

PHILIPS

Double couche #9

Le magazine de l'iQon

Professeur L. Bousset

« L'IQon nous donne accès à la 4D »

Dépistage opportuniste
de l'ostéoporose

Veille scientifique

IQON & DEEP LEARNING



Edito

Jérôme Prat

Au-delà de l'image

Pourquoi un numéro spécial *IQon et Deep Learning* ? L'intelligence artificielle encore, l'intelligence artificielle toujours. Comme si l'intelligence artificielle était incontournable. Elle l'est certainement, mais il y a plus. Parce que l'imagerie traverse un moment de son histoire particulièrement intéressante, il faut donner le temps à la machine d'apprendre et aux radiologues de valider.

Pour entraîner les machines avec un ensemble de données, il est nécessaire de trouver l'équilibre entre les contraintes : un modèle assez puissant mais pas trop.

Face à ces nouveaux défis, l'IQon se positionne et propulse l'imagerie du scanner dans la nouvelle dimension 4D. Bien au-delà de l'image, découvrez l'interview exceptionnel du Professeur Bussel qui orchestre magistralement deep learning et imageries spectrales.

Et si on reprenait les bases. En commençant par utiliser l'exposition du patient aux rayons X lors du topogramme : Est-ce possible ? Evidemment s'il est spectral. Entretien avec un talentueux physicien qui propose l'évaluation d'un facteur de risque de l'ostéoporose à partir d'un simple scout réalisé sur l'IQon. De nouveaux algorithmes facilement automatisables...

Bienvenue dans la nouvelle dimension spectrale.

Sommaire

Grand entretien.....	4
Professeur Loic Bousel	
« Il y a de grands espoirs que l'IA donne de meilleurs résultats que l'analyse humaine dans le domaine spectral »	
2 ^{ème} Journée Francophone de l'IQon.....	10
Les ateliers d'imageries spectrales.....	10
Dépistage opportuniste de l'ostéoporose	11
« L'ostéodensitomètre et le scout de l'IQon produisent une image 2D spectrale »	
Veille scientifique.....	15
Une liste non exhaustive de publications des 3 derniers mois spécial double couche.	
Cas clinique.....	19
Veille Technologique.....	21
Une revue Post RSNA des différentes technologies spectrales actuellement sur le marché.	
Conclusion.....	23
Abonnements.....	23

Double Couche, le magazine de l'IQon

Rédacteur en chef : Jérôme Prat

Conception graphique : Jérôme Prat

Révisions : Philippe Coulon, Emilie Legay Crouzet, Jean-Claude Virollet

Remerciements au Professeur Loic Bousel, Service d'imagerie médicale, Hôpital de la Croix-Rousse, 103 Grande rue de la Croix Rousse, 69317 cedex 04 Lyon

Remerciements à Monsieur Alexis Laugerette.

Grand entretien

Professeur Loic Boussel

« Quand l'IA posera un diagnostic, il faudra d'abord garder notre esprit critique »

Professeur Loic Boussel est Chef du service de radiologie de l'hôpital Croix-Rousse Lyon (HCL). Au sein de l'Université de Lyon, il est impliqué dans la recherche en CT spectral et en Intelligence Artificielle sur les maladies cardio-vasculaires.



Professeur Boussel, la tradition pour l'interview est de faire la photo près de l'IQon. Ça va être difficile car il n'est pas encore dans votre service et arrivera seulement dans quelques mois. Par contre, vous l'utilisez à l'hôpital cardiologique. Pouvez-vous nous indiquer les apports de l'imagerie spectrale en imagerie cardiaque ?

L'apport de l'imagerie spectrale en imagerie cardiaque est double, pour l'analyse des vaisseaux d'un côté, et l'analyse du myocarde de l'autre.

Pour l'analyse des vaisseaux, l'utilisation de l'imagerie à basse énergie permet de diminuer la dose de produit de contraste injecté, ce qui est important de manière générale mais surtout chez les malades qui ont une fonction rénale ou cardiaque limite.

Pour l'étude du myocarde, c'est également extrêmement intéressant, puisque sur l'imagerie au temps précoce, nous pouvons détecter plus facilement des hypo perfusions myocardiques. Pour les urgences, même avec une imagerie des coronaires imparfaites, cette analyse du myocarde permet d'identifier une zone ischémique et de poser le diagnostic de syndrome coronarien aigu.

Et sur l'imagerie cardiaque au temps tardif, le grand avantage est de ne plus faire l'acquisition à 80kV comme on le faisait précédemment. Avant nous étions contraints d'utiliser cette énergie à 80kV pour nous rapprocher de l'effet photoélectrique de l'iode et ainsi mieux visualiser la distribution de l'iode, mais cela génèrait un rapport signal sur bruit très mauvais. Avec l'IQon, l'imagerie au temps tardif est à 120kVp, ce qui permet d'avoir un bon rapport signal sur bruit. Sur les images mono-énergétiques à 40/45keV nous retrouvons une très bonne visualisation des prises de contraste notamment dans les myocardites et les infarctus non perfusés.

Quelle est votre expérience pour la recherche des embolies pulmonaires ?

L'intérêt est d'abord avec l'examen des artères pulmonaires moyennement réussi. L'utilisation des bas mono E permet un meilleur diagnostic. Les basses énergies rehaussent le contraste iodé de manière très impressionnante dans les vaisseaux pulmonaires.

« ... en cardio pédiatrie, l'intérêt de travailler sur l'IQon est multiple »

Nous analysons systématiquement la perfusion des poumons en Z effectif ou carte d'iode. J'utilise principalement le Z effectif qui permet de détecter les petites embolies pulmonaires. Ce qui est très intéressant pour comprendre pourquoi le patient a une

douleur thoracique. Nous pouvons mettre en évidence des petits infarctus distaux qu'on ne détectait pas autrement, et relier la douleur à la pathologie en cours.

Quel intérêt de travailler sur l'IQon en cardio pédiatrie ?

L'intérêt est multiple. D'abord la diminution du produit de contraste comme évoqué précédemment. Egalement la diminution de l'irradiation dans la mesure où en cardiopédiatrie, nous faisons souvent un temps moyen pour la réalisation du scanner afin d'avoir une opacification globale dans le même temps. Ce qui pose problème car les opacifications ne sont pas optimales. Nous sommes alors amenés parfois à faire deux passages comme dans les anastomoses cavo-pulmonaires.

Avec l'IQon, nous réalisons un seul passage et nous pouvons adapter le contraste directement sur l'image avec la réglette des keV. Nous améliorons nettement la visualisation des vaisseaux et des structures cardiaques ce qui est particulièrement important dans ce domaine.

Depuis quelques temps, tous les constructeurs communiquent sur l'intégration de l'Intelligence Artificielle (IA) dans leurs systèmes. Quel conseil donneriez-vous pour ne pas confondre intelligence artificielle et intelligence superficielle ?

De quel type d'IA parlons-nous ? Le marketing intensif et extensif sur l'Intelligence Artificielle est difficilement compréhensible. Le mot IA est peut-être apparu plus vite que les vrais algorithmes et finalement c'est un peu inquiétant. Si un logiciel contient de

« Le mot IA est peut-être apparu plus vite que les vrais algorithmes »

l'IA, nous avons besoin de savoir un certain nombre de choses avant de nous y fier ou pas, notamment sur quelle population il a été entraîné, quels sont les objectifs du logiciel ? Par exemple, il sait détecter quelque chose mais sait-il détecter autre chose ? Pour quelle tâche a-t-il été entraîné ? nous avons un besoin de validation supplémentaire. Il est très

probable qu'un logiciel entraîné sur des modèles aux États-Unis, ne donne pas le même résultat que s'il l'avait été validé en Chine.

Quand on propose un logiciel basé sur de l'IA, il est absolument nécessaire de fournir au radiologue des informations complémentaires sur la population entraînée et la validation clinique.

Vous avez récemment publié un article¹ sur une nouvelle approche en Deep Learning grâce à l'imagerie spectrale rétrospective de l'IQon. Quelles ont été vos motivations ?

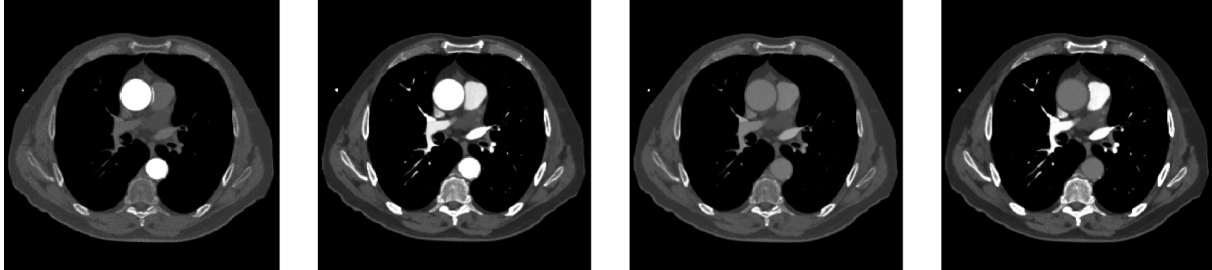
Il y a plusieurs façons de travailler avec l'IA. Nous travaillons sur la partie extraction des biomarqueurs.

L'idée a été la suivante : actuellement, quand on réalise un scanner standard, nous avons beaucoup d'informations qui représentent des biomarqueurs de pathologie que nous exploitons mal car nous ne sommes pas capables de les quantifier. Typiquement, si l'on réalise un scanner à un patient jeune car il tousse et que nous trouvons des calcifications sur ses artères coronaires, ce patient sera certainement plus à risque de

¹ Spectral CT Based Training Dataset Generation and Augmentation for Conventional CT Vascular Segmentation Lartaud PJ., Rouchaud A., Rouet JM., Nempoint O., Boussel L. (2019) In: Shen D. et al. (eds) Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention – MICCAI 2019. MICCAI 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11765. Springer, Cham

faire un infarctus et il sera plus urgent qu'il arrête de fumer et qu'on s'intéresse à son métabolisme (cholestérol, diabète), que le même patient qui a zéro calcification coronaire.

Ou encore, pour deux patients diabétiques qui ont la même ancienneté de diabète, si un des deux patients a beaucoup de calcifications coronaires ou aortique, faudra-t-il lui donner le même traitement qu'à l'autre qui n'en a aucune ?



Différentes reconstructions monoE virtuelles à partir d'une seule coupe CT spectrale

Pour répondre à ces questions, l'IA pourra détecter et quantifier ces biomarqueurs afin d'avoir un phénotypage du patient. Celui-ci pourra être comparé à l'avenir du patient.

Pour cela il convient de disposer de grosses bases de données sur lesquelles extraire plusieurs paramètres comme l'aorte, les calcifications, les volumes de chaque cavité cardiaque qui sont chacun des facteurs de risque d'une pathologie donnée, les diamètres aortiques, où la quantité de graisse médiastinale.

L'objectif est d'entraîner une IA pour segmenter les biomarqueurs et les quantifier, puis regarder ce qui est advenu au patient, afin d'avoir une valeur pronostique ou une amélioration des thérapies pour ces malades.

Les résultats des modèles dépendent principalement de la qualité et de la représentativité de l'ensemble des données. Quel est l'intérêt de l'imagerie spectrale ?

Sur la publication mentionnée, nous décrivons l'analyse de l'aorte comme exemple de biomarqueur. Pour qu'une IA fonctionne, il faut qu'elle ait vu un peu toutes les variations possibles dans les images. Il y a les variations anatomiques, sur lesquelles nous ne pouvons pas grand-chose, seulement avoir une base de population suffisamment représentative et tirée au hasard.

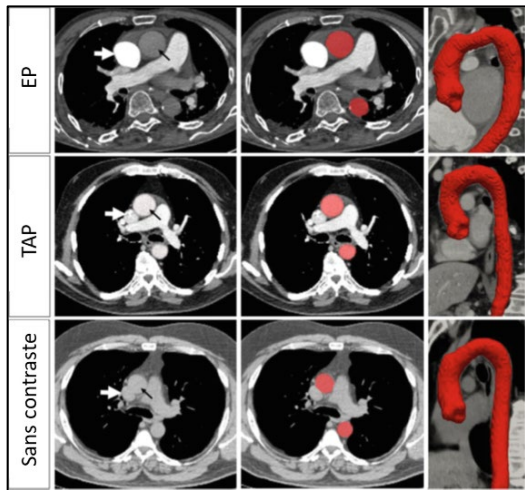
« Mathématiquement, la donnée spectrale ajoute une dimension supplémentaire »

Par contre, un des principaux facteurs de variation est l'injection ou non du produit de contraste et la quantité de contraste dans les différentes structures. Pour contrôler cette variation et avoir les

informations sur les différents temps d'injection, il faut entraîner l'IA sur des scanners sans injection, des scanners avec injection au temps artériel pulmonaire, au temps artériel aortique, au temps portal, au temps tardif. Cette contrainte multiplie significativement le nombre des données dont nous avons besoin pour entraîner la machine.

L'idée avec les images de l'IQon est de segmenter manuellement les images uniquement sur des scanners injectés, ce qui fait un jeu de données de scanners injectés, un jeu d'aortes détournées et, pendant l'entraînement de la machine, on lui

passe de façon aléatoire, soit l'image en UH, soit l'image VNC, soit des images mono E à bas keV ou haut keV qui « simulent » un scanner fortement ou peu injecté. Cette méthode requiert un plus petit nombre d'exams et de reconstruire comme si on avait acquis un grand nombre d'exams. C'est un réel avantage car il serait impossible de retrouver suffisamment de scanners avec toutes ces variations-là, tandis que rétrospectivement avec les données acquises sur l'IQon, nous simulons les différentes situations d'injection.



Est-il envisageable d'utiliser cette méthode pour d'autres segmentations ? Quel serait l'intérêt de la donnée spectrale ?

Nous pouvons utiliser d'abord la méthode pour entrainer des algorithmes à segmenter une structure sur des scanners standards. L'avantage d'utiliser toutes les données fournies par l'IQon permet l'accès à une dimension supplémentaire (spectrale) qui se traduit par la création des différents mono E ou autres cartographies.

Mathématiquement, la donnée spectrale ajoute une dimension supplémentaire dans les données qui ne sont plus 3D mais désormais 4D. Quand on entraine la machine avec une dimension supplémentaire, c'est plus facile pour elle de travailler ensuite sur des données avec la dimension du dessous. Nous sommes plus à l'aise pour entrainer l'algorithme avec 4 dimensions, ainsi il sera plus à l'aise pour travailler sur des modèles de dimension inférieure.

Nous pourrions également nous intéresser à d'autres matériaux ?

La seconde approche serait d'utiliser le spectral pour extraire d'autres paramètres mais qui ne fonctionneront qu'avec des paramètres de scanner spectral, et typiquement s'intéresser à d'autres matériaux, à d'autres choses.

Avec l'IA, nous avons de la chance car si on lui met en entrée deux phénomènes : l'effet Compton et l'effet photo électrique, une carte d'iode et une carte d'eau, deux mono E différents, « deux dimensions spectrales », l'IA va se débrouiller pour combiner ces informations de façon à optimiser la tâche pour laquelle on l'entraîne.

Humainement, pour comprendre une carte d'iode, nous avons besoin que celle-ci représente l'iode physiquement. Mais peut-être qu'il serait aussi intéressant d'aller regarder autre chose que l'iode, un matériau qui n'existe pas réellement (une sorte de « faux iode ») qui pourrait atténuer un petit peu plus ou un petit peu moins que l'iode mais dont l'utilisation permettrait à l'algorithme de mieux répondre au final.

Prenons l'exemple de la récente publication sur le Black Blood dont l'objectif était de supprimer le signal de la lumière sur des scanners injectés afin de mieux analyser la paroi de l'aorte. Nous n'avons pas regardé une carte d'iode, ni une carte de sang mais nous avons regardé la carte exacte du matériel composite à l'intérieur de l'aorte sur la coupe sur laquelle on voulait la suppression. Ce matériau n'est pas constant, il est variable d'une acquisition à l'autre mais l'idée était différente : nous ne voulions pas quantifier un matériau mais augmenter un contraste, sortir une information sur la paroi

artérielle. L'IA pour cela, regroupera, testera et accomplira beaucoup plus rapidement et à une autre échelle toutes les tâches que nous avons dû faire manuellement et laborieusement.

Un autre exemple est le problème des calcifications hétérogènes et sur lesquelles n'existe pas de seuil unique pour les détecter et les quantifier. L'IA peut tester tous les seuils possibles et même de façon non linéaire. L'humain veut que le seuil soit une

« Sur l'IQon..., c'est un réel avantage car il serait impossible de retrouver suffisamment de scanners avec toutes ces variations »

droite mais ce n'est pas toujours le cas. Les variables peuvent être la densité de la calcification, la taille de la calcification. Dans ce cas, nous avons grand intérêt à indiquer à

l'IA toutes les informations spectrales nécessaires et de laisser faire la recombinaison dont elle a besoin pour réaliser la tâche spécifique.

Evidemment cela ne fonctionnera que sur l'imagerie spectrale, et dans ce domaine, il y a de grands espoirs que l'IA donne de meilleurs résultats que l'analyse humaine.

Les réseaux de neurones sont généralement impénétrables pour les observateurs avec la fameuse boîte noire. « Nous savons comment ils sont construits et nous connaissons les données qui entrent, mais les raisons pour lesquelles certaines conclusions sont tirées sont généralement inconnues² ». Cette remarque est de G Hinton, un des spécialistes du DL et membre de l'équipe Google Brain.

Qu'en pensez-vous ?

Il a complètement raison. Mais, pour sourire, est-ce qu'aujourd'hui Philips serait prêt à nous communiquer le détail des algorithmes qui tournent dans l'IntelliSpace Portal pour comprendre les conclusions de certains résultats ?

En médecine, nous devons toujours être capables de contrôler le résultat. L'effet « boîte noire » sur de la segmentation sera très limité et facile à contrôler. Quand l'IA posera un diagnostic, il faudra d'abord garder notre esprit critique. Nous faisons le même constat actuellement avec les CAD ou il y a une étape de validation humaine. L'avantage de l'IA sera certainement de gager en rapidité pour accomplir les tâches fastidieuses.

Je ne pense pas que pour les tâches de segmentation et de détection, il y ait une vraie modification de la façon dont nous raisonnons et utilisons les algorithmes. Si nous avons des taux de sensibilité important, nous gagnerons certainement du temps. Pour les diagnostics, l'affichage des cartes de probabilité permettra à l'utilisateur d'avoir un degré de confiance dans le résultat donné. Si la machine hésite sur une pathologie, il nous sera très important de le savoir. Par contre, nous devons encore inventer l'interaction entre les résultats de l'IA et l'utilisateur.

La boîte noire sera certainement plus critique dans la reconstruction car nous n'avons aucun moyen de savoir si les résultats générés par l'IA sont bons ou pas, par exemple de savoir si ce sont les bonnes unités Hounsfield qui sont affichées. Il est difficilement imaginable d'avoir des UH affichées avec une carte de probabilité. Malgré tout je pense

² G.Hinton, *JAMA*. 2018;320(11):1101-1102. doi:10.1001/jama.2018.11100

qu'il va y avoir un vrai progrès avec ces méthodes de reconstruction mais cela demandera du temps et nécessitera une étape de validation importante.

La disponibilité des données de santé nécessaires à l'apprentissage des modèles algorithmiques est rendue complexe, notamment en Europe, avec la nouvelle réglementation générale sur la protection des données (RGPD, ou encore GDPR, de l'anglais General Data Protection Regulation). Quel est votre sentiment ?

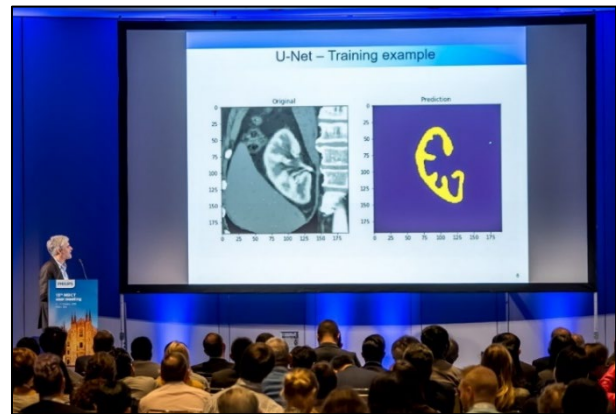
Le RGPD est une très bonne chose car en tant que citoyen il nous protège globalement de ce qui peut être intrusif dans notre vie digitale.

Pour faire des travaux de recherche ou vouloir entraîner des algorithmes on peut tout à fait le faire en accord avec le RGPD. Il y a eu un petit temps d'adaptation pour comprendre ce qui est possible de faire ou pas, mais finalement ceci nous a permis de faire évoluer nos procédures dans le bon sens.

Le développement de l'IA en France semble avancer moins vite que dans d'autres pays. Quelle différence pouvez-vous constater ?

La Chine a décidé de mettre beaucoup d'argent pour développer l'IA. Les Etats-Unis et l'Allemagne également. Il est clair que la France est en retard malgré les récents efforts du gouvernement.

A partir du moment où il y a beaucoup de moyens, cela permet de payer les gens qui construisent les bases de données, puis attirer des chercheurs qui vont travailler avec l'IA pour construire les algorithmes. La différence est une volonté gouvernementale sur l'orientation des recherches.



Merci Professeur Bussel pour le temps accordé à ce grand entretien. Nous vous retrouverons lors de la Journée Francophone de l'IQon le 2 avril à la Pitié-Salpêtrière et pour les cours en imageries spectrales les 23 et 24 juin prochains à Lyon. Pour conclure, pouvez-vous nous dire quelques mots sur les prochaines évolutions en imagerie scanographique ?

Effectivement, à côté de l'IA, il y a des énormes enjeux d'amélioration des acquisitions et des capacités spectrales des scanners. Le SPCCT (spectral photon counting CT) sur lequel nous travaillons au CERMEP va aller plus loin, en exposant beaucoup moins les patients aux rayons X, en améliorant grandement la résolution spatiale (les pixels seront divisés par 3), et en accédant à une meilleure résolution spectrale grâce à la possibilité de rajouter pour certains matériaux un 3^{ème} phénomène physique, l'effet k-Edge.

Les Arcs, le 11 janvier 2020. Propos recueillis par Jérôme Prat. Photo Professeur L. Bussel.

Version imprimée et digitale

2^{ème} Journée Francophone de l'IQon – Paris

Programme préliminaire – Jeudi 2 avril 2020
APHP Pitié-Salpêtrière

09h30 - Accueil des participants

09h45 – 10h00 : **Introduction** – Direction Philips France

10h00 – 10h20 : **Innovation technologique** – P.Coulon (Director CT Clinical Science Radiology)

10h20 – 10h40 : **Le pancréas dans un état spectral** - Dr.Wagner (APHP)

10h40 – 11h00 : **L'imagerie digestive en haut contraste** - Pr.Lucidarme (APHP)

11h00 – 11h10 : **La carte de densité électronique** - A.Vlassenbroek (Clinical Scientist Belgium)

11h20 – 11h40 : **L'imagerie digestive en bas contraste** - Pr.Danse (UCL)

11h40 – 12h00 : **L'imagerie de l'IQon pour l'appareil urinaire** - Pr. Renard Penna (APHP)

12h00 – 12h20 : **L'IQon au cœur du CHINA** - Dr.Cart (CH Charleville)

Pause Déjeuner

13h20 – 13h40 : **Nouveaux enjeux médico économiques de l'IQon** – A.Michaud (Philips)

13h40 – 14h00 : **Intérêt de l'imagerie spectrale en cardiovasculaire** - Dr. Si-Mohamed/Pr Douek (HCL)

14h00 – 14h20 : **Apports du CT spectral dans la caractérisation des incidentalomes** - Pr. Coche (UCL)

14h20 – 14h30 : **La carte de Calcium Suppression** - A.Vlassenbroek (Clinical Scientist Belgium)

14h30 – 14h50 : **L'imagerie de la moelle osseuse avec la carte de calcium suppression** - Dr. Grijseels (CH Charleville)

14h50 – 15h10 : **CT imaging of ischaemic brain penumbra using spectral processing of triphasic CTA** - A. Vlassenbroek

15h10 – 15h30 : **Intelligence Artificielle et données spectrales** – A.Vlachomitrou (Responsable recherche GOPI) / O.Nempont, G Pizaine (Recherche Medisys)

15h30 – 15h50 : **Deep learning : scanner et IQon** - Pr. Bussel (HCL)

15h50 – 16h30 : **L'IA : mythes et réalités** - Pr. Valette (HCL)

16h30 – 16h45 : **Conclusion** - Philips France



Atelier d'Imageries Spectrales – Lyon



Cours pratique complet sur le nouveau scanner spectral à double couche. Ce cours intensif d'une journée et demie est destiné aux radiologues et manipulateurs intéressés par la TDM spectrale.

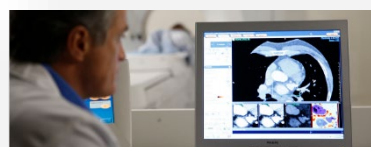
La TDM spectrale à double couche est une nouvelle technologie passionnante qui fournit des informations spectrales à tous les patients. Ce cours est destiné aux nouveaux et futurs utilisateurs de Spectral CT et aborde les concepts de base ainsi que les applications cliniques à travers le corps.

23/24 juin 2020

Philippe Douek, MD, PhD

Loïc Bussel, MD, PhD

Renseignements et inscriptions auprès de
veronique.ficagna@chu-lyon.fr



Scout toujours !



Entretien avec Alexis Laugerette, ingénieur et avant tout spécialiste en physique médicale. Alexis a commencé ses recherches avec l'IQon lors de son mémoire de Master, réalisé à l'Université Technique de Munich (Allemagne). Il s'est depuis passionné pour la technologie double-couche et les nouvelles technologies du domaine de la santé. Ses recherches sur les mesures de densité minérale osseuse (DMO) à l'aide de l'IQon ont donné lieu à plusieurs articles scientifiques et présentations lors de conférences nationales et internationales.

Aujourd'hui, zoom sur une approche novatrice : déterminer la DMO à l'aide des topogrammes générés par l'IQon, aussi appelés scouts ou survie – ces images acquises à bas courant et basse résolution avant chaque protocole, pour planifier la zone exacte à scanner.

Pourquoi l'idée d'évaluer un facteur de risque de l'ostéoporose à partir d'un simple scout ?

L'idée vient d'abord d'un constat très simple : la ressemblance frappante entre un modèle classique d'ostéodensitomètre (aussi appelé absorptiomètre biphotonique à rayons X, ou DXA) et le scout acquis avec le scanner spectral IQon. En effet, les deux modalités produisent une image 2D (frontale) et surtout spectrale (basse et haute énergie), par différentes technologies. A partir de ces deux images, des calculs de décomposition permettent d'estimer la densité minérale osseuse (DMO) à différents sites de mesures, typiquement les vertèbres lombaires et l'extrémité supérieure du fémur. Côté technique, l'ostéodensitométrie utilise le plus souvent de fins faisceaux de rayons X alternants à

« Le principe reste le même qu'en ostéodensitométrie »



Exemples de scouts conventionnels comparés à leur décomposition à deux matériaux

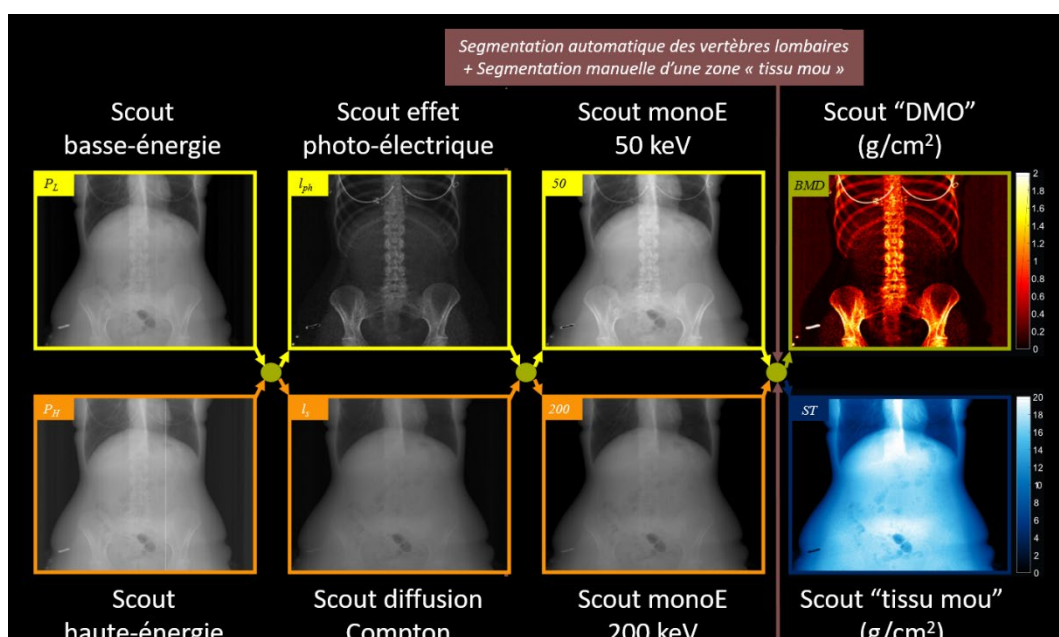
basse et haute énergie, qui parcourent la zone à évaluer et génèrent l'image spectrale à l'aide d'un détecteur classique. Le patient est en général allongé sur la table de mesure. Pour l'acquisition d'un scout avec le scanner IQon, la décomposition se fait au niveau du détecteur et non de la source de rayons X, mais le principe peut rester le même qu'en ostéodensitométrie.

Quelles sont les raisons cliniques pour se lancer dans un tel sujet de recherche ?

L'ostéodensitométrie reste la modalité n°1 en matière de dépistage et de diagnostic de l'ostéoporose. Malheureusement, cette modalité, même si elle est peu coûteuse, n'est que peu répandue dans la majorité des pays européens. Les raisons en sont notamment la disponibilité limitée des appareils, la faible sensibilisation à l'utilité des tests de DMO, ou encore le remboursement limité voire inexistant. Par conséquent, seules les personnes dites « à risque » sont en règle générale dirigées vers l'ostéodensitométrie, laquelle ne fait souvent que le constat d'une ostéoporose déjà supposée ; ce qui rend le traitement d'autant plus long. De plus, il faut savoir que, actuellement, près de 80%³ des patients présentant une fracture ostéoporotique n'ont pas été identifiés ni traités auparavant. Pourtant, la densité minérale osseuse est un véritable facteur de risque de l'ostéoporose, parmi d'autres facteurs génétiques ou liés au mode de vie. Son évaluation opportuniste peut donc permettre une identification plus précoce des sujets concernés.

Pourrions-nous envisager un dépistage opportuniste de cette maladie qui touche près de 28 millions d'individus dans l'union européenne ?

Oui ! La méthode que nous avons développée à Munich nous permet d'analyser les scouts générés par l'IQon d'une manière similaire à ce que sait faire un appareil d'ostéodensitométrie. Si le scout est réalisé au niveau du rachis lombaire ou de la



Génération d'une décomposition "os/tissu mou" à partir d'un scout spectral

³ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14984358/>; <https://www.iofbonehealth.org/facts-statistics>

hanche, typiquement pour des scans de l'abdomen et du bassin, alors nous pouvons lancer l'analyse, et l'algorithme en question nous permet d'extraire des mesures de densité osseuse surfacique. La méthode est donc complètement opportuniste, pourvu qu'un scout soit à disposition et que quelques critères soient respectés, comme l'absence de produits de contraste administrés par voie orale – il est à noter que nous pouvons en revanche très bien travailler avec les produits de contraste administrés par voie intraveineuse, car ceux-ci sont injectés après le scout !

Des articles scientifiques sont parus depuis, pouvez-vous nous en dire plus ?

Les premiers résultats obtenus sur des fantômes standards ont montré que la précision et la linéarité du système sont comparables aux performances d'un ostéodensitomètre. Il en est de même pour des mesures effectuées à différents niveaux de courant sur ces

« Un signal lumineux en cas d'anomalie »

fantômes, ce qui rendrait possible l'évaluation pour les patients en surpoids. En ce qui concerne les mesures sur des sujets humains, les premiers résultats sont très encourageants. Nous souhaitons également relier ces résultats à la présence de fractures ostéoporotiques et générer des statistiques permettant d'approcher les T-scores utilisés en ostéodensitométrie, afin de rendre le dépistage plus fiable en le basant sur des écarts statistiques et non sur des valeurs absolues de DMO.

L'une des questions qui interpelle nos lecteurs est la simplicité d'utilisation de la méthode. Avez-vous des outils pour gérer cela ?

L'algorithme d'analyse que nous avons développé demande très peu d'interactions, et peut facilement être automatisé pour ne nécessiter aucune interaction du technologue. Ainsi, un signal d'avertissement sonore ou lumineux pourrait être affiché après le scout si une anomalie de DMO a été estimée. Le sujet pourrait ensuite être orienté vers une technique d'évaluation appropriée (DXA) pour confirmer ou infirmer le diagnostic et être traité en conséquence. Il pourrait même bénéficier d'une analyse de DMO en 3D à l'aide du scan suivant directement le scout, comme nous l'avons montré dans une autre publication. En considérant le nombre de scanners installés dans le monde et le nombre de scans réalisés chaque année, notre méthode pourrait ainsi favoriser un dépistage de l'ostéoporose à grande échelle.

Le scout est en général non utilisé malgré l'envoi de rayons X. Avec la technologie double couche, il semble que de nouvelles opportunités aient vu le jour à partir de ce scout ?

En effet, le scout obtenu par un scanner conventionnel reste en général non-utilisé et à notre connaissance, notre méthode est la première de son genre à s'intéresser à ce type d'images, qui pourtant sont générées avant chaque scan. Ce n'est pas une surprise, car logiquement, seule la technologie double-couche, où l'acquisition des deux images spectrales est simultanée, permet de réaliser ces analyses sans augmenter ni la dose, ni le nombre de scans nécessaires, ni la durée de l'examen. Notre méthode est aussi la

première à livrer une mesure de DMO équivalente à l'ostéodensitométrie lors d'un scan de routine. Il faut noter que le scout conventionnel ne délivre pas à ce jour pas d'information clinique, mais il est pourtant « obligatoire » et responsable d'une part non-négligeable de la dose totale absorbée associée à un scan. Ainsi, notre travail fait un meilleur usage de la dose appliquée car il livre des informations « bonus », complètement gratuites puisque les images sont acquises dans tous les cas.

Un meilleur usage de la dose avec des informations bonus complètement gratuites

Nous pourrions imaginer d'autres informations bonus, peut-être d'autres décompositions ? Pouvez-vous nous en dire plus ?

Bien évidemment, nous pouvons imaginer d'autres applications opportunistes à ces travaux basés sur des images 2D, et en particulier sur des images spécifiques aux matériaux décomposés comme le calcium. Nous avons montré à l'aide de quelques exemples que le scout latéral, visualisé en décomposition « os/eau », pouvait souligner la présence de fractures vertébrales et permettre d'estimer leur sévérité plus facilement que sur le scout conventionnel. De même, le scout frontal peut aussi être utilisé pour détecter automatiquement des calcifications, par exemple les phlébolithes pelviens ou les calculs rénaux.

Nous imaginons également d'autres décompositions à deux voire trois matériaux (oui, c'est possible !), pour reproduire d'autres mesures effectuées en densitométrie. C'est le cas par exemple pour étudier la composition du corps humain lors d'un scout corps entier, déterminant ainsi la masse grasse, masse maigre, et masse osseuse. Ceci permettrait par exemple de garder un œil sur une perte potentielle de masse maigre pouvant donner lieu à des faiblesses musculaires, ou sur une augmentation de masse grasse, pouvant causer des problèmes cardio-vasculaires. Les applications sont nombreuses !

Contact :

alexis.laugerette@orange.fr / alexis.laugerette@tum.de / <https://www.linkedin.com/in/alaugerette/>

Crédits images :

Alexis Laugерette / Klinikum rechts der Isar / Technische Universität München

Publication originale :

Laugерette, A., Schwaiger, B.J., Brown, K. et al. Eur Radiol (2019) 29: 4624. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-6005-6>

Propos recueillis par Jérôme Prat pour la revue double couche #9 - Version imprimée et digitale

Veille scientifique

Une revue non exhaustive des publications des 3 derniers mois.

Value of virtual monochromatic spectral image of dual-layer spectral detector CT with noise reduction algorithm for image quality improvement in obese simulated body phantom.

Kang HJ & al., *BMC Med Imaging*. 2019 Aug 28;19(1):76. doi: 10.1186/s12880-019-0367-8.

Le détecteur spectral à double couche CT (SDCT) peut offrir plusieurs avantages théoriques par rapport aux approches DECT préexistantes en termes de nombre d'échantillonnage, de modulation de dose, de correction de durcissement du faisceau et de production d'images spectrales par post-traitement. L'équipe constate un ratio contraste bruit amélioré, une réduction du bruit et une meilleure qualité d'image subjective dans l'imagerie du fantôme de foie obèse simulé par rapport aux images polychromatiques.



Dual-energy CT in the obese: a preliminary retrospective review to evaluate quality and feasibility of the single-source dual-detector implementation.

Atwi NE & al. *Abdom Radiol (NY)*. 2019 Feb;44(2):783-789. doi: 10.1007/s00261-018-1774-y

La mise en œuvre du détecteur spectral à source unique du scanner à double énergie fournit une imagerie viable et de haute qualité pour les patients obèses.

Venous-phase chest CT with reduced contrast medium dose: Utilization of spectral low keV monoenergetic images improves image quality.

Tilman Hicethier, Jan Robert Kroeger, Simon Lennartz, Jonas Doerner, David Maintz, De-Hua Chang, *Eur J Radiol*. 2019 Nov 21;122:108756. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2019.108756>

Dans cette étude, l'équipe étudie l'influence du MonoE, fait avec l'IQon CT, sur la délimitation des ganglions lymphatiques (LN) et la Qualité Image dans les examens CT thoraciques avec une dose de contraste significativement réduite (50%).

Low dose contrast CT for transcatheter aortic valve replacement assessment: Results from the prospective SPECTACULAR study (spectral CT assessment prior to TAVR).

Cavallo AU & al., *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2019 Jun 26. pii: S1934-5925(19)30182-0.

Dans cette étude, l'équipe démontre l'intérêt du 40 keV avec des faibles doses de contraste pour l'évaluation de l'arbre vasculaire et mesure des dimensions de la racine aortique en vue d'une procédure TAVR.

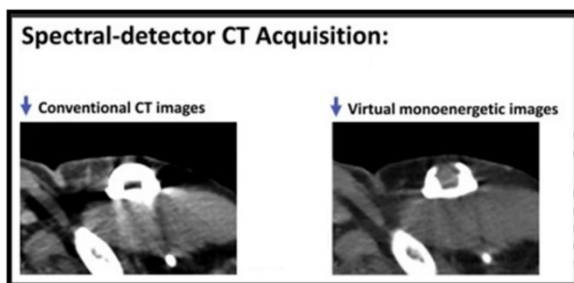
Evaluation of the liver with virtual non-contrast: Single institution study in 149 patients undergoing TAVR planning.

Laukamp KR, Ho V, Lennartz S3, Große Hokamp N, Zopfs D, Gupta A, Graner FP, Borggreffe J, Gilkeson R, Ramaiya N., *Br J Radiol.* 2019 Dec 11:20190701. DOI:10.1259/bjr.20190701

Le VNC s'est bien comporté dans une large cohorte d'examen TAVR donnant des atténuations moyennes équivalentes au TNC. L'application de cette technique peut être limitée dans une phase artérielle précoce du foie.

CT artifacts from port systems: Virtual monoenergetic reconstructions from spectral-detector CT reduce artifacts and improve depiction of surrounding tissue.

Laukamp KR & al. *Eur J Radiol.* 2019 Dec;121:108733. doi: 10.1016/j.ejrad.2019.108733.



Un VMI de keV plus élevé a permis une réduction significative des artefacts des systèmes portes autour de la chambre et du cathéter, ce qui a permis une meilleure évaluation des tissus mous environnants.

Dose independent characterization of renal stones by means of dual energy computed tomography and machine learning: an ex-vivo study.

Große Hokamp N, Lennartz S, Salem J, Pinto Dos Santos D, Heidenreich A, Maintz D, Haneder S. *Eur Radiol.* 2019 Nov 26. doi: 10.1007/s00330-019-06455-7

Une étude pour prédire la principale composante des calculs rénaux purs et mixtes à l'aide de la tomodensitométrie à double énergie et de l'apprentissage automatique.

Virtual non-contrast for evaluation of liver parenchyma and vessels: results from 25 patients using multi-phase spectral-detector CT.

Laukamp KR & al. *Acta Radiol.* 2019 Dec 19:284185119893094. doi: 10.1177/0284185119893094

La VNC (virtuel non contraste) des phases artérielle et veineuse était très similaire à la TNC (vrai non contraste), entraînant des différences d'atténuation, de bruit d'image et d'utilité diagnostique généralement négligeables.

Systematic Evaluation of Low-dose MDCT for Planning Purposes of Lumbosacral Periradicular Infiltrations.

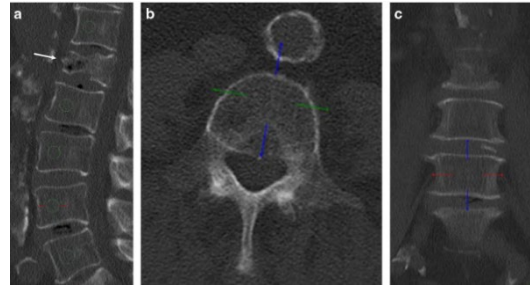
Sollmann, N., Mei, K., Schön, S. et al. Systematic Evaluation of Low-dose MDCT for Planning Purposes of Lumbosacral Periradicular Infiltrations. *Clin Neuroradiol* (2019) doi:10.1007/s00062-019-00844-7

L'utilisation de la détection spectrale à des fins de planification des infiltrations périradiculaires lombo-sacrées peut être possible avec des mA abaissés à 10% de la dose standard (égale à 10 mA) sans limitation de la fiabilité de la planification.

Bone mineral density measurements derived from dual-layer spectral CT enable opportunistic screening for osteoporosis.

Roski, F., Hammel, J., Mei, K. et al. *Eur Radiol* 29, 6355–6363 (2019)
doi:10.1007/s00330-019-06263-z

En conclusion, les mesures opportunistes de la Densité Minérale Osseuse (DMO) dérivées des examens cliniques DLCT sont fortement corrélées et montrent un accord substantiel avec les mesures de la DMO basées sur Quantitative CT. Cela suggère que des mesures opportunistes spécifiques peuvent être une alternative adéquate pour la détection précoce de patients présentant une faible densité minérale osseuse en routine clinique et peuvent soutenir des décisions thérapeutiques individuelles optimales.



Computed tomography pulmonary angiograms using a novel dual-layer spectral detector: Adjusted window settings are essential for diagnostic image quality.

Andra-Iza Iuga & al., *Medicine (Baltimore)*. 2019 Aug; 98(33): e16606. Published online 2019 Aug 16. *doi: 10.1097/MD.00000000000016606*

Le but de cette étude était de déterminer les paramètres de fenêtre optimaux pour les images polyénergétiques conventionnelles et monoénergétiques virtuelles dérivées des examens d'angiographie pulmonaire par tomodensitométrie (CTPA) d'un nouveau système de tomodensitométrie à détecteur spectral à double couche (DLCT).

Gold is a Complementary Contrast Agent for Spectral CT

Lewis, Matthew A., Nasr, Khaled A., Soesbe, Todd C.
<http://www.freepatentsonline.com/20190150861.pdf>

La présente invention d'une équipe de Dallas (US) concerne le domaine des agents de contraste, et plus particulièrement, l'utilisation de l'or comme agents de contraste complémentaires presque parfaits à 140 kVp avec un CT Spectral multi-détecteurs, par exemple le Philips IQon Spectral CT.

Ischemic Conditions of Lower Extremity Muscle – Alternative Method of Estimation Using Spectral Computed Tomography

Mitsuru Matsukura, Junji Mochizuki, Shinya Misawa, Yoshiki Hata (Japan)

Prise en charge d'une femme de 82 ans afin d'évaluer avec précision le statut ischémique de la jambe bilatérale. Intérêt de l'IQon Spectral CT et des scores calculés de fraction de volume extracellulaire. Plus d'explications cas clinique p19.

Machine Learning Approaches to Radiogenomics of Breast Cancer using Low-Dose Perfusion Computed Tomography: Predicting Prognostic Biomarkers and Molecular Subtypes.

Eun Kyung Park & al. (Korea), *Sci Rep.* 2019 Nov 28;9(1):17847. doi: 10.1038/s41598-019-54371-z.

Cette étude démontre qu'une approche d'apprentissage automatique de la radiogénomique utilisant la perfusion CT à faible dose est un outil non invasif utile pour prédire les biomarqueurs pronostiques et les sous-types moléculaires du cancer du sein invasif. La combinaison d'une technologie CT innovante et pratique et d'un modèle statistique robuste est un outil prometteur pour la radiogénomique des cancers du sein et peut aider à la stratification des risques et à un traitement précis.

Evaluating the temporomandibular joint disc using calcium-suppressed technique in dual-layer detector computed tomography

Zhang X. & al. (China), *J Int Med Res.* 2019 Dec 18;300060519891332. doi: 10.1177/0300060519891332

Cette étude montre l'intérêt des images sans calcium (CaSupp) de l'IQon Spectral CT dans l'évaluation des disques de l'articulation temporo-mandibulaire (TMJ).

CT dose optimization for the detection of pulmonary arteriovenous malformation (PAVM): A phantom study.

Greffier J, et al. *Diagnostic and Interventional Imaging* (2020), <https://doi.org/10.1016/j.diii.2019.12.009>

Basée sur une évaluation d'un indice de détectabilité calculé pour la détection des malformations artério veineuses pulmonaires (PAVM), une réduction significative de la dose effective, jusqu'à 91%, peut être atteinte pour la détection de PAVM. Cette étude serait la première à valider le potentiel d'un protocole CT thoracique ULD sur un fantôme, pour le diagnostic de PAVM dans 3 situations cliniques différentes (dépistage, suivi de PAVM non traité et suivi de PAVM traité). Sur la base de ces résultats préliminaires sur les fantômes, un essai clinique prospectif sera lancé

Evaluation of lumbar intervertebral disc degeneration using dual energy CT virtual non-calcium imaging

Yuki Shinohara & al., *Eur J Radiol.* 2020 Jan 8;124:108817. doi: 10.1016/j.ejrad.2020.108817

L'imagerie VNca acquise par un seul balayage DECT et post-traitement a un potentiel en tant que biomarqueur d'imagerie de la dégénérescence du disque intervertébral lombaire.

Metal artifacts from sternal wires: evaluation of virtual monoenergetic images from spectral-detector CT for artifact reduction

Laukamp KR & al. *Clinical Imaging* 2020 Jan 8, <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2019.12.018>

Les images monoénergétiques virtuelles à haut keV ont permis de réduire considérablement les artefacts des fils sternaux et d'améliorer l'évaluation des structures environnantes.

Usefulness of Virtual Monochromatic Dual-Layer Computed Tomographic Imaging for Breast Carcinoma.

Inoue T & al. *J Comput Assist Tomogr.* 2020 Jan/Feb;44(1):78-82.

Les analyses qualitatives et quantitatives ont montré que la qualité d'image des IMV à 40 keV était significativement supérieure à celle des images CT conventionnelles.

Cas Clinique

Evaluation précise du statut ischémique de la jambe bilatérale. Intérêt de l'IQon Spectral CT et des scores calculés de fraction de volume extracellulaire.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/circrep/1/12/1_CR-19-0083/_html/-char/en

La patiente, une femme de 82 ans qui avait été traitée pour une fibrillation auriculaire, a présenté à l'hôpital une douleur bilatérale soudaine aux jambes. L'angiographie par tomodensitométrie a indiqué une embolisation des artères bilatérales des membres inférieurs et le patient a été diagnostiqué avec une ischémie aiguë des membres.

Afin d'évaluer avec précision le statut ischémique de la jambe bilatérale, l'IQon Spectral CT a été utilisé et des scores de fraction de volume extracellulaire (ECV) ont été calculés.

En calculant le score ECV, nous avons réussi à distinguer objectivement l'état nécrotique du muscle. L'ECV des membres inférieurs a été calculé comme suit: $ECV (\%) = (1 - \text{hématocrite}) \times (\Delta HUm / \Delta HUb) \times 100$, où ΔHUm est l'atténuation de superposition des muscles des membres inférieurs et ΔHUb est l'atténuation de superposition du sang en tissu normal.

Le score ECV de la cuisse gauche était bien conservé tandis que celui de la zone sous le genou était nettement détérioré. Une amputation au-dessus du genou a donc été réalisée sous la direction de cette carte.

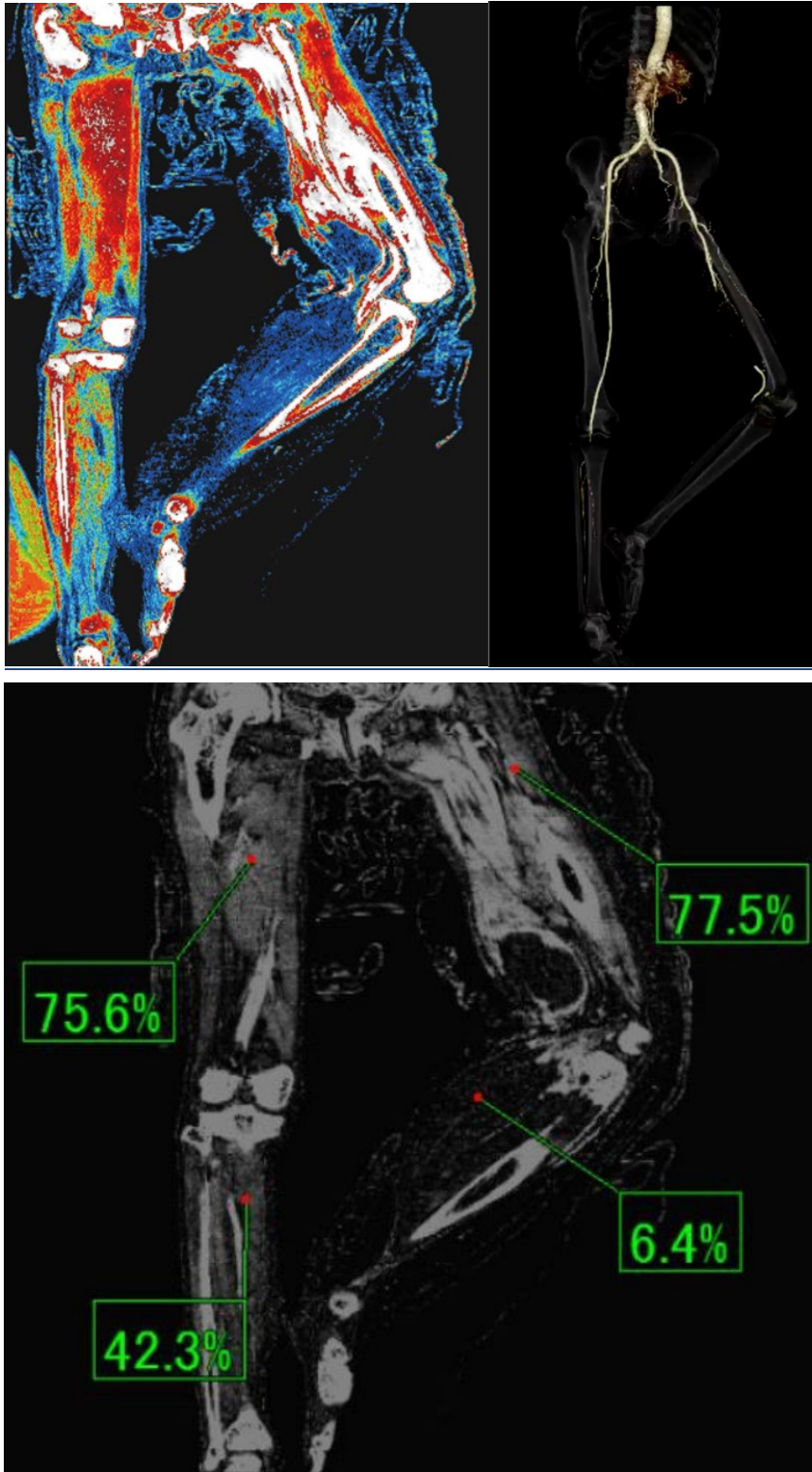


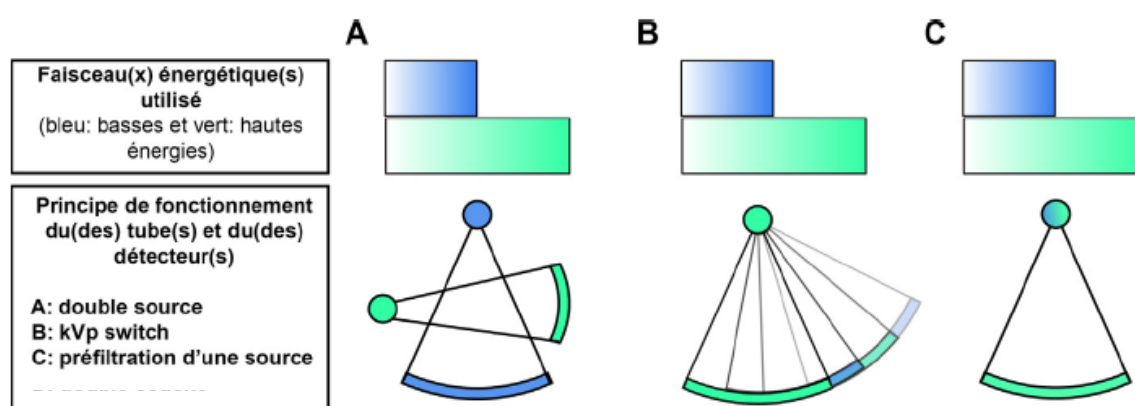
Image coronale des membres inférieurs bilatéraux. Pour l'extraction de la fraction de volume extracellulaire (ECV), les régions d'intérêt (ROI) ont été dessinées manuellement dans chaque segment des membres inférieurs avec un logiciel dédié. Chaque muscle est coloré en fonction du score ECV calculé: rouge, score ECV > 90%; bleu, score ECV < 10%; vert, score ECV 30–50%.

Veille Technologique

Comme toutes innovations, il est important de savoir différencier les multiples technologies actuelles permettant un accès à l'imagerie spectrale.

Pour cette veille technologique, nous comparerons à la technologie Double Couche de l'IQon, seulement l'approche double source de Siemens et rapid Kv-switching de GE et Canon. D'autres solutions sont disponibles (slow Kv-switching, Twin-beam, spin-spin), et seront discutées dans la revue Double Couche #10. L'approche par soustraction⁴ nécessitant l'acquisition de 2 séries pré et post contraste ne sera pas non plus abordée dans ce chapitre.

Approches disponibles du scanner à double énergie à émission⁵



Différenciation schématique des différents systèmes à double émission

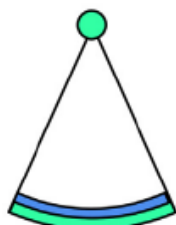
Système DECT à émission	Dual-source DECT (DSCT) - A	Rapid-kVp-switching DECT - B	Split-beam DECT - C
Principe	Deux paires tube-détecteur sont décalées d'environ 90° l'une par rapport à l'autre	La tension du tube change rapidement entre les kVp bas et élevés	La moitié de la sortie du tube est filtrée (dans la direction z) et les rangées de détecteurs correspondantes sont lues séparément
Considération technique	<ul style="list-style-type: none"> Tension des tubes ajustables Possibilité de combiner les deux tubes en mode mono-énergie pour des combinaisons rapides Compensation spatiale entre les acquisitions Décomposition de base dans le domaine de l'image uniquement 	<ul style="list-style-type: none"> Peut être utilisé en mode mono-énergie Décalage temporel entre les acquisitions Décomposition de base après interpolation angulaire dans le domaine de projection 	<ul style="list-style-type: none"> Peut être utilisé en mode mono-énergie Grand décalage spatial et temporel entre les acquisitions Décomposition de base dans le domaine de l'image uniquement

⁴ Canon propose cette approche et emploie les termes de Substraction Iodine Mapping.

⁵ Si-Mohamed SA, et al. Tomodensitométrie spectrale : de la double énergie à la multi-énergie. Journal d'imagerie diagnostique et interventionnelle (2019), <https://doi.org/10.1016/j.jidi.2018.11.004>

Considération clinique	<ul style="list-style-type: none"> • Obligation de décision prospective sur le protocole (concernant le DECT) • Les informations DECT ne sont pas disponibles rétrospectivement • Compromis dose / qualité d'image pour les images conventionnelles si acquises en DECT 	<ul style="list-style-type: none"> • Obligation de décision prospective sur le protocole (concernant le DECT) • Les informations DECT ne sont pas disponibles rétrospectivement • Pas de modulation de dose en mode double énergie 	<ul style="list-style-type: none"> • Obligation de décision prospective sur le protocole (concernant le DECT) • Les informations DECT ne sont pas disponibles rétrospectivement • Compromis dose / qualité d'image pour les images conventionnelles si acquises en DECT
-------------------------------	--	---	--

Approche disponible du scanner à détection spectrale



Système exclusif à double réception : IQon Spectral CT

Système spectral à détection	IQon Spectral CT
Principe	Deux couches de détecteurs sensibles à des énergies différentes
Considération technique	<ul style="list-style-type: none"> • Informations DECT adaptées temporellement et spatialement • Décomposition de base dans le domaine de projection • Informations DECT disponibles pour tous les examens (y compris les défis liés aux exigences de calcul et de workflow) • Plus grand chevauchement entre les spectres énergétiques (par rapport aux autres approches DECT)
Considération clinique	<ul style="list-style-type: none"> • Pas besoin de décision prospective sur le protocole • Informations DECT obtenues pour chaque patient et disponibles rétrospectivement • Images conventionnelles sans compromis dose / qualité

Sur l'IQon Spectral CT, les informations spectrales sont acquises pour chaque acquisition dès 120 kVp, ce qui entraîne une augmentation significative des données (en termes techniques) et des informations d'images (en termes cliniques). Par rapport aux autres technologies DECT, l'IQon Spectral CT fournit une véritable image conventionnelle toujours disponible et utilisable en routine clinique, ce qui rend la prise en main et l'apprentissage beaucoup plus simple⁶.

⁶ Grosse Hokamp N, Maintz D, Shapira N, Chang DH, Noël PB. Technical background of a novel detector-based approach to dual-energy computed tomography. *Diagn Interv Radiol* 2019; DOI 10.5152/dir.2019.19136.

Conclusion

J'espère que ce numéro vous aura passionné autant qu'il a été passionnant à réaliser. L'IA est une science jeune, en devenir, dont le pouvoir de transformation de la radiologie semble considérable.

Mais n'anticipons pas, ces machines ont besoin d'apprendre sur différents modèles avant de planifier des actions complexes.

L'IQon, scanner 4D, ouvre une nouvelle dimension dans les données, ce qui facilite forcément l'entraînement de la machine vers de nouveaux algorithmes intelligents.

Des créations au service du radiologue de demain.

Abonnements Revue Double Couche

Vous souhaitez recevoir les prochains numéros. Complétez le formulaire ci-dessous et renvoyez-le par email à : jerome.prat@philips.com

Magazine Double Couche - Le magazine de l'IQon 

Nom* : Prénom* :

Etablissement* :

Adresse :

Code Postal* : Ville* :

Fonction* :

Adresse email* :

Téléphone :

*Champs obligatoires

Les précédentes revues sont disponibles à l'adresse suivante [Double Couche - Le Mag](#)





Le scanner iQon Spectral CT est un dispositif médical de classe IIb fabriqué par Philips et dont l'évaluation de la conformité a été réalisé par l'organisme notifié TUV Rheinland CE0197. Il est destiné au diagnostic médical par imagerie tomodensitométrie. Les actes diagnostiques sont pris en charge par les organismes d'assurance maladie dans certaines situations. Lisez attentivement la notice d'utilisation. Janvier 2020

Le système Philips IntelliSpace Portal et les logiciels qu'il intègre sont des dispositifs médicaux de classe IIa fabriqués par Philips et dont l'évaluation de la conformité a été réalisée par l'organisme notifié TUV Rheinland CE0197. Lorsqu'il est utilisé par du personnel qualifié, il fournit des informations utiles à l'établissement d'un diagnostic. Les actes diagnostiques sont pris en charge par les organismes d'assurance maladie dans certaines situations. Lisez attentivement la notice d'utilisation. Janvier 2020