'article L 122-4 du code de la propriété intellectuelle du 3 juillet 1992 : « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction par un art ou un procédé quelconque ».

J'atteste sur l'honneur que la rédaction des travaux de fin d'études, réalisée en vue de l'obtention du diplôme d'Etat de Manipulateur en électroradiologie médical est uniquement la transcription de mes réflexions et de mon travail personnel.

Et, si pour mon argumentation, je copie, j'emprunte un extrait, une partie ou la totalité de pages d'un texte, je certifie avoir précisé les sources bibliographiques.

Le 25/04/2024

Identité et signature de l'étudiant : BOIS Mathis

Fraudes aux examens :

CODE PENAL, TITRE IV DES ATTEINTES A LA CONFIANCE PUBLIQUE

CHAPITRE PREMIER : DES FAUX

Art. 441-1 : Constitue un faux toute altération frauduleuse de la vérité, de nature à causer un préjudice et accomplie par quelque moyen que ce soit, dans un écrit ou tout autre support d'expression de la pensée qui a pour objet ou qui peut avoir pour effet d'établir la preuve d'un droit ou d'un fait ayant des conséquences juridiques.

Le faux et l'usage de faux sont punis de trois ans d'emprisonnement et de 45 000 € d'amende.

Loi du 23 décembre 1901, réprimant les fraudes dans les examens et concours publics.

Art. 1^{er} : Toute fraude commise dans les examens et les concours publics qui ont pour objet l'entrée dans une administration publique ou l'acquisition d'un diplôme délivré par l'Etat constitue un délit.



POLE DE FORMATION DES PROFESSIONNELS DE SANTE

Plagiat dans les travaux de recherche des étudiants en santé : enquête auprès des jurys d'un centre hospitalier universitaire français.

Contexte : plusieurs travaux pointent la difficulté rencontrée par les étudiants pour discerner les contours du plagiat et la fréquence élevée de ce type de méconduite scientifique. Mais peu de données sont disponibles sur les étudiants en santé en France.

Objectif : décrire la proportion de professionnels ayant été confrontés à une situation de plagiat sur les deux dernières années et les pratiques associées au plagiat au sein de nos instituts.

Méthode : nous avons interrogé l'ensemble des professionnels participant aux jurys de mémoire de fin d'étude en 2019 sur au moins un des six instituts de formation d'un CHU français (n = 152), via un auto-questionnaire informatisé.

Résultats : un quart des participants (15 sur 62) ont rapporté au moins une situation de plagiat avérée sur les deux dernières années. L'ensemble des parties du mémoire a été rapporté comme plagié. Les sanctions rapportées allaient de l'absence de sanction à l'exclusion définitive. Les méthodes de repérage portaient principalement sur la recherche de rupture de style (85 %).

Conclusion : les instituts de formation doivent mettre en place des mesures de prévention efficaces, et accompagner les jurys en posant des stratégies d'établissement claires pour la détection, l'orientation et la prise de sanction dans le cadre du plagiat.

Figure 1 Démarche d'aide à la décision pour le jury mémoire suite à la détection d'un plagiat

Quantité/répartition	Echelle d'intentionnalité		
	Référencement ambigu ou citation partielle des sources	Copie intégrale non sourcée	Stratégie délibérée/Tentative de dissimulation. Reprise littérale du texte de l'auteur avec quelques mots changés + non sourcés
Moins d'une page en continu	1	3	4
Plus d'une page en discontinu	2	3	4
Plus d'une page en continu	3	4	4

Légende: 1 = impact sur la note; 2= impact sur la note + notification dans l'appréciation; 3 = impact sur la note + notification dans l'appréciation + exploration du degré d'intentionnalité auprès de l'étudiant lors de la soutenance ; 4 = impact sur la note + notification dans l'appréciation + exploration du degré d'intentionnalité auprès de l'étudiant lors de la soutenance + conseil de discipline ou section compétente pour le traitement des situations disciplinaires.

Mancheron P, Chaudron A, Le Corvic M, Leblanc JY, Boissart M, Beranger R, Dauce P. Plagiat dans les travaux de recherche des étudiants en santé : enquête auprès des jurys d'un centre hospitalier universitaire français. Rech Soins Infirm. 2022;150(3):42-52. French. PMID: 36609463.

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier l'ensemble de l'équipe pédagogique de l'IFMEM de RENNES pour leur accompagnement et leurs formations, particulièrement Béatrice ARNOULD, ma référente de suivi pédagogique.

Je tiens aussi à remercier Guénaëlle BRIAND pour le suivi de ce travail de recherche ainsi que pour ses conseils et son aide.

Je remercie également l'ensemble des manipulateurs qui ont pris le temps de répondre à mon enquête.

Un grand merci à mes proches qui m'ont soutenue et m'ont permis de réussir mes études.

Enfin, j'ai une pensée toute particulière à mes amis de la Clic, qui m'ont aidée avec leurs avis, mais aussi avec qui j'ai passé trois belles années d'études.

Glossaire

IRM : imagerie par résonance magnétique

SFR : société française de la radiologie

MEM : Manipulateur en électroradiologie médical

INERIS : L'Institut national de l'environnement industriel et des risques

IDPB : sous-produits de désinfection iodés

HAS : Haute Autorité de Santé

CIRTACI : Comité interdisciplinaire de recherche et de travail sur les agents de contraste en imagerie

kV : kilovolts

UH : unités Hounsfield

I. Introduction.....	1
I.1. Situation d'appel.....	2
I.2. Question de départ.....	5
II. Ce que nous en dit aujourd'hui le cadre conceptuel.....	5
II.1. Le développement durable.....	5
II.2. Les produits de contrastes.....	6
II.2.1. Le gadolinium.....	6
II.2.2. Produit de contraste iodé.....	8
II.3 L'impact environnemental des produit de contraste.....	10
II.3.1 Le parcours des agents de contrastes issu de l'imagerie médicale.....	10
II.3.2 L'impact des produits de contraste chez l'homme.....	12
II.3.3 L'impact des produits du gadolinium chez les êtres vivants aquatiques.....	13
II.4 Guide de bonne pratique pour optimiser les doses.....	14
II.4.1 Le guide de bonne pratique.....	14
II.4.2 Les recommandations de la CIRTACI et de la SFR pour l'optimisation des doses de produits de contraste en tomodensitométrie.....	15
II.4.3 Les recommandations de la CIRTACI et de la SFR pour l'optimisation des doses de produits de contraste gadolinium en IRM.....	18
II.5 Circuit du recyclage des produits de contraste.....	20
II.6 La motivation.....	22
III. Méthodologie.....	23
III.1 Objectif de l'enquête.....	23
III.2 Choix de l'outil d'enquête.....	24
IV. Analyse des résultats.....	25
V. Discussion.....	36
VI. Conclusion.....	40
VII. Bibliographie.....	42

I. Introduction

Le Larousse définit l'environnement comme étant un « ensemble d'éléments (biotiques ou abiotiques) qui entourent un individu ou une espèce et dont certains contribuent directement à subvenir à ses besoins ».

L'état actuel du climat mondial est au centre de nombreuses craintes et suscite un grand nombre de questionnements. Les changements climatiques causés par les activités humaines ont engendré une série de dérèglements environnementaux, économiques et sociaux sans précédent. Cette problématique complexe interpelle non seulement les scientifiques mais également la société dans son ensemble.

À l'heure actuelle, les données scientifiques sont claires : les températures mondiales augmentent, les phénomènes météorologiques extrêmes se multiplient, les écosystèmes sont directement touchés et sont fragilisés, sans compter que nous sommes de plus en plus vulnérables aux impacts environnementaux.

Face à ce constat, il devient important d'adopter des mesures afin d'atténuer les dommages causés à l'environnement qui sont dus à nos activités. Il faut comprendre les causes, évaluer ses impacts potentiels et trouver une solution pour limiter les conséquences et assurer le bien-être des générations futures.

Dans ce contexte, ce mémoire se propose d'explorer les pratiques professionnelles des manipulateurs en électroradiologie médicale. Dans un premier temps, ce travail de recherche a pour objectif de comprendre l'impact que peuvent représenter les produits de contraste sur l'environnement ainsi que les premières actions qui permettent de limiter leur rejet. S'en suivra la méthodologie que j'ai choisie pour mon recueil de données. Pour finir, l'analyse de mes résultats suivie d'une discussion et de la conclusion. En outre, ce travail vise à identifier les actions possibles pour atténuer les effets sur l'environnement dus aux produits de contraste et à proposer des pistes de réflexion pour une meilleure gestion des ressources et une adaptation de à notre pratique professionnelle.

I.1. Situation d'appel

Étudiant en troisième année du diplôme d'État de manipulateur en électroradiologie médicale, notre formation comprend un enchaînement de cours théoriques et de stage en milieu professionnel au sein des différentes modalités des services d'imagerie médicale. Au cours de mes différents stages en IRM¹, de scanner, médecine nucléaire et de radiothérapie, effectués dans des centres hospitaliers, des cliniques, j'ai eu l'occasion d'être confronté à différents types de pratiques professionnelles : celles-ci concernent l'utilisation des produits de contraste et plus particulièrement leurs utilisations et leur vie après l'examen.

En effet, en France, on compte plus de 3 millions d'injections par an en IRM selon la SFR². Les examens les plus fréquemment demandeurs d'injections sont le scanner, à 50 % du temps et l'IRM, un tiers des examens. Le produit de contraste utilisé pour ces examens sont l'iode pour le scanner et le gadolinium pour l'IRM. Ces produits servent à identifier plusieurs types d'anomalie tels que les lésions cellulaires, les anomalies morphologiques ou encore les anomalies fonctionnelles de certains organes, grâce à un rehaussement tissulaire induit par le produit de contraste. L'injection est demandée par le médecin radiologue, elle a un rôle majeur dans l'interprétation des images.

Durant l'ensemble de mes stages, j'ai pu voir que chaque établissement de santé a sa propre façon de faire concernant le produit de contraste, en effet, plusieurs différences m'ont marqué comme :

- Les différents types d'injecteurs
- les différentes marques de produits et contraste et l'emballage qui leur est associé
- Les protocoles d'injection (quantité injectée)
- Le rejet du surplus de produit de contraste

Lors de mon premier stage de scanner, le service utilisait un injecteur automatique, et le remplissait avec des flacons à usage unique pour chaque patient. Le surplus était quant à lui jeté dans une poubelle de déchets assimilables aux ordures ménagères. Le protocole d'injection était

¹ imagerie par résonance magnétique

² société française de la radiologie

quant à lui adapté selon le poids du patient. J'ai retrouvé la même pratique durant mon stage de médecine nucléaire.

Après ces stages, je suis tombé sur un article du site d'actualité médical Docteur Imago, paru le 1 août 2019, évoquant le rejet de gadolinium (produit de contraste utilisé en IRM) dans la mer en Bretagne et le fait que nous retrouvons des traces de ce liquide dans les coquillages des baies du Finistère.

En effet, en Allemagne comme en France, des traces de gadolinium ont été trouvées de manière fortuite suite à une étude qui avait pour but de quantifier la concentration de terre rares présentes dans les coquillages. Selon le professeur de géochimie Jean-Alix Barrat, les doses retrouvées ne sont pas encore critiques, mais les quantités détectées sont de plus en plus souvent excessives, de plus, l'article met en avant le fait que les nouvelles mesures réalisées sont corrélées avec l'utilisation de certains produits utilisés dans le médical. D'autre part, l'article montre qu'il est retrouvé à plusieurs autres endroits des traces de gadolinium notamment dans l'eau de nos robinets, ce qui a pu choquer le radiologue du CHU de Brest Douraied Ben Salem et ainsi l'inciter à prendre des mesures et à créer le projet MeGadoRe. Pour le moment, contrairement aux produits radioactifs, il n'y a aucune mesure ni surveillance de la concentration du gadolinium dans les stations qui s'occupent de la gestion des eaux usées. Les rares autres études comme celle d'Emilie PERRAT concernant ce sujet vont toutes dans le même sens, il a un impact sur le développement des larves d'oursins ou encore une concentration élevée dans le foie des poissons.

Suite à la lecture de cet article, je me présente à mon premier stage d'IRM, où j'ai pu observer une manière différente d'utiliser le produit de contraste. En effet, malgré des similitudes comme l'utilisation d'un injecteur automatique ou encore l'usage de flacon unique pour chaque patient, j'ai pu remarquer un autre système concernant le produit de contraste restant après l'examen. Celui-ci est stocké dans des flacons qui sont ensuite récupérés par une entreprise. Voulant en savoir plus, j'ai demandé des informations sur ces flacons récupérés, où partent-ils ? Qui les récupère ? Que devient le produit après ? Mais aucun des MEM³ n'a su me donner des réponses.

J'ai pu, par la suite, m'entretenir avec une radiologue d'un centre hospitalier universitaire. J'ai ressorti l'ensemble des points importants qui ressortent de cet entretien dans le paragraphe ci-dessous.

³ Manipulateur en électroradiologie médical

Dans ce CHU, j'ai pu voir que des mesures sont déjà mises en place en faveur du développement durable. En effet, il existe sur l'intranet une fiche nommée éco-geste, elle regroupe toutes les petites actions que chaque professionnel peut entreprendre individuellement lors de sa pratique quotidienne. Cette mesure repose sur l'engagement personnel, que ce soit des MEM ou même des médecins. Une commission de développement durable est aussi mise en place, la radiologue en fait partie, elle la définit comme étant plus structurée depuis 2020 ce qui favorise le développement d'action écologique à travers les services. Cette commission met en place différents groupes de travail tel qu'un groupe déchet en faveur du bilan carbone, mais aussi favorise le recyclage en collaboration avec des associations telles que les bouchons de l'espoir (site internet : <https://www.lesbouchonsdelespoir.fr/>), qui récupère les bouchons en plastique qui ne sont plus utilisés dans les services, ou encore les petits doudous (lien internet : <https://lesptitsdoudous.org/>) qui récupèrent certains objets métalliques. Un des objectifs est de structurer les démarches et de les développer dans le pôle afin de mettre au même niveau l'ensemble des services. En imagerie, on retrouve quelques initiatives isolées pour sensibiliser les manip, comme par exemple en imagerie interventionnelle où on essaye de moins mettre de matériel sur les tables d'examen.

D'autres projets comme Asurion, en collaboration avec Philips, permettent de voir l'empreinte carbone d'une machine en comptant sa fabrication, son transport, sa consommation en énergie, mais aussi tous les besoins autour de la machine comme la ventilation. On retrouve aussi le projet Mégadore, un projet qui vise à recycler le gadolinium qui est utilisé en IRM. D'autres projets centrés sur les produits de contraste sont en pourparlers au sein de ce CHU, comme l'utilisation d'injecteurs multipatients avec un système anti-reflux, la révision des protocoles d'injection pour réduire les doses injectées ou encore l'installation d'imagerie spectrale pour là aussi réduire l'utilisation de produits de contraste. Malgré cela, il n'y a pas de formation pour sensibiliser au geste écologique dans ce pôle, mais il est possible que des commissions plus axés sur l'imagerie soient créées et qu'un poste d'ambassadeur écologique soit mis en place dans le pôle avec une fiche de poste pour les MEM qui comprend 10 % du temps consacré à l'écologie dans le service afin de pouvoir mettre en place des actions en faveur de l'écologie mais aussi de former le personnel aux écogestes.

I.2. Question de départ

Étant sensibilisé dès mon plus jeune âge de par mon éducation et ma façon d'être, je porte une attention particulière au respect de l'environnement. En effet ayant toujours été proche de la nature et de voir que ma pratique professionnelle peut lui porter atteinte m'affecte, c'est pourquoi je me suis posé la question :

Dans quelles mesures les manipulateurs en électroradiologie médicale peuvent-ils réduire l'impact écologique des produits de contraste sur l'environnement ?

II. Ce que nous en dit aujourd'hui le cadre conceptuel

II.1. Le développement durable

A l'occasion des travaux de la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement de 1987, le concept de développement durable est apparu. Celui-ci se définit comme étant un concept qui préserve tous les besoins de la société actuelle sans compromettre les besoins des générations futures.

Trois piliers du développement durable sont ressortis, l'économie, le social et l'environnement.

- L'économie : il s'agit de répartition plus égalitaire de la richesse produite, l'économie doit être circulaire : les ressources produites par une activité doivent être partagées. Le commerce équitable doit être mis en avant. Il faut développer une économie circulaire où les déchets sont valorisés.
- Le social : il s'agit de lutter contre les inégalités sociales et, plus globalement, des conséquences sociales du développement des sociétés humaines. Cela passe par un mode de développement qui ne se fait pas aux dépens des autres, mais en collaboration avec eux. Il permet de garantir pour tous, l'accès aux besoins de première nécessité (santé, alimentation, éducation et travail). Il doit favoriser les infrastructures locales (agriculture, commerce de proximité et hôpitaux de secteur)

- L'environnement ; il s'agit de maintenir l'équilibre écologique sur le long terme en limitant notre impact sur l'environnement comme la réduction des émissions de CO₂, réorganiser la gestion et le recyclage des déchets, sensibiliser les populations afin de réduire le gaspillage, changer de modèle agricole et promouvoir la production d'énergie renouvelable.

Pour certains, le développement durable se résume à des concepts écologiques. Cela signifie que le processus d'évolution de notre société doit se dérouler dans le temps sans modifier la capacité des écosystèmes à répondre à leurs besoins, afin de laisser intact le capital aux générations futures. Le développement durable implique donc le développement des ressources biologiques à un rythme qui ne conduit pas à un appauvrissement ni même à un épuisement des ressources biologiques, mais qui maintient indéfiniment la productivité biologique de la biosphère.

II.2. Les produits de contrastes

II.2.1. Le gadolinium

Le gadolinium est un élément chimique qui appartient à la famille des « terres rares », il a pour numéro atomique $Z=64$. La famille des terres rares est composée de divers éléments métalliques comme le Yttrium, le Scandium et les 15 éléments de la famille des lanthanides. Sur terre, on retrouve l'ensemble des terres rares mélangées sous le nom de Yttrébia. C'est dans les années 1980 que les premières molécules de gadolinium ont pu être isolées du Yttrébia. Cette action a été menée à bien par le minéralogiste suisse Jean-Charles Gallissard de Marignac. Malgré cela, c'est le chimiste français, Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran, qui a renommé cette matière sous le nom de « Gadolinium » en 1886. Les terres rares sont présentes en très grande quantité dans le manteau de la croûte terrestre (Taylor et McLennan, 1935), ils sont de plus en plus utilisés afin de développer l'industrie, mais aussi la recherche scientifique. Aujourd'hui encore, l'extraction du gadolinium est réalisée à partir de l'Yttrébia et le processus d'extraction varie selon la proportion de chaque minerai présent dans l'échantillon de terre sèche initial. L'extraction est globalement centralisée par la Chine, en effet, la Chine extrait et produit 71 % du gadolinium mondial en 2018. Les autres productions se trouvent principalement aux États-Unis, en Australie ou en Asie du Sud, la carte ci-dessous nous permet de mieux situer l'ensemble des lieux d'extraction des terres rares dont le gadolinium.

production en 2018 des métaux rares



Outre son utilisation dans de nombreux domaines tels que le nucléaire, l'informatique ou la production de réfrigérateurs, le gadolinium est également un élément important employé dans le domaine médical depuis les années 1990. Le gadolinium est utilisé sous forme d'agent de contraste, qui est injecté par voie veineuse aux patients lors d'un examen d'imagerie par résonance magnétique (IRM). Son utilisation en IRM est liée à trois facteurs, ses propriétés paramagnétiques, son temps de relaxation et son spin élevé. En effet, le gadolinium est une particule ferromagnétique à des températures inférieures à 20 °C et perd son aimantation spontanée et devient fortement paramagnétique (Brown 1976). Ce ferromagnétisme va modifier son temps de relaxation, celui-ci étant long, il permet de différencier le signal récepteur par rapport au temps de relaxation électronique du gadolinium, ce qui a pour objectif de différencier le rehaussement des tissus présents sur les images d'IRM (Bonnet 2006). Et pour finir, son spin élevé ($S = 7/2$) permet de contraster les images obtenues, ce qui favorise la qualité de l'image résultant de l'IRM (Amet et Derray 2012).

Dans le domaine de l'imagerie médicale, les agents de contraste gadoliné sont linéaires ou macrocycliques complexés à un ion Gd^{3+} . L'agent de contraste peut être injecté pendant ou avant l'examen selon l'indication grâce à une voie veineuse périphérique posée au préalable. L'injection permet de visualiser dans les meilleures conditions des vaisseaux et des organes. L'IRM est apparu en 1973 grâce aux recherches de P. Lauterbur, qui a pu réaliser la première IRM et faire des images d'un tube à essai, puis P. Mansfield en 1976 est parvenu à réaliser la première image IRM d'un doigt.

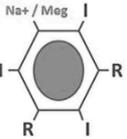
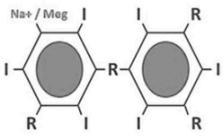
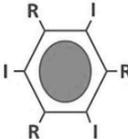
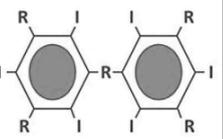
Malgré les rapides avancées de la technologie en IRM, c'est seulement en 1986 que la première utilisation de produit de contraste a eu lieu. Cet agent de contraste permet d'observer avec une précision de l'ordre du millimètre de nombreuses pathologies telles que les tumeurs, les lésions du sein, les angiomes ou encore la perfusion cérébrale tout en ayant un diagnostic plus fiable. Il permet aussi de suivre de manière précise l'évolution de certaines pathologies et de certains traitements en cours chez les patients.

Aujourd'hui, d'après la SFR, on compte plus d'un tiers des IRM avec une injection de gadolinium, soit un total de 1,5 million de doses par an en France, pour un ordre d'idées, cela correspond à 3,2 kg de gadolinium par an et par machine.

II.2.2. Produit de contraste iodé

Dès 1901, le Lipidol est mis au point par le docteur en pharmacie Marcel Guerbert. Le Lipidol est considéré comme étant le premier produit de contraste organique à l'iode. Quelques années plus tard, en 1929, un chercheur en urologie américain est parvenu à synthétiser un produit iodé dit hydrosoluble radio-opaque, composé de 3 atomes d'iode pour 2 particules. Ce fut une grande avancée pour le monde de la radio, car en plus d'être radio opaque, il est aussi injectable dans le sang. Il sera directement commercialisé dans l'année 1930. Une fois commercialisé, l'iode est de plus en plus utilisé lors des examens de radiologie interventionnelle et en scanner. Ce produit est utilisé pendant 30 ans, mais dans les années 1970 des chercheurs ont essayé de trouver une alternative à ce produit de contraste dit monomère ionique. En effet, ce produit présente une haute osmolarité, ce qui rend des effets secondaires assez prononcés tels que des douleurs artérielles et des nausées. Les premières recherches ont amené à la création d'un produit dit dimère hexa-iodé ionique composé de 6 atomes d'iode pour 2 particules et des monomères tri-iodé ionique composé

de 3 atomes d'iode par particule tels que Omnipaque, Xenetix ou encore Iopamiron, qui sont encore les produits utilisés aujourd'hui. Le tableau ci-dessous résume les différentes molécules existantes.

Produit haute osmolalité		Produit basse osmolalité		Produit iso-osmolaire
Ionique		Non ionique		
Monomère	Dimère	Monomère	Dimère	
3 atomes d'iode / 2 particules	6 atomes d'iode / 2 particules	3 atomes d'iode / 1 particule	6 atomes d'iode / 1 particule	
				
Diatrizoate (Gastrographin) Iothalamate (Conray) Metrizoate (Isopaque)	Ioxaglate (Hexabrix)	Iopamidol (Iopamiron) Iohexol (Omnipaque) Iopromide (Ultravist) Ioversol (Optiray) Ioméprol (Ioméron) Iobitridol (Xénétitx) Iopentol (Ivepaque)	Iodinaxol (Visipaque)	

Les produits de contrastes iodés proposent différentes concentrations en iode dans leurs flacons commercialisés, on retrouve des produits allant de 150 à 400 mg d'iode par litre de solution. Cette concentration affecte la quantité de solutions qu'il sera nécessaire d'injecter pendant l'examen.

Les produits de contraste iodé sont produits dans de nombreux pays européens tels que la France, l'Italie ou encore l'Allemagne. En France, on retrouve une production de Xenetix en Bretagne dans la ville de Lanester, qui en 2006 a déclaré en produire 400 tonnes, ou encore le groupe Braco qui produit de l'ioméron sur les sites de Massy et Evreux en France, mais aussi à Frosinone en Italie et à Singer en Allemagne. On comprend donc que les produits de contraste iodé sont très disponibles dans le commerce. L'iode en lui-même est considéré comme étant toxique, ce qui est dû à son interaction avec la thyroïde, le fabricant propose donc de l'intégrer à une structure dite benzétique, ce qui empêche sa métabolisation et ainsi le rend non toxique pour le corps. C'est cette structure qui différencie l'ensemble des produits de contraste mis sur le marché et c'est aussi cette structure qui provoque les allergies chez les patients.

Les produits de contrastes iodés proposent différentes concentrations en iode dans leurs flacons commercialisés, on retrouve des produits allant de 150 à 400 mg d'iode par litre de solution. Cette concentration affecte la quantité de solutions qu'il sera nécessaire d'injecter pendant l'examen.

II.3 L'impact environnemental des produit de contraste

Les services d'imagerie médicale sont ouverts aujourd'hui aux actions et aux fondements que met en avant le développement durable, en effet, on retrouve en imagerie les trois piliers vu auparavant qui sont, l'économie, le social et l'environnement. La société actuelle met en avant les actions écologiques. C'est pour cela que la tendance actuelle est de rendre les services d'imagerie plus « vert ».

Outre la forte consommation en énergie des appareils utilisés dans les services d'imagerie médical ou encore l'utilisation de matériel à usage unique, les produits pharmaceutiques tels que l'iode et le gadolinium ont un réel impact sur notre environnement et certains écosystèmes.

Aujourd'hui peu d'informations sont disponibles sur le réel impact écologique des produits de contraste, mais quelques études ont été menées afin de voir leurs concentrations dans les milieux naturels. C'est le cas de la thèse d'Emilie PERRAT en 2017, qui a fait une recherche sur les impacts environnementaux des agents de contraste à base de gadolinium. De cette recherche, j'ai pu en tirer l'impact sur plusieurs écosystèmes et êtres vivants différents. Avant ça, il faut voir comment les agents de contraste se retrouvent dans les milieux naturels.

II.3.1 Le parcours des agents de contrastes issu de l'imagerie médicale

La majorité des produits de contraste sont des complexes hydrophiles, c'est pour cela qu'après leur injection, d'après l'étude de Kümmerer et Helmers dans les années 2000, la dose injecteur sera éliminée du corps du patient par le système urinaire. On retrouve dans les urines une concentration en gadolinium différente en fonction du temps après l'administration du produit. Cette concentration peut aller de 350 mg/L le premier jour à 7 µg/L au bout de 40 jours après l'injection. Il est quand même notable que 95 % de la dose injectée durant l'examen est éliminée par les reins dans les 24 premières heures.

La dose de gadolinium injectée pour un examen d'IRM peut varier selon le poids du patient. Il y aura donc une partie du produit qui reste dans le flacon. Le reste de ce produit ne peut pas être utilisé pour un autre patient, il sera considéré comme un déchet à l'issue de l'examen et donc brûlé

par une usine d'incinération. Aujourd'hui, aucune étude n'a été réalisée pour savoir le devenir du gadolinium après son incinération.

Concernant l'autre partie, la partie injectée, elle est éliminée par les reins et va être transportée par le réseau urbain des eaux usées jusqu'aux stations d'épuration. Le gadolinium n'est pas considéré comme un produit toxique et ne nécessite aucun traitement particulier pour les autorités sanitaires, comme il en existe déjà pour les produits pharmaceutiques radioactifs. Ce n'est pas le cas en Australie, où Lawrence accompagné d'autres chercheurs en 2010 ont présenté un mécanisme qui permet d'éliminer le gadolinium anthropique en sortie des centrales d'épurations avec à un système d'ultrafiltration. Ce système permet de réduire de l'ordre de 30 ng/L la concentration de gadolinium dans les eaux effluentes. En Europe, une fois passé entre les mailles de la station d'épuration, le gadolinium est rejeté dans le cycle de l'eau et se retrouve libre dans les cours d'eau. Il existe plusieurs études montrant que le gadolinium libéré va suivre son chemin et se retrouver dans de divers milieux aquatiques naturels. C'est le cas de l'étude de Telgmann et Birka, qui ont montré qu'une grande partie du gadolinium anthropique retrouvé dans les milieux aquatiques provient des examens d'IRM. Cette mesure est possible grâce aux chélates et aux ligands spécifiques à chaque marque de produit de contraste.

En France, on retrouve, d'après les rapports d'INERIS⁴, une concentration de gadolinium dans l'eau pouvant passer de quelques ng/L à près de 200 ng/L. Le rapport d'INERIS nota que plus la densité de population est élevée, plus on constate une augmentation de gadolinium anthropique dans les cours d'eau en aval des centrales d'épuration. La stabilité et la solubilité des agents de contraste gadoliné leur permettent de se disperser dans les eaux sur une longue distance, Birka a mesuré une concentration en gadolinium qui s'étend sur 90 kilomètres en aval d'une centrale d'épuration le long de la Ruhr en Allemagne.

Pour les produits de contraste iodé, on retrouve un cycle d'élimination semblable à celui du gadolinium, il représente 80% des déchets pharmaceutiques d'un centre de soin, mais peu de données sont disponibles pour quantifier la concentration d'iode présent dans l'eau des centrales d'épuration et dans les cours d'eau en aval. On sait tout de même qu'aucun traitement n'est dédié aux produits de contraste iodé lors du traitement des eaux, par conséquent, on les retrouvera aussi dans les cours d'eau en aval des centrales d'épurations.

⁴ L'Institut national de l'environnement industriel et des risques

II.3.2 L'impact des produits de contraste chez l'homme

Une fois que les produits de contraste se retrouvent dans les ruisseaux, ils vont pouvoir s'infiltrer dans les nappes phréatiques. Möller et son groupe de travail, en 2000, ont pu montrer la présence de gadolinium anthropique dans les nappes souterraines. Il a été mesuré une anomalie positive comprise entre 0.08 ng/L dans les eaux situées au fond des nappes phréatiques et 3 ng/L au niveau des eaux superficielles de ces mêmes nappes phréatiques. Une autre mesure a pu être définie par Py en 2011. Cette mesure avait pour objectif de quantifier le taux de produits pharmaceutiques présents dans les eaux prévues à la consommation humaine, il en est ressorti que la concentration en gadolinium dans ces eaux pourrait dépasser les 5ng/L. Outre la présence de gadolinium dans les nappes phréatiques, nous savons que de nombreuses nappes phréatiques sont la source principale d'approvisionnement en eau destinée à la consommation humaine. En 2014, un groupe de travail mené par Tepe a mesuré le taux de gadolinium dans l'eau potable de Berlin. Ils ont pu voir que le gadolinium anthropique issu des examens d'IRM représente jusqu'à 98 % du gadolinium présent dans les eaux de Berlin. En 2015, Lindner a réalisé une étude dans la même optique que Tepe, il a pu voir que 3 agents de contrastes différents sont présents dans les eaux berlinoises, le Dotarem, le Multihance et le Gadovist. La concentration de ces trois produits réunis atteint 10 à 20 ng/L d'eau destinée à la consommation directe. Malgré ces études, aujourd'hui, je n'ai pas trouvé de donnée qui détermine si la présence de gadolinium dans l'eau de distribution est délétère pour la santé humaine.

Là aussi, le circuit pour les produits de contraste iodés est identique. On va le retrouver dans les nappes phréatiques et il va ensuite se diffuser dans les eaux de consommation de la population locale. Cependant, il est utilisé, à des fins de désinfection, des produits chlorés dans les centrales d'épuration. Cette désinfection va entrer en contact avec les agents de contrastes iodés ce qui va produire des sous-produits de désinfections iodés appelés IDBP⁵. Les recherches menées par Duirk et Lindell en 2011, ont pu identifier comme produit créé suite à cette réaction l'acide iodoacétique, des trihalométhanes iodés, l'iodoacétaldéhyde, l'iodophénol ou encore l'iodoacétonitrile. Cette transformation est liée à une interaction entre l'iode et les noyaux cellulaires. L'ensemble de ces produits se retrouvera dans les bouteilles d'eau de nombreux êtres humains, or, nous savons le danger que représentent ces produits pour l'homme. L'acide iodoacétique est défini par le gouvernement du Québec comme un produit causant des irritations et de la corrosion sur des organes tels que les yeux, la peau, les voies respiratoires et les voies digestives. Le service de santé et services sociaux du Québec prévient quant à lui qu'une concentration élevée de trihalométhanes

⁵ sous-produits de désinfection iodés

dans l'eau est un facteur de risque de cancers de la vessie. L'iodoacétaldéhyde est aussi un facteur de risque pour un cancer, celui de l'œsophage d'après le Département Prévention Cancer Environnement, Centre Léon Bérard. L'INRS déclare que l'iodoacétonitrile peut être à l'origine d'inflammation toxique, d'irritation et d'induire un état narcotique. En 2004, Plewa et Wagner ont pu montrer que les IDBP retrouvés dans l'eau ne sont pas davantage cytotoxiques et génotoxiques que d'autres sous-produits tels que les sous-produits chlorés ou bromés. Le taux d'IDBP peut varier de façon significative d'une ville à une autre, mais il n'existe pas de seuil maximum de concentration d'IDBP dans les eaux propres à la consommation.

II.3.3 L'impact des produits du gadolinium chez les êtres vivants aquatiques

Comme décrit auparavant, les produits de contraste sont présents dans les milieux aquatiques. Leurs présences et leurs stabilités les rendent biodisponibles pour un certain nombre d'organismes vivants aquatiques. Emilie PERRAT, en 2017, a pu réaliser des recherches sur différents organismes tels que les bivalves filtreurs d'eau douce, les microalgues, les microcrustacés ou encore les poissons zèbres.

Les tests ont été réalisés avec différentes concentrations de gadolinium proches de la concentration retrouvée dans les milieux naturels ainsi qu'avec une exposition temporelle différente pouvant aller de quelques heures à plusieurs jours. Concernant les bivalves filtreurs d'eau douce, il a été montré qu'une accumulation anormale de gadolinium anthropique est présente dans les bronches ainsi que dans les glandes digestives de ces organismes. Par conséquent, un mécanisme de défense est mis en place par l'organisme dans les glandes digestives et les branchies, ce qui affecte leur bon fonctionnement. On retrouve une hausse de l'activité de la glutathion-S-transférase, de la catalase, du système de transfert d'électrons mitochondriaux et de la production d'espèces réactives de l'oxygène. Plus concrètement, cela affaiblit l'organisme des bivalves filtreurs et le rend plus vulnérable dans son milieu naturel.

Pour les microalgues, le gadolinium est internalisé dans des organismes aquatiques, il est notable que le gadolinium ne s'accumule pas dans l'ensemble des organismes ni dans les tissus des poissons, mais pour certaines espèces comme les daphnies, on retrouve une bioaccumulation transitoire après 7 jours d'exposition. D'autres effets à long termes ont été observés chez *D.magna*, un petit crustacé planctonique, qui lorsqu'il est en contact avec du gadolinium, présente un taux de mortalité plus élevé que la normale, cette mortalité ne dépassant néanmoins pas les 30 % au bout de 49 jours. On retrouve chez cette même espèce des variations de la taille des individus ainsi qu'une

diminution de la quantité de ponte par les daphnies. Les microalgues vertes cultivées en présence de produits de contraste les rendent moins appétissantes pour l'organisme broyeur.

Les poissons zèbres subissent quant à eux un ralentissement important de leur croissance, l'étude a permis de montrer que la présence de gadolinium est un facteur favorisant ce ralentissement de croissance cellulaire.

Globalement, ces études ont permis de montrer que le gadolinium a un impact direct et indirect dans les milieux aquatiques. Un effet direct qui est dû à l'internalisation de la molécule dans les cellules des organismes et indirect à cause de la toxicité sur le zooplancton, qui est la principale source alimentaire de nombreux animaux aquatiques.

II.4 Guide de bonne pratique pour optimiser les doses

II.4.1 Le guide de bonne pratique

La HAS⁶ définit, sur leur site internet, les recommandations de bonne pratique comme étant « des propositions développées méthodiquement pour aider le praticien et le patient à rechercher les soins les plus appropriés dans des circonstances cliniques données ». Ces recommandations doivent se définir telles qu'un objectif d'amélioration de la qualité des soins, mais aussi de sa sécurité. La création d'une recommandation de bonne pratique ne doit en aucun cas être un objectif, mais plutôt un programme de bonne pratique qui permet de trouver des axes d'amélioration et ainsi de s'inscrire dans le développement d'une pratique professionnelle individuelle ou collective.

Afin de simplifier la compréhension et la rédaction des recommandations de bonne pratique, la norme ISO 14001 a été mise en place pour les aspects environnementaux des recommandations de bonne pratique. Cette norme est basée sur trois thèmes, la gestion de l'eau, la gestion des déchets et l'économie d'énergie. Les recommandations vont être produites suite à des recherches scientifiques, des enquêtes de pratique et à une analyse de la littérature scientifique. Il est aussi pris en compte l'avis d'experts et de professionnels de terrain.

⁶ Haute Autorité de Santé

II.4.2 Les recommandations de la CIRTACI et de la SFR pour l'optimisation des doses de produits de contraste en tomodensitométrie.

En France, c'est le CIRTACI⁷ et la SFR qui réfléchissent à une utilisation plus responsable des produits de contraste au scanner et en IRM. Dans les prochains mois, la SFR et la CIRTACI vont publier un guide de bonne pratique qui fait l'inventaire des actions qu'il est possible de mettre en place pour réduire l'empreinte environnementale des agents de contraste, notamment concernant leur fabrication jusqu'à leur recyclage. Après sa validation, les recommandations de bonne pratique seront publiées sur le site de SFR. Olivier Clément, le responsable du CIRTACI, déclare qu'« *ils vont essayer en particulier de respecter la norme ISO 14001, qui définit les critères auxquels doit répondre un système de management environnemental efficace.* »

On sait déjà que le guide a permis d'identifier différents leviers d'amélioration concernant l'usage des produits de contraste. Le premier étant la gestion des ressources. Le deuxième levier identifié est celui de l'adhésion des professionnels de santé. En effet, c'est le respect des recommandations de bonne pratique qui est en jeu. Pour Olivier Clément, cela peut être difficile à mettre en place, il déclare : « *C'est une démarche de qualité.* » *Il faut susciter l'adhésion des manipulateurs. Il y a des habitudes, des situations de travail différentes... « C'est un véritable engagement.* » Un troisième levier Quanta consiste à limiter et recycler les résidus de produit de contraste après les examens de radiologie.

Un des principaux freins des recommandations de bonne pratique est la complexité que représente l'optimisation des doses des produits de contraste à mettre en place au sein d'un service d'imagerie médicale. En effet, chaque patient et chaque indication peuvent prétendre à une optimisation différente. La CIRTACI et la SFR ont déjà publié des recommandations de bonne pratique en 2020 concernant l'utilisation des agents iodés en scanner vasculaire, en scanner oncologique, et sur l'usage des produits à base de gadolinium en IRM.

Concernant la fiche de bonne pratique en scanner oncologique et du scanner vasculaire, il est indiqué que, comme pour l'utilisation des doses délivrées, l'utilisation du produit de contraste doit être justifiée et optimisée. En effet, l'injection de produit de contraste iodé doit être utilisée seulement s'il peut apporter des informations supplémentaires aux radiologues. Ensuite, il doit être optimisé, mais tout en gardant une quantité suffisante pour ne pas altérer la lisibilité des images réalisées.

⁷ Comité interdisciplinaire de recherche et de travail sur les agents de contraste en imagerie

Le facteur qui peut influencer la dose de produit de contraste en imagerie vasculaire, c'est le débit d'administration de l'iode et le nombre de kV⁸ utilisés. En imagerie vasculaire, c'est le débit d'administration de l'iode qui est utilisé comme référence. On le retrouve grâce à la formule ci-dessous :

Débit d'administration d'iode, g/sec = concentration du PdC (g/L) x débit d'injection (L/sec)

En imagerie vasculaire, on recherche un rehaussement vasculaire supérieur à 300 UH⁹. Pour cela, il est souvent utilisé durant un kilovoltage de 120 kV. Voici les recommandations de la CIRTACI concernant un examen vasculaire à 120 kV.

<i>Produit de contraste iodé</i>					
	Temps d'injection sec.	Débit d'iode g l/sec.	Concentration mg/mL	Vitesse d'injection mL/sec.	Volume mL
Embolie pulmonaire	10	1,4	300	4,7	47
t arrivée (sec.) : 12			350	4	40
t acqu. (sec.) : 4			370	3,8	38
			400	3,5	35
Coroscanner	14,5	1,4	300	4,7	68
t arrivée (sec.) : 17			350	4	58
t acqu. (sec.) : 5			370	3,8	55
			400	3,5	51
Coroscanner FLASH	16,5	1,4	300	4,7	77
t arrivée (sec.) : 17			350	4	66
t acqu. (sec.) : 1			370	3,8	62
			400	3,5	58
Aorte abdo	26,5	1,1	300	3,7	97
t arrivée (sec.) : 30			350	3,1	83
t acqu. (sec.) : 7			370	3	79
			400	2,8	73
Aorte abdo FLASH	29	1,1	300	3,7	106
t arrivée (sec.) : 30			350	3,1	91
t acqu. (sec.) : 2			370	3	86
			400	2,8	80
Membres inférieurs	36,5	1,1	300	3,7	134
t arrivée (sec.) : 40			350	3,1	115
t acqu. (sec.) : 7			370	3	109
			400	2,8	100

Pour 120 kV, le débit d'administration d'iode par seconde est de 1,2 à 1,6 g/l/sec. Or, il a été montré que pour 100 kV, le débit d'administration d'iode pourrait être de 0,96 à 1,28 g/l/sec et à 80 kV entre

⁸ kilovolts

⁹ unités Hounsfield

0,76 et 1 g I/sec. Étant donné que le temps d'injection ne doit pas varier et que le temps d'arrivée du produit de contraste reste le même, on observe que seulement le débit d'administration d'iode varie suite à une baisse du kilovoltage, ce qui permet de réduire la dose d'iode. Si on baisse de 120 à 100 le kilovoltage, il est possible ainsi de baisser la dose d'iode injectée de 20 %

En tenant compte des éléments du tableau, j'ai pu calculer le taux de réduction des produits de contraste lorsque l'on diminue les kV. Voici un exemple : pour une embolie pulmonaire à 120 kV, si on prend une concentration en iode de 0,3 g/l et une vitesse d'injection à 4,7 mL/s, on retrouve bien un débit d'administration d'iode de 1,4 ($0,3 \times 4,7 = 1,4$), l'injection dure 10 secondes, il faudra donc 47 mL d'iode ($4,7 \times 10$).

Pour 100 kV, on prend un débit d'administration d'iode de 1,1 g I/sec et toujours une concentration en iode de 0,3 g/l, on obtient donc une vitesse d'injection de 3,7 mL/s ($1,1/0,3$), là aussi, l'injection dure 10 secondes, il faudra donc 37 mL d'iode ($3,7 \times 10$). On obtient bien une diminution de 20 % de la quantité de diodes à utiliser.

Il est important de noter aussi que l'efficacité du produit de contraste reste identique si on le baisse en même temps que le kilovoltage, on aura donc toujours notre critère de réussite qui est de 300 UH.

Afin de garantir une qualité des soins, un protocole a été évoqué dans le Guide de bonne pratique de la CIRTACI afin de réduire les doses d'iode tout en gardant un regard critique sur la qualité des images. Voici le protocole :

- Après avoir validé les pratiques habituelles.
- Baisser de 120 à 100 kV le kilovoltage utilisé en vasculaire et optimiser les algorithmes (reconstruction itérative, intelligence artificielle) pour compenser l'augmentation du bruit tout en évitant d'augmenter les mA (réglages avec le constructeur).
- Reprendre ensuite les protocoles validés, mais en baissant le débit d'iode délivré/sec par palier de 10 %.
- Contrôle à chaque palier du respect des critères de qualité sur une ou deux journées sur toute une série de patients de toutes morphologies.
- Après validation d'une étape, il est possible de continuer en baissant encore de 10 % le taux d'iode délivré/sec.

-Si la qualité est jugée insuffisante, on revient au palier antérieur.

Pour le scanner oncologique, on retrouve la même chose, il y a seulement le débit d'administration d'iode qui varie : il sera de 0,4 g I/kilo pour 100 kV et de 0,32 g I/kilo pour 80 kV.

On voit maintenant que le débit d'administration d'iode varie en fonction du poids et non plus du temps. On retrouvera donc la formule ci-dessous pour optimiser la quantité d'iode injectée :

$$\text{Volume à injecter} = [\text{charge en iode (g/kg)} \times \text{poids (kg)} / \text{concentration du PdC (g/L)}]$$

Il est donc possible d'optimiser la dose d'iode en baissant les Kv comme pour le scanner vasculaire, mais aussi en fonction du poids des patients. Voici le tableau des recommandations de la CIRTACI :

POIDS du Patient x kg	Charge en iode y = 0,5 g/kg	Dose à injecter x * y en g d'iode	Volume à injecter (ml)			
			400 mg/ml	370 mg/ml	350 mg/ml	300 mg/ml
45	0,5	22,5	56	61	64	75
50	0,5	25	63	68	71	83
55	0,5	27,5	69	74	79	92
60	0,5	30	75	81	86	100
65	0,5	32,5	81	88	93	108
70	0,5	35	88	95	100	117
75	0,5	37,5	94	101	107	125
80	0,5	40	100	108	114	133
85	0,5	42,5	106	115	121	142
90	0,5	45	113	122	129	150
95	0,5	47,5	119	128	136	158
100	0,5	50	125	135	143	167
105	0,5	52,5	131	142	150	175
110	0,5	55	138	149	157	183

Tableau 1 : Calcul du volume à injecter en fonction de la dose, du poids du patient et de la concentration du produit. Exemples pour une dose de 0,5 g I/kg. Un calculateur est à télécharger sur le site de la SFR / Cirtaci

Afin de faciliter son utilisation dans les services, un calculateur est disponible sur Internet et libre d'utilisation pour les MEM (voici le lien : http://calculateurpd.cescigales.org/oncologie_desktop.php), il est basé sur les recommandations de la CIRTACI. Il a été créé par Alexis Veidmann en 2021.

II.4.3 Les recommandations de la CIRTACI et de la SFR pour l'optimisation des doses de produits de contraste gadolinium en IRM.

En IRM, les doses de gadolinium doivent être ajustées de la même façon que pour le scanner, il faut l'utiliser seulement si le produit de contraste apporte quelque apport à l'examen. Là aussi, la CIRTACI a émis une fiche de bonne pratique. Cette fiche est plus générale que celle du scanner, elle sert de référence pour l'ensemble des IRM injectés. La dose de gadolinium est calculée selon le poids du patient. Il est rappelé de moduler les prescriptions afin de prendre des flacons de bonne consistance. En effet, il existe différents types de flacons avec une concentration et un volume qui peuvent varier. Voilà un tableau qui répertorie les produits utilisés par l'Agence nationale de sécurité des médicaments :

Substance active	Ac. gadotérique	Gadobutrol	Gadotéridol	Ac. gadobénique
Nom commercial	Dotarem/Clariscan	Gadovist	Prohance	Multihance
Concentration	0,5 mmol/ml	1 mmol/ml	0,5 mmol/ml	0,5 mmol/ml
Dose clinique	0,1 mmol/kg	0,1 mmol/kg	0,1 mmol/kg	0,05 mmol/kg
Flacons	5/10/15/20 ml	2 ml	5/10/15/20 ml	10/15 ml
Seringues	5/10/15/20 ml	7,5/10/15 ml	10/15/17 ml	10/15 ml

Tableau 2 : Caractéristiques des produits de contraste autorisés par l'Agence Nationale de Sécurité des Médicaments (ANSM) par voie IV.

La modulation des prescriptions va permettre de gaspiller moins de produits de contraste à la fin de chaque examen. C'est ensuite le MEM qui doit optimiser la dose à injecter. La CIRTACI recommande les doses définies dans le tableau ci-dessous :

	Dose (mmol/kg)	Concentration (mmol/ml)		
		Ac. gadotérique	Gadotéridol	Gadobutrol
	0,1	0,5 mmol/ml		1 mmol/ml
Poids (kg)	Quantité (mmol)	Volume à injecter (ml)		Volume à injecter (ml)
50	5	10		5
55	5,5	11		5,5
60	6	12		6
65	6,5	13		6,5
70	7	14		7
75	7,5	15		7,5
80	8	16		8
85	8,5	17		8,5
90	9	18		9
95	9,5	19		9,5
100	10	20		10

Tableau 3 : Volume (ml) de produit de contraste **macrocyclique** (dose clinique 0,1 mmol/kg) à injecter en fonction du poids du patient et de la concentration de 0,5 ou 1 mmol/ml.

Pour certains examens, il est possible d'optimiser de façon différente la quantité de produit de contraste à injecter. C'est le cas pour la recherche et l'exploration de tumeurs hypophysaires ou pour l'exploration des méningiomes et des neurinomes où une demi dose de gadolinium peut être

injectée. Il est aussi possible d'injecter une dose de 0,05 mmol/kg lorsque l'on utilise des produits de contraste hépato-spécifiques comme l'acide gadobénique. Voici le tableau des recommandations de la CIRTACI concernant les produits de contraste hépato spécifiques :

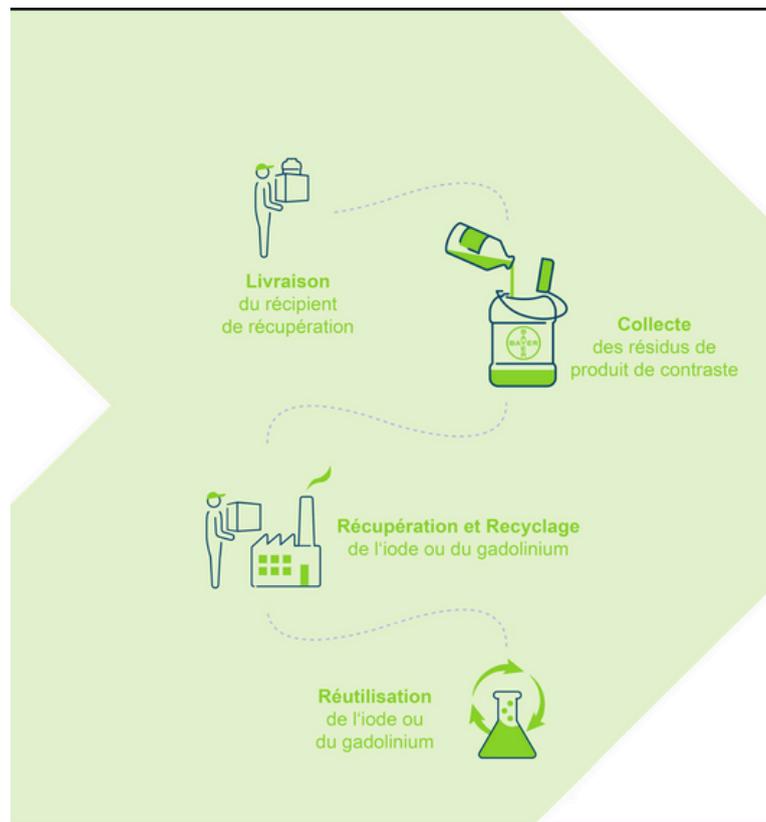
	Dose (mmol/kg)	Concentration (mmol/ml)
	0,05	Acide gadobénique 0,5
Poids (kg)	Quantité (mmol)	Volume à injecter (ml)
50	2,5	5
55	2,75	5,5
60	3	6
65	3,25	6,5
70	3,5	7
75	3,75	7,5
80	4	8
85	4,25	8,5
90	4,5	9
95	4,75	9,5
100	5	10

Tableau 4 : Volume (ml) de produit de contraste hépatospécifique (dose clinique 0.05 mmol/kg) à injecter en fonction du poids du patient et de la concentration de 0,5 mmol/ml. Une solution pratique peut consister à donner une ordonnance unique avec une prescription de contraste en fonction du poids laissant le pharmacien délivrer le bon conditionnement.

II.5 Circuit du recyclage des produits de contraste

Les groupes pharmaceutiques ont aujourd'hui pris conscience de l'enjeu environnemental que représentent les produits de contraste. Suite à une visioconférence avec le groupe BAYER, j'ai pu récolter les informations suivantes : Bayer propose un programme de recyclage des produits de contraste nommé Re.Contrast. Il suffit de collecter dans des bidons différents fournis par le groupe pharmaceutique les produits de contraste iodés et gadolinés. Une fois les bidons remplis, ils partent en Allemagne à Bergkamen où ils seront recyclés. Une fois recyclés, les produits de contraste iodé ne peuvent pas être réutilisés dans des produits pharmaceutiques, mais ils peuvent servir dans 70 % des produits contenant de l'iode, tels que le sel alimentaire ou encore des films polarisants. Les études pilotes pour l'iode ont été réalisées en 2020 pour ensuite déployer le projet durant l'été 2021. Pour le gadolinium, BAYER fait appel à un prestataire qui récupère le gadolinium, car le gadolinium est une molécule plus complexe à recycler et plus coûteuse. Les études pilotes ont été lancées plus tard que pour l'iode (en 2021), ce qui a permis de déployer le projet en 2022. Une fois le gadolinium séparé des autres molécules présentes dans le produit de contraste, il peut être utilisé dans l'industrie du luminaire ou pour des composants d'écran de télévision. BAYER m'a indiqué qu'ils ont actuellement 20 clients qui participent à la récolte du produit de contraste, ce qui leur a permis de récolter 156 litres d'iode et 36 litres de gadolinium. Pour informer les professionnels de

terrain comme les MEM ainsi que les cadres d'imagerie médicale, BAYER a créé une fiche qui permet de les sensibiliser et de comprendre le déroulement du recyclage. Voilà ci-dessous la fiche du programme Re.Contrast :



D'autres groupes comme GUERBET sont à l'initiative du recyclage du produit de contraste. Avec la collaboration du docteur BEN SALEM, ils ont créé le projet MeGadoRe. Ce projet récupère dans des bidons, que vous pouvez voir ci-contre, le gadolinium non utilisé lors des examens d'IRM. Une fois récupéré, il est recyclé dans une usine de Charente-Maritime. Participer au programme MeGadoRe permet d'obtenir le label « IRM verte ».



Aujourd'hui, une centaine d'équipes participent à la récolte du gadolinium avec le projet MeGadoRE en France. MeGadoRe présente trois objectifs qui représentent les leviers de leur projet :

- Informer sur l'impact environnemental de l'imagerie médicale en France puis dans le monde, dans l'optique d'y remédier.
- Créer et développer le processus de recyclage du gadolinium utilisé en imagerie médicale.
- Évaluer et proposer des solutions applicables aux professionnels de santé afin de réduire de façon significative le taux de gadolinium anthropique présent dans l'environnement.

Il existe cependant un frein à la limitation des rejets du gadolinium dans l'environnement, celui du rejet des urines. En effet, MeGadoRe déclare que 85 % du gadolinium utilisé en imagerie est rejeté dans l'urine par les patients. Il existe donc des études pilotes qui permettent de travailler sur la collecte des urines après le passage d'un IRM injecté afin de pouvoir étudier un moyen d'extraire les chélates de gadolinium. Cette recherche constitue le principal travail de recherche actuel, elle est d'autant plus importante suite à l'annonce de l'injection multi-patient à partir du 1 mars 2023 en France. Cette nouvelle pratique permettrait de réduire significativement les résidus de produit de contraste restant à la fin de l'examen, de 80 % pour les centres les moins efficaces et jusqu'à 97 % pour les services les plus performants d'après Bayer. On comprend donc que la grande majorité du gadolinium sera rejetée dans l'urine dans les années futures.

II.6 La motivation

La motivation est définie par le Centre national de ressources textuelles et lexicales comme étant un « ensemble des facteurs dynamiques qui orientent l'action d'un individu vers un but donné, qui déterminent sa conduite et provoquent chez lui un comportement donné ou modifient le schéma de son comportement présent ».

Le professeur de psychologie Edward Deci a décrit la motivation dite intrinsèque. Il décrit cette motivation comme étant un désir propre à un individu. On comprend donc que la motivation intrinsèque nous sert à accomplir des tâches sans élément incitatif venant de l'extérieur.

Edward Deci décrit aussi la motivation extrinsèque. Celle-ci est influencée par des facteurs extérieurs tels qu'une recherche de gratification ou la peur de subir une sanction. Autrement dit, cette motivation repose sur la volonté d'obtenir une récompense ou d'éviter une sanction. L'image ci-dessous nous permet de voir les différents facteurs de motivation, selon si elle est intrinsèque ou extrinsèque.



Ces deux motivations peuvent amener à un résultat voulu sur un cours, mais on retrouvera une différence sur les conséquences à long terme. On est notable que la motivation extrinsèque montre un faible intérêt pour accomplir une tâche donnée et montre une tendance à être abandonnée plus précocement. La motivation intrinsèque montre une motivation, plus persévérante, qui tient à cœur à l'individu et favorise la créativité ainsi que le bien-être à travers un réel engagement.

Dans les services de soins, un des leviers pour l'engagement dans le développement durable est de susciter une motivation intrinsèque. Cela permettrait de faire entrer le service dans une démarche durable sur le long terme tout en ayant atteint les objectifs recherchés et non dans une démarche qui ne suscite que peu d'intérêt et ni une assimilation des pratiques.

III. Méthodologie

III.1 Objectif de l'enquête

Suite à la réalisation de mon cadre conceptuel, j'ai choisi de mener une enquête auprès des MEM. Cette enquête me permettra de confronter la partie théorique de mon cadre conceptuel avec la pratique et le ressenti des MEM interrogés. À travers cette enquête, j'aimerai en savoir plus concernant la gestion et l'utilisation des produits de contraste par les MEM ainsi que voir leur sensibilité et leur motivation concernant le développement durable.

Lors de cette enquête, je souhaite mettre en avant plusieurs idées :

- La motivation personnelle en terme d'écologie
- Les actions réalisées en faveur du développement durable dans les services
- Leurs avis sur les pratiques professionnelles concernant l'environnement
- Les formations qu'ils ont reçues
- La connaissance des guides de pratique
- La connaissance de l'impact environnemental des produits de contraste
- L'adhésion des professionnels aux actions de recyclage

III.2 Choix de l'outil d'enquête

Pour mon travail de recherche, j'ai choisi de rédiger un questionnaire dans le but de mener une enquête quantitative. Pour le cairn, la méthode quantitative est une "approche qui correspond à la mobilisation de données généralement structurées sur un nombre important d'individus (en général supérieur à 100). Elle est utile pour mesurer des phénomènes et quantifier des liens entre différents facteurs." Cette enquête me permettra de recueillir un grand nombre de données au sein d'un public ciblé. Le questionnaire a été réalisé en ligne sous forme d'un google forms, il est donc facilement et rapidement diffusable au plus grand nombre de MEM. Il me permettra de recueillir leur avis, ressenti de façon claire. J'ai choisi de transmettre le sondage aussi bien à des établissements privés que publics de différentes tailles et de plusieurs régions françaises, ce qui permettra d'avoir une vue d'ensemble de l'activité des MEM.

Le questionnaire est constitué de 17 questions que vous pouvez voir en annexe. Ces questions seront un mixte de questions ouvertes et fermées. Les questions fermées interrogeront les professionnels de façon précise (degrés de satisfaction, indice de motivation) alors que les questions ouvertes permettent d'avoir des réponses non anticipées et permettront d'introduire de nouvelles idées (actions déjà mises en place dans les services ou les actions que les MEM aimeraient voir être

mises en place) en laissant les professionnels s'exprimer. 201 questionnaires ont pu être récupérés, dont 173 étant exploitables.

La première partie du questionnaire est destinée à confronter les motivations intrinsèques et extrinsèques des MEM. Une deuxième partie sera centrée sur le développement durable en imagerie avec des questions qui vont cibler les actions mises en place dans les services. Une troisième partie concerne leurs avis sur leurs pratiques professionnelles. La quatrième partie concerne la formation sur les enjeux environnementaux des MEM, une cinquième sur les guides de bonne pratique et une sixième sur l'impact des produits de contraste et pour finir sur le recyclage des produits de contraste. J'ai choisi de cibler les questions sur les produits de contraste en fin de questionnaire afin de voir si les MEM les évoquent lorsque l'on parle de développement durable en imagerie.

IV. Analyse des résultats

De nombreux questionnaires ont pu être remplis, au total, 201 questionnaires ont été récupérés. J'ai pu ainsi analyser ci-dessous l'ensemble des données récoltées.

Tableau 1 : Description des participants à l'enquête

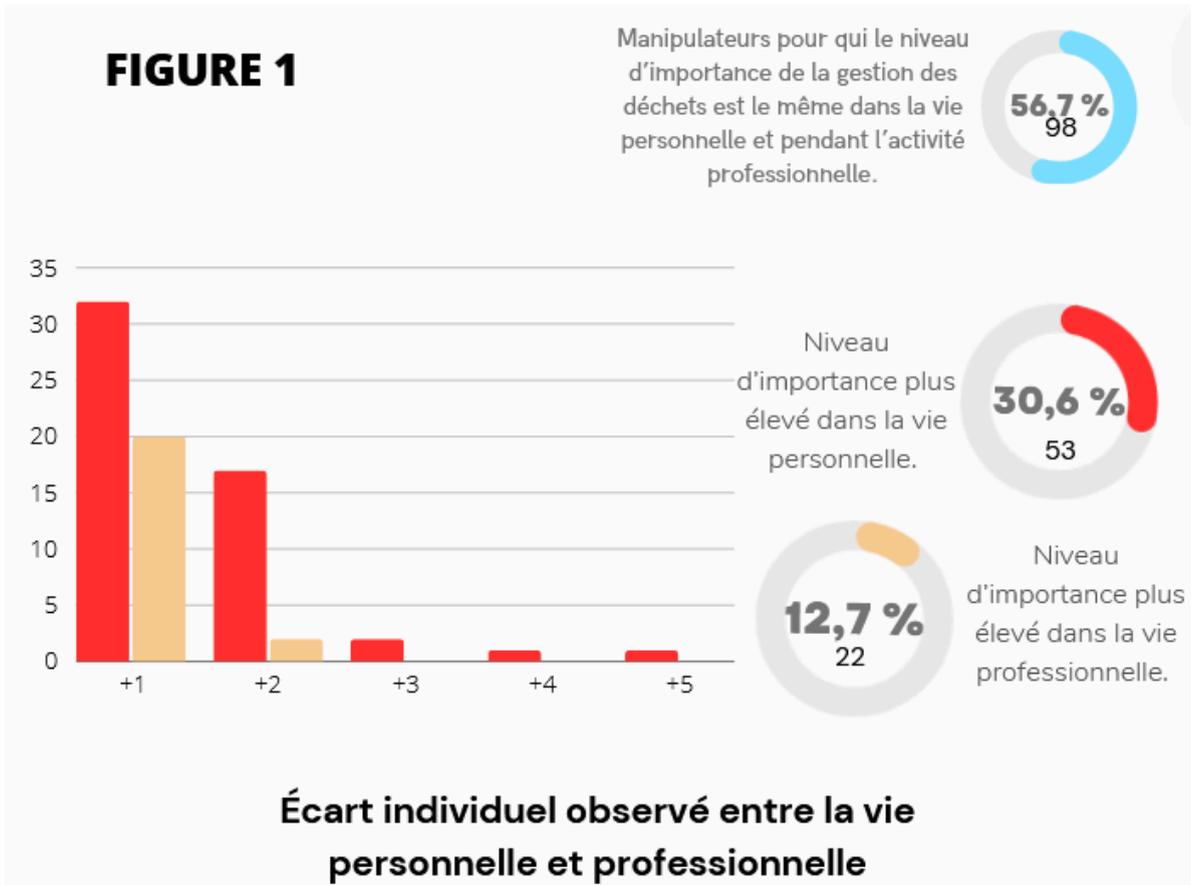
Categories	(N = 201)
Age [n (%)]	
20-30 ans	85 (42,3)
31-45 ans	72 (35,8)
46-62 ans	44 (21,9)
Lieu de profession [n (%)]	
scanner	80 (39,8)
IRM	26 (12,9)
Scanner et IRM	67 (33,3)
Aucun des 2	28 (13,9)

A travers le tableau 1, on peut voir la tranche d'âge ainsi que le lieu de profession des 201 MEM qui ont répondu.

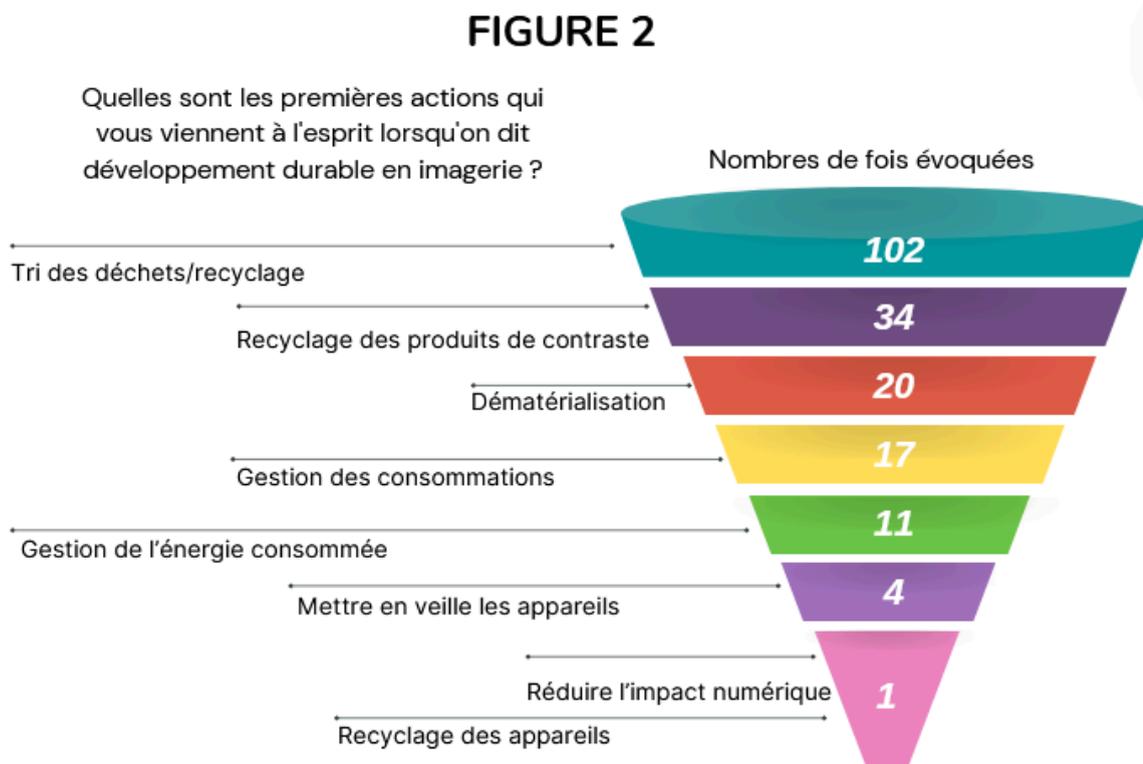
Tableau 2 : Le niveau d'importance pour la gestion des déchets

Quel niveau d'importance attribueriez-vous à la gestion des déchets :		(N = 173)
<hr/>		
Dans votre vie personnelle		
[n (%)]		
1		0 (0)
2		0 (0)
3		12 (6.9)
4		41 (23.7)
5		63 (36.4)
6		57 (32.9)
Dans votre activité professionnelle		
[n (%)]		
1		4 (2.3)
2		4 (2.3)
3		17 (9.8)
4		45 (26)
5		63 (36.4)
6		40 (23.1)

Les deux questions du tableau 2, ont pour objectif de différencier la motivation des MEM concernant le niveau d'importance qu'ils donnent à la gestion des déchets dans leur vie personnelle et au travail pour les confronter. 173 réponses ont pu être récoltées.



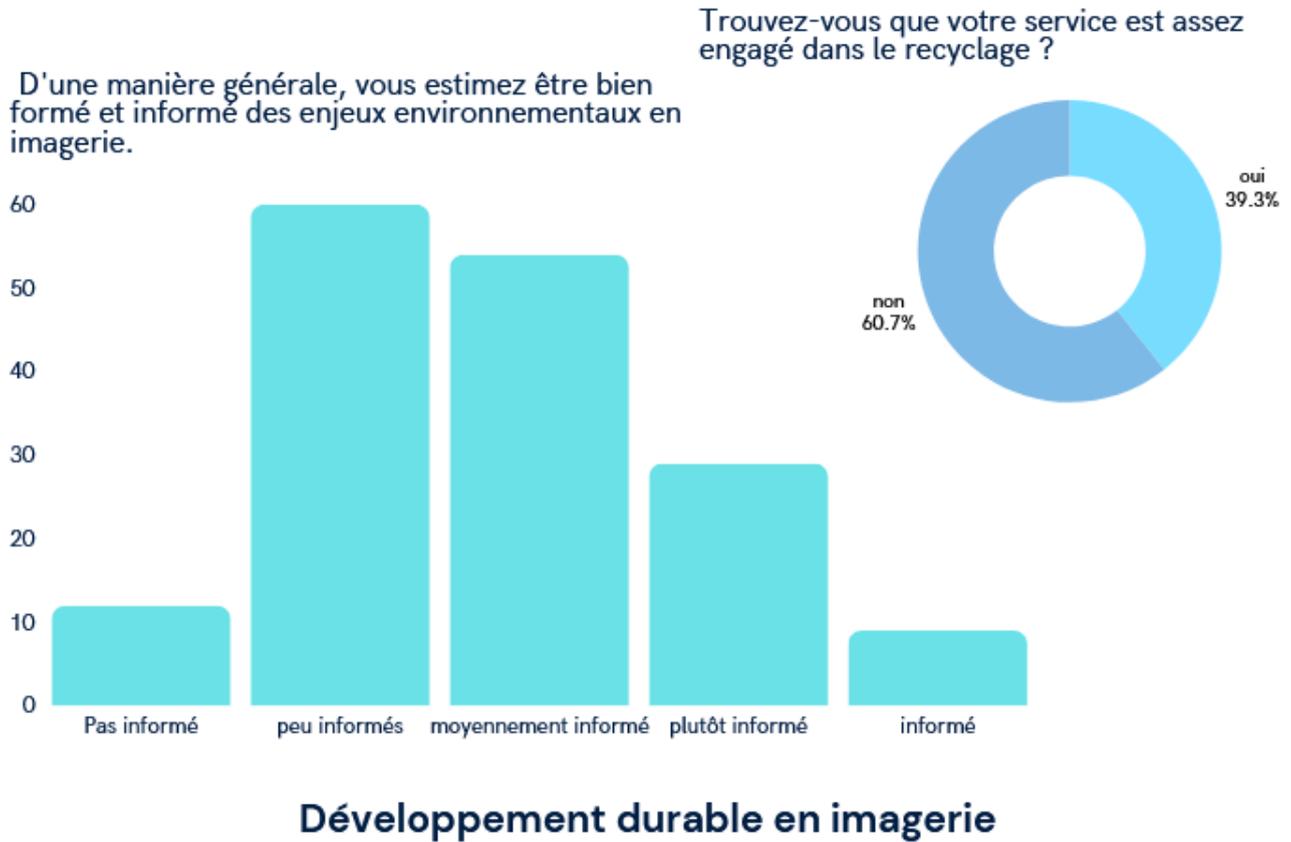
La figure 1 reprend les réponses des 173 MEM du tableau 2 mais de manière individuelle. N'ayant pas défini d'indicateurs précis sur la bonne gestion des déchets pour guider les MEM dans leurs réponses, il est préférable de comparer l'écart ressenti entre le niveau d'importance de la gestion des déchets dans la vie professionnelle et personnelle.



Les actions pour le développement durable en imagerie

La figure 2 questionne les MEM concernant les premières idées qui leur viennent à l'esprit lorsque l'on parle de développement durable en imagerie. Ils avaient la possibilité d'évoquer plusieurs actions. 150 réponses ont été recueillies pour cette question.

figure 3



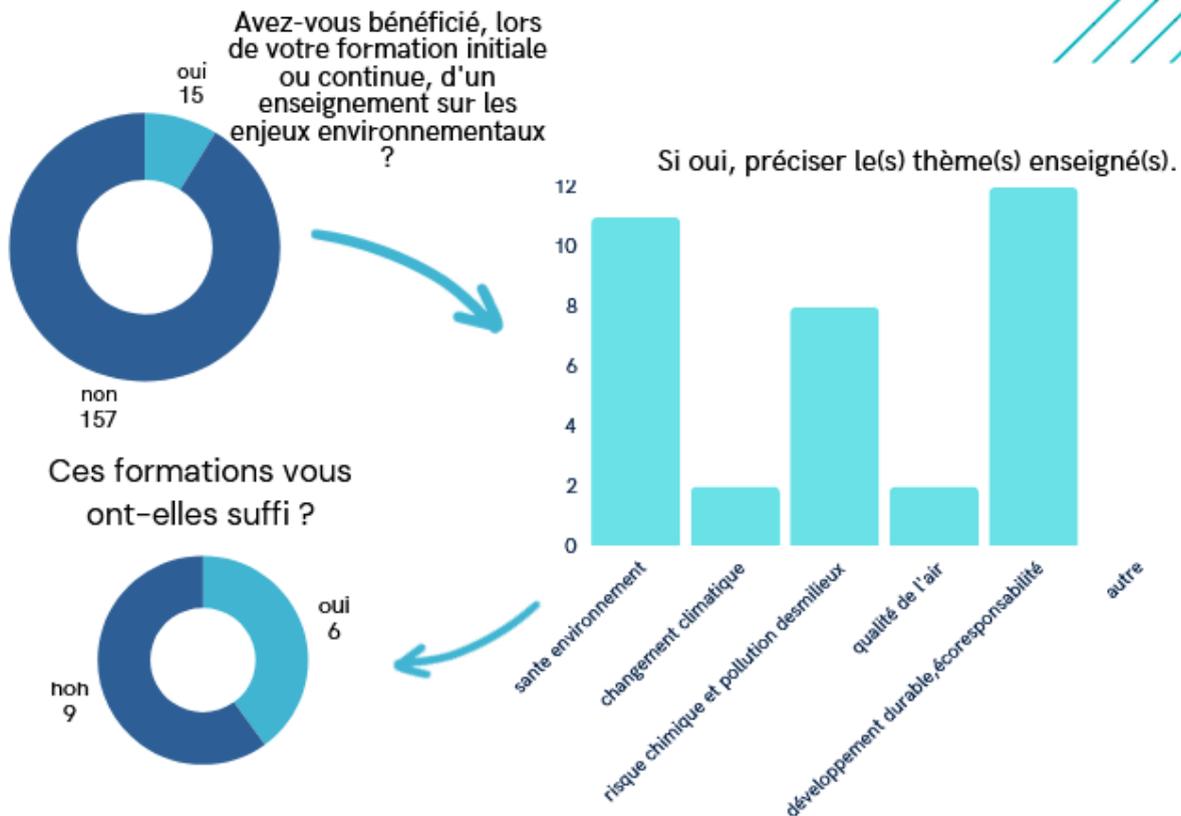
À travers la figure 3, on retrouve deux questions qui ont pour objectif d'avoir le ressenti des MEM concernant le recyclage dans les services d'imagerie et de voir s'ils se sentent informés sur les enjeux environnementaux. 173 MEM ont répondu.

Table 3 : Les pratiques professionnelles

Selon vous, le professionnel de santé doit ou devrait :		(N = 173)
<hr/>		
Être formé aux enjeux de santé et d'environnement globaux. [n (%)]		
Complètement d'accord	86	(49.7)
Plutôt d'accord	72	(41.6)
Moyennement d'accord	10	(5.8)
Peu d'accord	4	(2.3)
Pas d'accord	1	(0.6)
Intégrer les écogestes et l'action écoresponsable pour maîtriser l'impact environnemental de son activité . [n (%)]		
Complètement d'accord	99	(57.2)
Plutôt d'accord	62	(35.8)
Moyennement d'accord	11	(6.4)
Peu d'accord	1	(0.6)
Pas d'accord	0	(0)
s'engager davantage dans le développement durable en imagerie . [n (%)]		
Complètement d'accord	95	(54.9)
Plutôt d'accord	67	(38.8)
Moyennement d'accord	7	(4)
Peu d'accord	4	(2.3)
Pas d'accord	0	(0)

Avec le tableau 3, trois questions sont mises en avant afin de définir l'importance et le ressenti des MEM concernant la place du développement durable en imagerie. Là aussi, 173 réponses ont été récoltées.

FIGURE 4



Les formations sur les enjeux environnementaux en imagerie

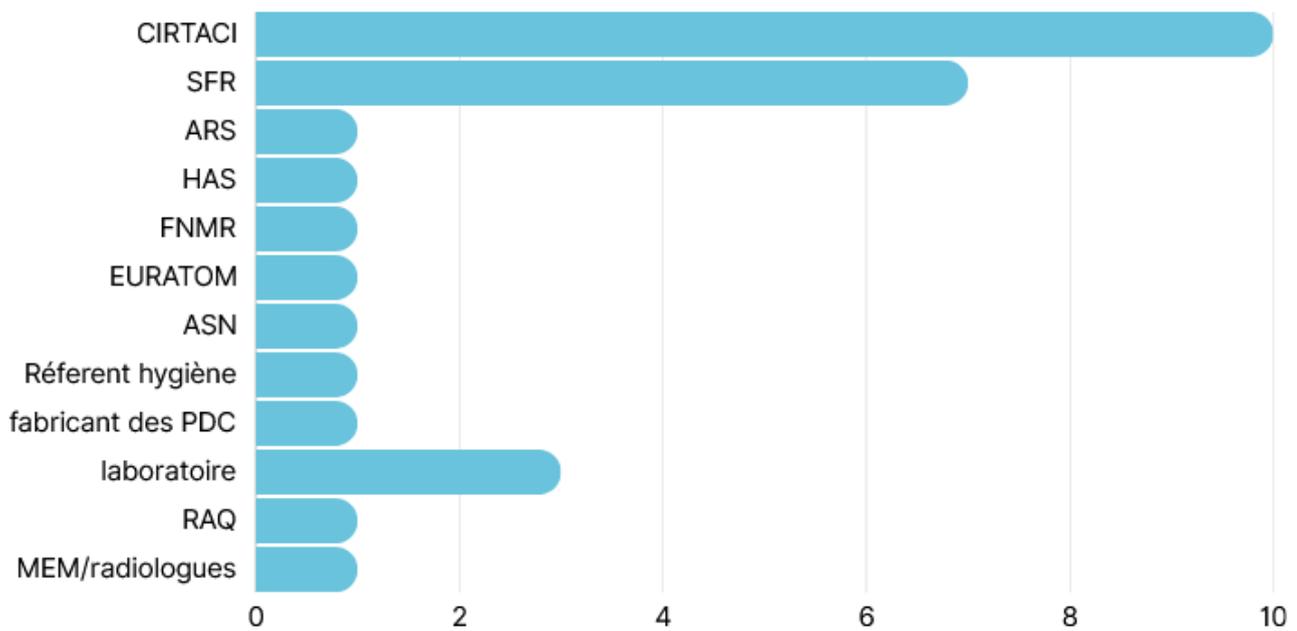
La figure 4 fait le lien avec ce que nous venons juste de voir. En effet, elle a pour objectif de voir les formations qu'ont reçues les MEM durant leur carrière, qu'elles soient initiales ou continues. Ici, 172 réponses sont récoltées et 15 personnes ont précisé les thèmes enseignés et si la formation était suffisante.

Table 4 : Les guides de bonne pratique

Categories	(N = 173)
Avez-vous eu l'occasion de voir les guides de bonnes pratiques liés aux injections de produit de contraste dans vos services ? [n (%)]	
oui	74 (42,8)
non	99 (57,2)
Savez-vous qui rédige les guides de bonne pratique concernant l'usage des produits de contraste ? [n (%)]	
oui	31 (17,9)
non	142 (82,1)

Le tableau 4 correspond aux questions liées aux guides de bonnes pratiques que l'on utilise en imagerie concernant les produits de contraste. La première question a pour objectif de voir si les guides de bonnes pratiques sont présents dans les services. La deuxième question vise la connaissance des MEM sur les guides de bonne pratique, plus précisément s'ils savent qui les rédige. Pour ces 2 questions, 173 MEM ont répondu.

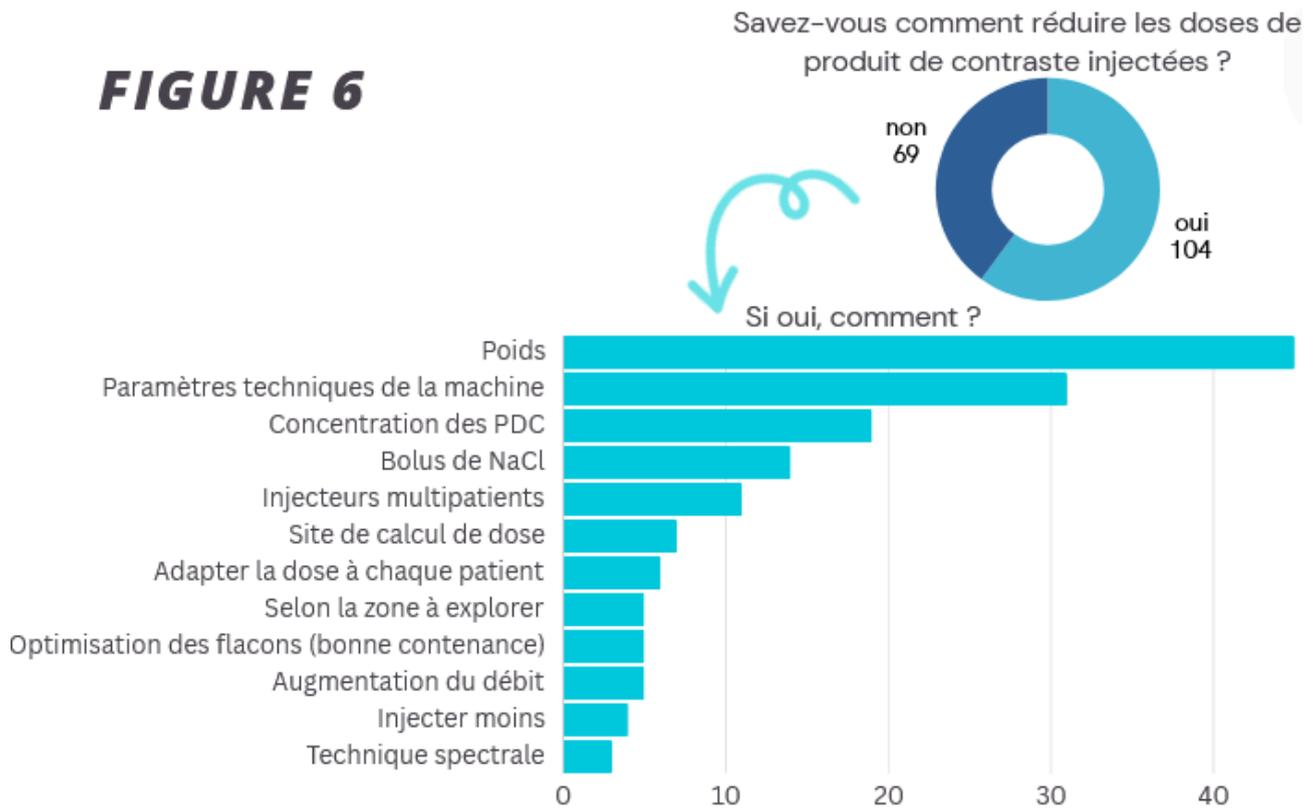
FIGURE 5



La rédaction des guides de bonnes pratiques

Il a été ensuite demandé aux 31 MEM qui ont dit qu'ils savaient qui rédige les guides de bonne pratique de me préciser. On retrouve les éléments de réponse sur la figure 5. 29 ont répondu à cette dernière.

FIGURE 6

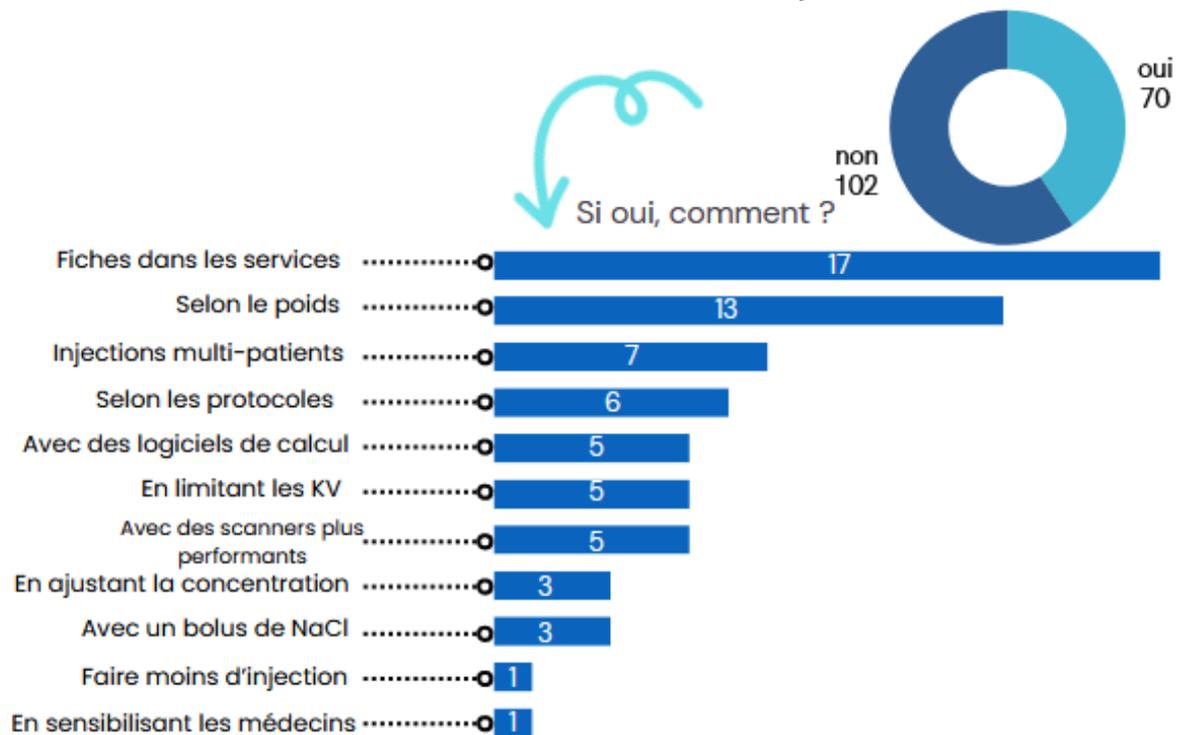


L'optimisation des produits de contraste

On retrouve sur la figure 6 la thématique de l'optimisation des produits de contraste en imagerie. 173 ont pu dire s'ils savaient comment réduire les doses à injecter. Sur les 104 qui ont répondu oui, 97 ont pu préciser leurs idées. Chaque MEM pouvait donner plusieurs éléments de réponse.

FIGURE 7

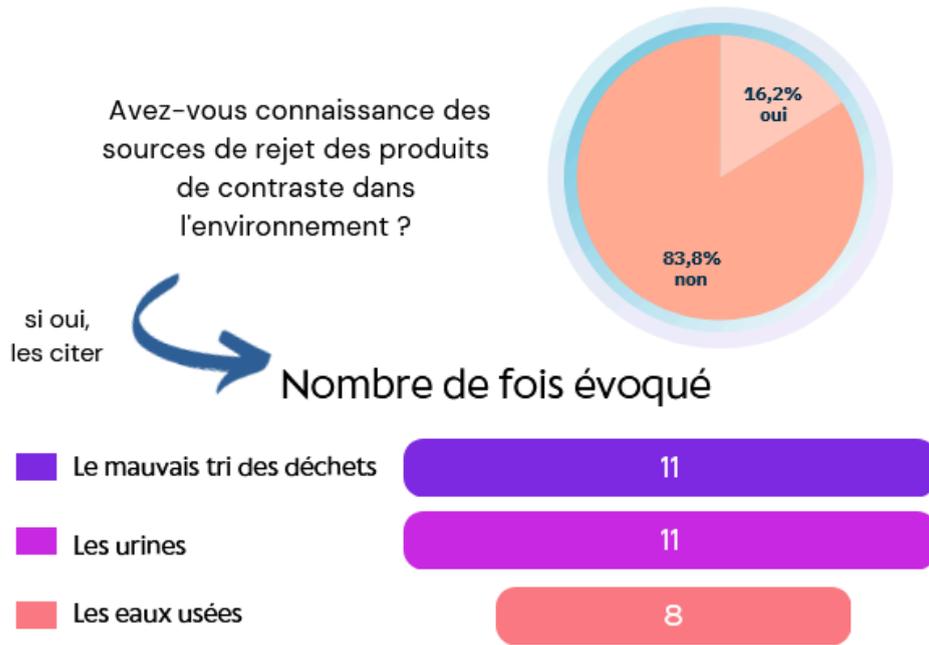
Des moyens pour limiter les doses de produit de contraste injectées sont présents dans votre service ?



Les actions dans les services pour l'optimisation des produits de contraste

La figure 7 est étroitement liée avec la figure vue juste auparavant. En effet, elle nous permet de voir quelles actions sont mises en place directement dans les services d'imageries pour limiter la consommation de produits de contraste. 172 MEM ont répondu et là aussi, plusieurs réponses pouvaient être données.

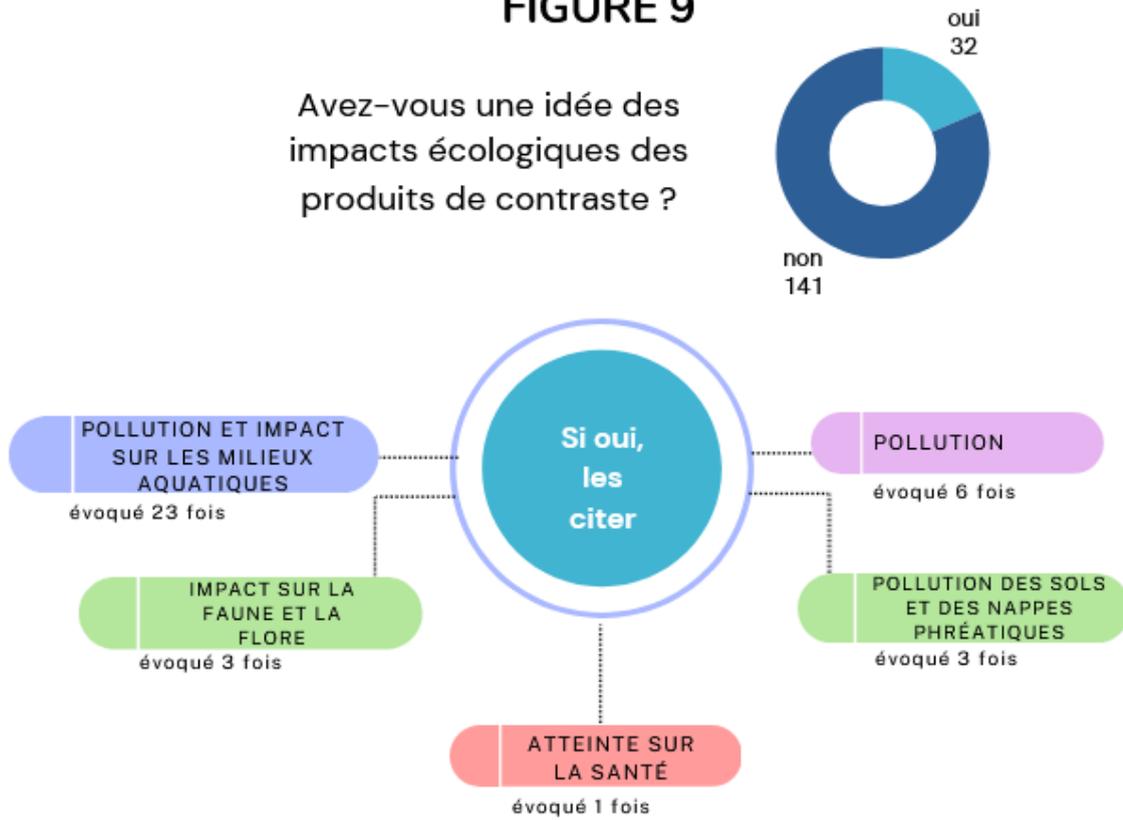
FIGURE 8



Les rejets des produits de contraste

La figure 8 est basée sur la thématique suivante : L'impact des produits de contraste. Elle a pour objectif de voir si les professionnels savent à quoi est dû le rejet des produits de contraste dans l'environnement. On voit que 173 ont répondu. Parmi les 28 qui déclarent le savoir, 23 ont précisé leurs pensées.

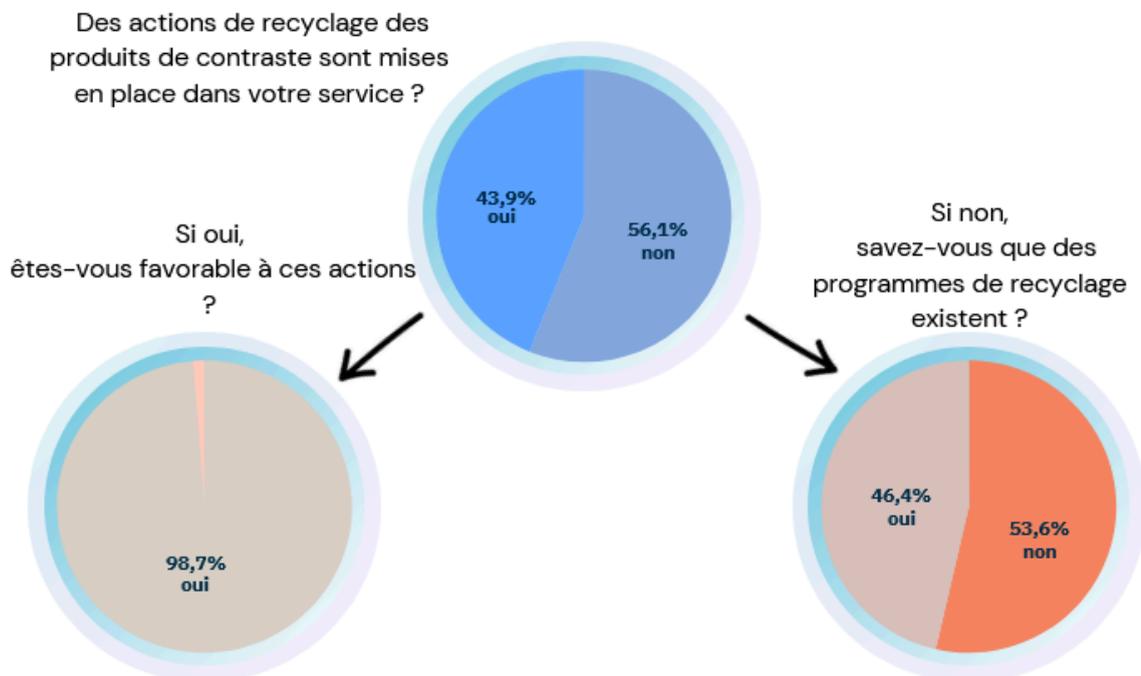
FIGURE 9



L'impact des produits de contraste

La figure 9 poursuit sur la même thématique. Ici, on questionne les MEM sur leurs connaissances concernant les impacts directs que causent les produits de contraste sur l'environnement. Pour cette question, 173 réponses et 26 ont pu les citer.

FIGURE 10



Le recyclage des produits de contraste

La dernière figure concerne directement le recyclage des produits de contraste. Elle a pour objectif d'identifier la part des services qui pratiquent le recyclage, mais aussi de voir si ces programmes sont bien accueillis par les 173 MEM qui ont répondu ou même s'ils en ont la connaissance.

V. Discussion

Maintenant que nous avons pu analyser les résultats, nous allons faire une analyse critique de ces derniers, afin qu'ils puissent nous aider à répondre à la question de départ.

Pour rappel, la question de départ est : Dans quelles mesures les manipulateurs en électroradiologie médicale peuvent-ils réduire l'impact écologique des produits de contraste sur l'environnement ?

L'ensemble des 173 questionnaires exploitables nous permet d'en savoir plus et de faire des liens entre les MEM, les pratiques professionnelles et le développement durable. En effet, dès la figure 1, nous pouvons voir que 98 MEM (56,7 %) ont déclaré avoir le même niveau d'importance pour la gestion des déchets dans leur vie personnelle et professionnelle. On voit que 53 MEM (30,6 %) ont un niveau d'importance plus élevé dans leur vie personnelle, ce qui par conséquent veut dire qu'ils font moins attention à la gestion des déchets dans les services d'imagerie. Concrètement, à travers ce chiffre, on parvient à distinguer une faible motivation à être rigoureux concernant la gestion des déchets dans le milieu professionnel. Au contraire, 22 MEM (12,7 %) ont déclaré faire plus attention au déchet au travail. On voit ici une plus grande motivation dédiée à la gestion des déchets dans les services de soins. Ces motivations, nous avons pu les définir dans le cadre conceptuel. On retrouve une motivation extrinsèque pour un grand nombre de MEM qui ont une faible motivation. Ce qui pourrait augmenter leur vigilance serait l'instauration de récompenses, de louanges ou encore de sanctions. À contrario, une faible part des MEM (22) présente une grande motivation à la gestion des déchets, motivation intrinsèque, qui lui est définie par la curiosité, à l'envie de relever des défis et à avoir de la reconnaissance.

Cette motivation n'est pas définitive, elle peut évoluer. La figure 3 nous montre que 60.7 % des MEM trouvent que leur service n'est pas assez engagé dans le recyclage. Cette donnée nous montre que pour les MEM, il y a encore des axes d'amélioration concernant le recyclage dans les services. De plus, seulement 4,6 % se sentent informés sur les enjeux environnementaux en imagerie. Au contraire, la plus grande majorité des professionnels se sentent moyennement

informés (54, soit 31,2 %), peu informés (60, soit 34,7 %) ou pas informés (22, soit 12,7 %). On voit clairement que la formation des MEM sur les enjeux environnementaux n'est pas optimale. Ce manque d'information peut clairement impacter la motivation des professionnels. De plus, la plupart des professionnels sont favorables à être formés et à plus s'engager, c'est ce que nous pouvons voir avec le tableau 3. On voit que plus de 91 % disent être plutôt d'accord, voire complètement d'accord, sur le fait que le professionnel de santé soit informé des enjeux de santé, intégrer les gestes écoresponsables et des actions écoresponsables et même s'engager davantage dans le développement d'image en imagerie. Ces données nous donnent un axe d'amélioration, c'est-à-dire, informer et former pour intégrer de nouvelles pratiques professionnelles en faveur du développement durable.

Nous avons pu voir qu'un des axes d'amélioration qui est mis en avant dans la figure 3 ainsi que le tableau 3 est la formation des professionnels au développement durable. Cet élément est confirmé par le fait que très peu de professionnels d'imagerie ont été formés, 15 sur les 172 répondants. Il reste donc 157 MEM qui n'ont jamais été formés. Le cadre conceptuel nous indique que les produits de contraste présentent un risque chimique et de pollution des milieux. Pour cette thématique, la figure 4 nous montre que 8 des 15 personnes étant formées l'ont évoqué. Si on ramène à notre échantillon de départ, cela veut dire que seulement 4,6 % ont eu une formation sur les risques chimiques et de la pollution des milieux. Une dernière donnée est présente dans la figure 9, elle permet de voir que 9 des 15 professionnelles formées déclarent que cette formation n'a pas été suffisante, contre 6 qui déclarent que la formation a été suffisante.

La figure 2 nous montre que la principale idée qui vient à l'esprit des MEM lorsque l'on parle de développement durable en imagerie, c'est le tri des déchets et le recyclage. En effet, cette réponse a été évoquée 102 fois. Juste après, nous trouvons les produits de contraste, qui lui ont été évoqués 34 fois. Les autres notions comme la dématérialisation, la gestion des consommables ou encore la gestion de l'énergie ont aussi été évoquées, mais à une fréquence moins élevée. Cette donnée nous montre que l'élément de notre recherche, les produits de contraste, n'est pas un élément qui revient en priorité lorsque l'on parle de développement durable en imagerie.

L'utilisation des produits de contraste dans les services se fait quotidiennement. La SFR rédige les guides de bonnes pratiques consacrés aux injections de produits de contraste afin de limiter les doses d'injection dans les services. Le tableau 4 et la figure 5 sont là pour nous éclairer sur les connaissances de ces guides par les professionnels. Tout d'abord, on voit que 42,8 % (soit 74) des professionnels disent avoir eu l'accès aux guides, contre 57,2 % (soit 99) qui, eux, ne l'ont

pas eu. On voit clairement que pour des guides de bonne pratique aussi ciblés et pour une activité qui est réalisée quotidiennement, ils ne sont pas assez diffusés dans les services et trop peu de professionnels en ont la connaissance. Si on va un peu plus loin et que l'on demande plus précisément s'ils savent qui les rédige, on voit que 82,1 % (soit 142) des MEM disent ne pas savoir qui les rédige, contre 17,9 % (soit 31) qui disent le savoir. Il a été ensuite demandé au MEM de préciser qui les rédige s'ils ont répondu oui. On peut voir plusieurs types de réponse, comme la Haute Autorité de Santé (HAS), l'Agence de Sécurité Nucléaire (ASN) ou encore les laboratoires. Mais on voit surtout que seulement 7 MEM ont répondu pour la SFR et 10 pour le CIRTACI. Là aussi, ces données nous montrent qu'il y a un manque d'information donnée aux professionnels concernant l'utilisation des produits de contraste.

On retrouve par la suite, à travers les figures 6 et 7, un paramètre au centre du travail du MEM, l'optimisation des produits de contraste. En effet, l'optimisation des produits de contraste est entre les mains du MEM qui réalise l'examen. Durant cette étude, il leur a été demandé s'ils savaient comment réduire les doses à injecter aux patients, mais aussi quelles actions sont mises en place dans leur service afin de les limiter. On peut voir que 104 professionnels (60,1 %) savent comment réduire les doses de produits de contraste contre 69 (39,9 %) qui ne savent pas. Parmi ceux qui ont répondu qu'ils savaient, on leur a demandé de donner leur façon d'optimiser. Chaque MEM pouvait donner plusieurs éléments de réponse. Parmi les éléments évoqués le plus souvent, on retrouve le poids (évoqué 45 fois), les paramètres techniques de la machine (évoqués 31 fois) et la concentration du produit de contraste (évoquée 19 fois). Les réponses les plus fréquemment données sont stipulées dans les guides de bonnes pratiques du CIRTACI, ce qui signifie qu'elles sont appliquées dans les services. Ces fiches disent qu'il est possible de limiter les doses de produits de contraste injectés selon le poids du patient, mais aussi en optimisant les kV utilisés pour l'acquisition des images. Si on rapporte à notre échantillon de départ, 26 % ont pensé au poids, 17,9 % aux paramètres de la machine et 11 % à la concentration du produit de contraste utilisé, on note une bonne adéquation avec les préconisations de la CIRTACI. Cependant, ces taux nous montrent qu'une minorité des professionnels ont une idée de comment optimiser l'injection pour un patient. Concernant la méthode mise en place directement dans les services pour limiter l'utilisation des produits de contraste, la plus évoquée est la mise en place de fiches dans le service qui permettent d'optimiser les doses à injecter. A noter l'information la plus importante pour ces études, c'est que 102 MEM (soit 59 %) travaillent dans un service qui n'utilise aucun moyen pour limiter les doses de produit de contraste à injecter. Ce chiffre nous montre un réel axe d'amélioration, qui serait de guider et de faciliter l'optimisation des doses de produits de contraste directement à la console de la machine avec des affiches, comme c'est déjà fait dans certains services.

Pourquoi faire attention et limiter l'utilisation de produits de contraste ? Les produits de contraste sont-ils vraiment dangereux pour la santé ? Ces questions, les MEM peuvent se les poser, mais n'ont pas forcément la réponse. On voit à travers la figure 9 que 141 (81,5 %) n'ont aucune idée des impacts directs que causent les produits de contraste sur l'environnement, contre 32 MEM (18,5 %) qui disent avoir une idée. Parmi ceux qui ont une idée, on retrouve cinq impacts écologistes différents, allant de la pollution et de l'impact des milieux aquatiques (évoquée 23 fois), de la pollution des nappes phréatiques (évoquée 3 fois) ou encore d'une atteinte pour la santé (évoquée 1 fois). Là encore, très peu de MEM ont conscience du réel impact écologiste. Seulement 13,3 % de l'échantillon total ont connaissance de l'impact sur les écosystèmes aquatiques, sans parler du seul MEM qui a évoqué les impacts directs pour la santé. Le fait de se sentir plus concerné et de savoir que la pollution, due aux produits de contraste, peut avoir un impact sur notre santé pouvant aller, de la simple irritation des organes tels que les yeux, la peau ou des voies respiratoires ou encore comme étant un facteur de risque de cancers de la vessie et de l'œsophage peut entériner une prise de conscience des MEM. Pour cela, on revient sur l'information. Il faut sensibiliser les professionnels pour qu'ils en aient connaissance, leur montrer l'impact sur leur santé, mais aussi sur le fait que du gadolinium peut se retrouver dans l'eau qu'ils boivent et même dans leurs assiettes. Une autre donnée plus globale, mais tout aussi intéressante, nous est donnée par la figure 8. On voit que 145 MEM (83,8 %) ne savent pas comment sont rejetés les produits de contraste dans l'environnement, contre 28 (16,2 %) qui le savaient. Parmi ceux qui déclarent le savoir, on peut voir trois réponses différentes quand on leur demande de les citer. On retrouve le mauvais tri des déchets (évoqué 11 fois), les urines (évoquées 11 fois) et les eaux usées (évoquées 8 fois).

Si les produits de contraste ne sont pas rejetés dans la nature, nous pouvons voir qu'il existe des circuits de recyclage spécialisés. Ces actions de recyclage ont déjà été mises en place en France comme MéGadoRe ou le programme Re.Contrast. Parmi les MEM qui ont répondu au questionnaire, la figure 10 nous montre que 76 MEM (soit 43,9 %) travaillent dans un service où l'on peut retrouver des actions de recyclage des produits de contraste, contre 97 (soit 56,1 %) qui n'en ont pas. Le système de recyclage est récent et on voit qu'il commence à être diffusé dans de nombreux services. De plus, 98,7 % des MEM qui ont accès au programme de recyclage y sont favorables. Cette donnée est encourageante, elle nous permet de voir que les MEM sont ouverts à de nouvelles pratiques en faveur du développement durable. Pour ceux qui n'ont pas l'occasion d'en avoir dans leur service, il leur a été demandé s'ils savaient que ce genre de programme existait. 52 MEM (soit 53,6 %) n'en avaient pas la connaissance, contre 45 (soit 46,4 %) qui le savaient déjà.

On voit que 31 % n'ont pas encore connaissance que des programmes existent, mais cette proportion est nettement plus faible que pour les éléments vus auparavant.

VI. Conclusion

Pour conclure ce mémoire de fin d'étude, nous avons pu voir que les MEM ont un rôle à jouer pour réduire l'impact écologique des produits de contraste. En effet, ils sont le dernier rempart pour limiter l'utilisation de produits de contraste, en optimisant les doses injectées et en participant aux circuits de recyclage. Ils peuvent réduire de manière significative l'impact écologique lié à ces produits. Les résultats des différentes questions montrent que les MEM ne sont pas assez formés et informés des impacts écologiques des produits, alors qu'ils sont acteurs pour en limiter l'utilisation. On voit aussi que la motivation des professionnels est un élément clef. De plus, nous avons pu voir que certains services ont déjà des actions de mise en place. Ces actions entrent dans une démarche écoresponsable et peuvent complètement s'intégrer dans les pratiques professionnelles d'un MEM.

Les points forts de cette étude sont la diversité des sources utilisées. La recherche documentaire a été assez complexe, étant donné que le sujet de départ est très ciblé et que peu de recherches ont été menées sur les produits de contrastes utilisés en imagerie. Malgré cela, des liens entre plusieurs domaines ont pu être faits, comme la géologie, la chimie, la physique ou encore la biologie.

Un des autres points forts de cette étude est l'échantillon de recherche. En effet, un grand échantillon a permis de réaliser une recherche représentative du métier de manipulateur. On note un échantillon homogène, que ce soit pour l'âge des participants ou bien le secteur d'activité des participants.

On observe par ailleurs des limites pour cette étude. L'étude ne permet pas de savoir de quelle zone géographique viennent les MEM. Nous savons cependant que certaines régions françaises sont plus engagées dans le recyclage des produits. C'est le cas de la Bretagne qui est le berceau du projet MeGadoRe. Venant de l'école de RENNES, il y a donc une chance d'avoir une proportion plus élevée de réponses venant de Bretagne.

Une autre limite est la formulation des questions de mon questionnaire. En effet, voyant mon thème sur la page de garde de mon questionnaire (Le développement durable en imagerie), les MEM ont pu être amenés à être plus favorables à toutes les actions qui touchent l'écologie.

Cette recherche est basée sur l'impact des produits de contraste et a permis de définir leurs origines. Pour que les pratiques professionnelles évoluent, il faudrait savoir quelles actions pourraient être mises en place dans les services d'imagerie. Pour compléter ce travail, on pourrait donc se demander :

-En quoi un référent du développement durable aurait-il une place dans un service d'imagerie médicale ?

-Dans quelles mesures les MEM sont-ils prêts à faire évoluer leurs pratiques afin de les rendre plus "vertes" ?

VII. Bibliographie

Articles consultés :

-Birka, M., Wehe, C.A., Hachmöller, O., Sperling, M., Karst, U., 2016b. Tracing gadolinium based contrast agents from surface water to drinking water by means of speciation analysis. *J. Chromatogr. A* 1440, 105–111. doi:[10.1016/j.chroma.2016.02.050](https://doi.org/10.1016/j.chroma.2016.02.050)

-Knappe, A., Möller, P., Dulski, P., Pekdeger, A., 2005. Positive gadolinium anomaly in surface water and ground water of the urban area Berlin, Germany. *Chem. Erde - Geochem.* 65, 167– 189. doi:[10.1016/j.chemer.2004.08.004](https://doi.org/10.1016/j.chemer.2004.08.004)

-Möller, P., Dulski, P., Bau, M., Knappe, A., Pekdeger, A., Sommer-von Jarmersted, C., 2000. Anthropogenic gadolinium as a conservative tracer in hydrology. *J. Geochem. Explor.* 69–70, 409–414. doi:[10.1016/S0375-6742\(00\)00083-2](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(00)00083-2)

-Tepe, N., Romero, M., Bau, M., 2014. High-technology metals as emerging contaminants: Strong increase of anthropogenic gadolinium levels in tap water of Berlin, Germany, from 2009 to 2012. *Appl. Geochem.* 45, 191–197. doi:[10.1016/j.apgeochem.2014.04.006](https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.04.006)

-Lindner, U., Lingott, J., Richter, S., Jiang, W., Jakubowski, N., Panne, U., 2015. Analysis of Gadolinium-based contrast agents in tap water with a new hydrophilic interaction chromatography (ZIC-chILIC) hyphenated with inductively coupled plasma mass spectrometry. *Anal. Bioanal. Chem.* 407, 2415–2422. doi:[10.1007/s00216-014-8368-5](https://doi.org/10.1007/s00216-014-8368-5)

-Kümmerer, K., Helmers, E., 2000. Hospital effluents as a source of gadolinium in the aquatic environment. *Env. Sci Technol* 34, 573–577. doi:[10.1021/es990633h](https://doi.org/10.1021/es990633h)

-Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution.* 312 pp. Oxford, London, Edinburgh, Boston, Palo Alto, Melbourne: Blackwell Scientific., Geological Magazine.

-Brown, G.V., 1976. Magnetic heat pumping near room temperature. *J. Appl. Phys.* 47, 3673–3680. doi:[10.1063/1.323176](https://doi.org/10.1063/1.323176)

-Amet, S., Deray, G., 2012. Toxicité rénale des produits de contraste chez le patient oncologique. *Bull. Cancer (Paris)* 99, 295–307. doi: [10.1684/bdc.2011.1477](https://doi.org/10.1684/bdc.2011.1477)

-Bonnet, C. S. (2006). *Complexation des cations lanthanides trivalents par des ligands d'origine biologique pour l'IRM : Structure, thermodynamique et méthodes*. <https://hal-cea.archives-ouvertes.fr/tel-00089144v1>

-Plewa, M. J., Wagner, E. D., Richardson, S. D., Thruston, A. D., Woo, Y. T., & McKague, A. B. (2004). Chemical and Biological Characterization of Newly Discovered Iodoacid Drinking Water Disinfection Byproducts. *Environmental Science & Technology*, 38(18), 4713-4722. <https://doi.org/10.1021/es049971v>

Duirk, S. E., Lindell, C., Cornelison, C. C., Kormos, J. L., Ternes, T. A., Attene-Ramos, M. S., Osiol, J., Wagner, E. D., Plewa, M. J., & Richardson, S. D. (2011). Formation of Toxic Iodinated Disinfection By-Products from Compounds Used in Medical Imaging. *Environmental Science & Technology*, 45(16), 6845-6854. doi : [10.1021/es200983f](https://doi.org/10.1021/es200983f)

Goff, S. L., Barrat, J., Chauvaud, L., Paulet, Y., Guéguen, B., & Salem, D. B. (2019). Compound-specific recording of gadolinium pollution in coastal waters by great scallops. *Scientific Reports*, 9(1). doi : [10.1038/s41598-019-44539-y](https://doi.org/10.1038/s41598-019-44539-y)

Webographie :

-‘Ferrand, C. (2023, 11 septembre). « *En radiologie, les enjeux sur l’&rsquo ; écoresponsabilité sont réels* ». Docteur Imago. <https://docteurimago.fr/actualite/socioprofessionnel/en-radiologie-les-enjeux-sur-lecoresponsabilite-sont-reels/>

-Larousse, É. (s. d.). *Définitions : environnement - Dictionnaire de français Larousse*.
<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/environnement/30155>

-cairn.info:<https://www.cairn.info/la-boite-a-outils-de-l-analyse-de-donnees--9782100808557-page-12.htm>

-Re : *Contrast*. (s. d.). Radiology France. <https://www.radiology.bayer.fr/service/recontrast>

-Bassereau, B. (2024, 5 février). *Trois alternatives aux produits de contraste gadolinés à l'étude*.
Docteur Imago.
<https://docteurimago.fr/actualite/medical-technique/trois-alternatives-aux-produits-de-contraste-gadolinés-a-letude/>

-L'Express. (2019, 10 juin). Les terres rares, arme redoutable aux mains de Pékin. *L'Express*.
https://www.lexpress.fr/economie/les-terres-rares-arme-redoutable-aux-mains-de-pekine_2081044.html

-JFMA - Jean-Fran Ois Moreau - Docteur - Electroradiologiste - professeur - Ecrivain - ACCUEIL
8 SEPTEMBRE 2013 - HISTOIRE DES PRODUITS DE CONTRASTE IOD S. (s. d.).
<http://www.jfma.fr/PRODUIT-DE-CONTRASTE-IODES-HISTOIRE.html>

-IRM-Historique – Institut Arthur Vernes. (s. d.).
<https://www.institut-vernes.fr/imagerie/les-differentes-techniques/irm/irm-historique/>

-Nouvelle, L. (2022, 13 janvier). Produits de contraste : Guerbet : Le succès du Dotarem compense la déconvenue de Xenetix. www.usinenouvelle.com.
<https://www.usinenouvelle.com/article/produits-de-contraste-guerbet-le-succes-du-dotarem-compense-la-deconvenue-de-xenetix.N1546582>

-R Sum des caractéristiques du produit - XENETIX 350 (350 mg d'Iode/mL), solution injectable - base de données publique des Médicaments. (s. d.).
<https://base-donnees-publique.medicaments.gouv.fr/affichageDoc.php?specid=66613769&typedoc=R>

-Nouvelle, L. (2022b, janvier 13). Produits de contraste : Guerbet : Le succès du Dotarem compense la déconvenue de Xenetix. www.usinenouvelle.com.
<https://www.usinenouvelle.com/article/produits-de-contraste-guerbet-le-succes-du-dotarem-compense-la-deconvenue-de-xenetix.N1546582>

-R Sum des caractéristiques du produit - XENETIX 350 (350 mg d'Iode/mL), solution injectable - base de données publique des Médicaments. (s. d.-b.).
<https://base-donnees-publique.medicaments.gouv.fr/affichageDoc.php?specid=66613769&typedoc=R>

-Sfr. (s. d.). *Produits de contraste iodés : quid de notre empreinte iodée ?* SFR. <https://www.radiologie.fr/pratiques-professionnelles/sfr-actu/produits-contraste-iodes-quid-empreinte-iodee>

-Fiche complète pour acide iodoacétique - CNESST. (s. d.). https://reptox.cnesst.gouv.qc.ca/Pages/fiche-complete.aspx?no_produit=5108&no_seq=2&incr=0

-Acétaldéhyde et effets sur la santé &bull ; *Cancer environnement*. (2022, août 16). Cancer Environnement. <https://www.cancer-environnement.fr/fiches/expositions-environnementales/acetaldéhyde/>

-Acétonitrile (FT 104). *Généralités - fiche toxicologique - INRS*. (s. d.). https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_104

-Hoff, J. (2023, 11 septembre). *Les leviers de l'utilisation responsable des produits de contraste*. Docteur Imago. <https://docteurimago.fr/actualite/socioprofessionnel/les-leviers-de-lutilisation-responsable-des-produits-de-contraste/>

-Méthodes d'élaboration des recommandations de bonne pratique. (s. d.). Haute Autorité de Santé. https://www.has-sante.fr/jcms/c_418716/fr/methodes-d-elaboration-des-recommandations-de-bonne-pratique

-Recommandations, protocoles, procédures. (s. d.). *Infirmiers.com*. <https://www.infirmiers.com/profession-ide/recommandations-protocoles-procedures>

-Sfr. (2023). *Recommandations-Réglementations-Décrets-Chartes-Guides*. SFR. <https://www.radiologie.fr/pratiques-professionnelles/recommandations-reglementations-decrets-chartes-guides>

-A propos de MEGADORE – Megadore. (s. d.). <https://megadore.org/a-propos-de-megadore/>

-Sekumade, O. (2023, août 1). *Motivation intrinsèque, motivation extrinsèque - prium transition*. Prium Transition. <https://prium-transition.com/motivation-intrinseque-motivation-extrinseque/>

-MOTIVATION : définition de MOTIVATION. (s. d.-b). <https://www.cnrtl.fr/definition/motivation>

-Asana, T. (2023, 17 juillet). *Motivation intrinsèque : présentation et fonctionnement [2023]* • Asana. <https://asana.com/fr/resources/intrinsic-motivation>

-REMICLAVELADmin. (2023, août 31). *La motivation intrinsèque*. Société Française de Préparation Mentale. <https://sfpm-vousenmieux.fr/la-motivation-intrinseque/>

-Sfr. (2023). *Recommandations-Réglementations-Décrets-Chartes-Guides*. SFR. <https://www.radiologie.fr/pratiques-professionnelles/recommandations-reglementations-decrets-chartes-guides>

annexes

annexes I : guide d'entretien exploratoire

annexe II : questionnaire

annexes I : guide d'entretien exploratoire

guide d'entretien exploratoire

présentation

éléments de recyclages déjà mis en place dans les services	en général	Des actions déjà mises en place ?
		Comment sont gérés les déchets recyclés dans un hôpital ?
	PDC	Y a-t-il des mesures pour les PDC non utilisés ?
		Les mesures sont-elles présentes dans tous les services ?
		Depuis quand ?
		Comment ça marche ?

former, informer	référent écologie ?	Rôle ?
		Depuis combien de temps ?
	Formations proposées ?	Qui peut s'y rendre ?
		Où sont-elles faites ?

		Beaucoup de manip intéressée ?
		noms des formations.

consommation	iode	Quantité administrée ?
		Quantité récupérée ?
	gado	Quantité administrée ?
		Quantité récupérée ?

à l'avenir	Des projets sont déjà engagés ?
	Des projets en pourparlers ?
	Des projets en cours de test ?

annexe II : questionnaire

Q1 : Vous exercez au sein d'un service de...

1. scanner (y compris scanner de radiothérapie et TEP scan)
2. IRM
3. Les deux
4. Aucun

Q2 : Quel niveau d'importance attribueriez-vous à la gestion des déchets dans votre vie personnelle?

	1	2	3	4	5	6	
pas important	<input type="radio"/>	très important					

Q3 : Quel niveau d'importance attribueriez-vous à la gestion des déchets dans votre activité professionnelle ?

	1	2	3	4	5	6	
pas important	<input type="radio"/>	très important					

(Objectif : voir les motivations intrinsèques et extrinsèques.)

Q4 : Quelles sont les premières actions qui vous viennent à l'esprit lorsqu'on dit développement durable en imagerie ?

Réponse ouverte (Objectif : voir si les PDC viennent dans les premières idées)

Q5 : d'une manière générale, vous estimez être bien formé et informé des enjeux environnementaux en imagerie.

1. Informé
2. Plutôt informé.
3. Moyennement informé.
4. Peu informés
5. Pas informé

(Objectif : voir le ressenti sur les informations reçues)

Q6 : Trouvez-vous que votre service est assez engagé dans le recyclage ?

-Oui

-non

Q7 : Selon vous, le professionnel de santé doit ou devrait :

Être formé aux enjeux de santé et d'environnement globaux.

1. Complètement d'accord.
2. Plutôt d'accord.
3. Moyennement d'accord.
4. Peu d'accord
5. Pas d'accord

Q8 : Selon vous, le professionnel de santé doit ou devrait :

Intégrer les éco-gestes et l'action écoresponsable pour maîtriser l'impact environnemental de son activité.

1. Complètement d'accord
2. Plutôt d'accord

3. Moyennement d'accord
4. Peu d'accord
5. Pas d'accord

Q9 : Selon vous, le professionnel de santé doit ou devrait :

... S'engager davantage dans le développement durable en imagerie

1. Complètement d'accord
2. Plutôt d'accord
3. Moyennement d'accord
4. Peu d'accord
5. Pas d'accord

(Objectif : voir le ressenti sur la place du DD en imagerie)

Q10 : Avez-vous bénéficié, lors de votre formation initiale ou continue, d'un enseignement sur les enjeux environnementaux.

-oui

-non

Si oui :

Préciser le(s) thème(s) enseigné(s). QCM

- santé environnement
- changement climatique
- risque chimique et pollution des milieux
- qualité de l'air
- développement durable, écoresponsabilité
- autre

– Ces formations vous ont-elles suffi ?

-oui

-non

(Objectif : voir les formations reçues par les manips.)

Q11 : Avez-vous eu l'occasion de voir les guides de bonnes pratiques liés aux injections de produit de contraste dans vos services ?

-oui

-non

Q12 : Savez-vous qui rédige les guides de bonne pratique concernant l'usage des produits de contraste ?

-oui

-non

Si oui, le citer

Réponse ouverte

(Objectif : voir si les guides de bonnes pratiques sont utilisés.)

Q13 : Savez-vous comment réduire les doses de produit de contraste injectées ?

Réponse ouverte

Q14 : Quels sont les moyens mis en œuvre pour limiter les doses de produit de contraste injectées dans votre service ?

Réponse ouverte

(Objectif : voir les pratiques et les connaissances de l'utilisation des PDC)

Q15 : Avez-vous connaissance des sources de rejet des produits de contraste dans l'environnement ?

oui

non

si oui lesquels

Q16 : Avez-vous connaissance des impacts écologiques des produits de contraste ?

oui

non

si oui lesquels

(Objectif : voir les connaissances sur l'impact des PDC.)

Q17 : Des actions de recyclage des produits de contraste sont mises en place dans votre service ?

-oui

-non

Si oui,

Êtes-vous favorable à cette action ?

-oui

– Non (si non, pourquoi n'êtes-vous pas favorable ?)

Si non,

Savez-vous que des programmes de recyclage existent ?

-oui

-non

(Objectif : voir les pratiques du recyclage des PDC et leur intégration.)

APPORTER DIRECTEMENT LES REPONSES SUR LE DOCUMENT

NOM : bois

PRENOM : mathis

TITRE : L'impact écologique des produits de contraste

Aujourd'hui, nous savons que nos activités ont un impact sur l'environnement. Ce travail de fin d'étude s'appuie sur des études réalisées par des scientifiques qui montrent que les produits de contraste utilisés en imagerie médicale ont un impact sur l'environnement. Il est intéressant d'étudier le lien entre la pratique professionnelle des manipulateurs en électroradiologie médicale, leur connaissance et l'impact causé par les produits de contraste sur l'environnement.

Pour cette étude, j'utilise la méthode quantitative. Elle me permet d'obtenir un grand nombre de résultats auprès des manipulateurs radio. Ce questionnaire est distribué au manipulateur radio qui travaille en scanner ou en IRM.

Le résultat des questionnaires montre que 19,5 % des manipulateurs ont une idée des impacts directs que causent les produits de contraste sur l'environnement. D'autre part, 39,9 % ne savent pas comment réduire les doses de produits de contraste qu'il faut injecter aux patients.

Mes recherches m'ont appris que les manipulateurs ne connaissent pas l'impact écologique des produits de contraste.

Nous pouvons conclure en soulignant que la majorité des manipulateurs radio ne sont pas formés et informés des enjeux écologiques qui sont présents autour des produits de contraste.

Today, we know that our activities have an impact on the environment. This final study is based on studies conducted by scientists that show that the contrast products used in medical imaging have an impact on the environment. It is interesting to study the link between the professional practice of radiographer, their knowledge and the impact of contrast products on the environment.

For this study, I use the quantitative method. It allows me to get a lot of results from radiographer. This questionnaire is distributed to the radiographer working in scanner or MRI.

The results of the questionnaires show that 19.5% of radiographer have an idea of the direct impacts of contrast products on the environment. On the other hand, 39.9% do not know how to reduce the doses of contrast agents to be injected into patients.

My research taught me that radiographers do not know the environmental impact of contrast products.

To conclude, the majority of radiographer are not trained and informed about the environmental issues that are present around contrast products.

MOTS CLÉS : développement durable, produits de contraste, environnement, manipulateur en électroradiologie médical

MOTS CLÉS : sustainable development, contrast products, environment, x-ray technician