



**HAL**  
open science

# A pilot study investigating the feasibility of using a fully automatic software to assess the RENAL and PADUA scores

Mathieu Carlier

## ► To cite this version:

Mathieu Carlier. A pilot study investigating the feasibility of using a fully automatic software to assess the RENAL and PADUA scores. Human health and pathology. 2021. dumas-03508311

**HAL Id: dumas-03508311**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03508311>**

Submitted on 3 Jan 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Université Côte d'Azur**

FACULTÉ DE MÉDECINE

**THÈSE D'EXERCICE DE MÉDECINE**

POUR LE

**DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE**

PAR

**Mathieu CARLIER**

Né le 30/09/1992 à Marseille

---

**ÉTUDE PILOTE ÉVALUANT L'UTILISATION D'UN LOGICIEL DE SEGMENTATION  
AUTOMATIQUE À PARTIR D'ANGIO-SCANNERS POUR LE CALCUL DES SCORES RENAL ET  
PADUA DANS LES CARCINOMES RÉNAUX**

---

SOUTENUE ET PRÉSENTÉE PUBLIQUEMENT À

**LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE NICE**

**LE 19 AVRIL 2021**

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE

Monsieur le Professeur Patrick BAQUÉ, Président du Jury

Monsieur le Professeur Daniel CHEVALLIER, Assesseur

Monsieur le Docteur Matthieu DURAND, Assesseur

Monsieur le Docteur Fabien LAREYRE, Directeur de Thèse

**Liste des enseignants au 1er novembre 2020 à la Faculté de Médecine de Nice**

**Doyen**

**Pr. BAQUÉ Patrick**

**Vice-doyens**

**Pédagogie  
Recherche  
Etudiants**

**Pr. ALUNNI Véronique  
Pr. DELLAMONICA Jean  
M. JOUAN Robin**

**Chargé de mission projet Campus**

**Pr. PAQUIS Philippe**

Conservateur de la bibliothèque

Mme AMSELLE Danièle

Directrice administrative des services

Mme CALLEA Isabelle

Doyens Honoraires

M. RAMPAL Patrick  
M. BENCHIMOL Daniel

Liste des enseignants au 1er novembre 2020 à la Faculté de Médecine de Nice

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

M.	BAQUÉ Patrick	Anatomie - Chirurgie Générale (42.01)
M.	BERNARDIN Gilles	Réanimation Médicale (48.02)
Mme	BLANC-PEDEUTOUR Florence	Cancérologie – Génétique (47.02)
M.	DARCOURT Jacques	Biophysique et Médecine Nucléaire (43.01)
M.	DRICI Milou-Daniel	Pharmacologie Clinique (48.03)
M.	ESNAULT Vincent	Néphrologie (52-03)
M.	GILSON Éric	Biologie Cellulaire (44.03)
M.	GUGENHEIM Jean	Chirurgie Digestive (52.02)
M.	HASSEN KHODJA Reda	Chirurgie Vasculaire (51.04)
M.	HÉBUTERNE Xavier	Nutrition (44.04)
M.	HOFMAN Paul	Anatomie et Cytologie Pathologiques (42.03)
Mme	ICHAÏ Carole	Anesthésiologie et Réanimation Chirurgicale (48.01)
M.	LACOUR Jean-Philippe	Dermato-Vénéréologie (50.03)
M.	LEFTHERIOTIS Georges	Physiologie ; médecine vasculaire (51.04)
M.	MARQUETTE Charles-Hugo	Pneumologie (51.01)
M.	MARTY Pierre	Parasitologie et Mycologie (45.02)
M.	MICHIELS Jean-François	Anatomie et Cytologie Pathologiques (42.03)
M.	MOUNIER Nicolas	Cancérologie, Radiothérapie (47.02)
M.	MOUROUX Jérôme	Chirurgie Thoracique et Cardiovasculaire (51.03)
M.	PADOVANI Bernard	Radiologie et Imagerie Médicale (43.02)
M.	PAQUIS Philippe	Neurochirurgie (49.02)
Mme	PAQUIS Véronique	Génétique (47.04)
M.	PRADIER Christian	Épidémiologie, Économie de la Santé et Prévention (46.01)
M.	QUATREHOMME Gérald	Médecine Légale et Droit de la Santé (46.03)
M.	RAUCOULES-AIMÉ Marc	Anesthésie et Réanimation Chirurgicale (48.01)
M.	ROBERT Philippe	Psychiatrie d'Adultes (49.03)
M.	SCHNEIDER Stéphane	Nutrition (44.04)
M.	TRAN Albert	Hépatogastro-entérologie (52.01)

**Liste des enseignants au 1er novembre 2020 à la Faculté de Médecine de Nice**

**PROFESSEURS PREMIERE CLASSE**

Mme	ASKENAZY-GITTARD Florence	Pédopsychiatrie (49.04)
M.	BARRANGER Emmanuel	Gynécologie Obstétrique (54.03)
M.	BÉRARD Étienne	Pédiatrie (54.01)
M.	BONGAIN André	Gynécologie-Obstétrique (54.03)
Mme	BREUIL Véronique	Rhumatologie (50.01)
M.	CASTILLO Laurent	O.R.L. (55.01)
M.	CHEVALLIER Patrick	Radiologie et Imagerie Médicale (43.02)
M.	DE PERETTI Fernand	Anatomie-Chirurgie Orthopédique (42.01)
M.	FERRARI Émile	Cardiologie (51.02)
M.	FERRERO Jean-Marc	Cancérologie ; Radiothérapie (47.02)
M.	FONTAINE Denys	Neurochirurgie (49.02)
M.	GUÉRIN Olivier	Méd. In ; Gériatrie (53.01)
M.	HANNOUN-LEVI Jean-Michel	Cancérologie ; Radiothérapie (47.02)
M	JEAN BAPTISTE Elixène	Chirurgie vasculaire (51.04)
M.	LEVRAUT Jacques	Médecine d'urgence (48.05)
M.	LONJON Michel	Neurochirurgie (49.02)
M.	PASSERON Thierry	Dermato-Vénérologie (50-03)
M.	PICHE Thierry	Gastro-entérologie (52.01)
Mme	RAYNAUD Dominique	Hématologie (47.01)
M.	ROSENTHAL Éric	Médecine Interne (53.01)
M.	ROUX Christian	rhumatologie (50.01)
M.	STACCINI Pascal	Biostatistiques et Informatique Médicale (46.04)
M.	THOMAS Pierre	Neurologie (49.01)

**Liste des enseignants au 1er novembre 2020 à la Faculté de Médecine de Nice**

**PROFESSEURS DEUXIEME CLASSE**

Mme	ALUNNI Véronique	Médecine Légale et Droit de la Santé (46.03)
M.	ANTY Rodolphe	Gastro-entérologie (52.01)
M.	BAHADORAN Philippe	Cytologie et Histologie (42.02)
Mme	BAILLIF Stéphanie	Ophthalmologie (55.02)
Mme	BANNWARTH Sylvie	Génétique (47.04)
M.	BENIZRI Emmanuel	Chirurgie Générale (53.02)
M.	BENOIT Michel	Psychiatrie (49.03)
M.	BERTHET Jean-Philippe	Chirurgie Thoracique (51-03)
M.	BOZEC Alexandre	ORL- Cancérologie (47.02)
M.	BREAUD Jean	Chirurgie Infantile (54-02)
M.	BRONSARD Nicolas	Anatomie Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (42.01)
Mme	BUREL-VANDENBOS Fanny	Anatomie et Cytologie pathologiques (42.03)
M.	CHEVALIER Nicolas	Endocrinologie, Diabète et Maladies Métaboliques (54.04)
Mme	CHINETTI Giulia	Biochimie-Biologie Moléculaire (44.01)
M.	CLUZEAU Thomas	Hématologie (47.01)
M.	DELLAMONICA Jean	réanimation médicale (48.02)
M.	DELOTTE Jérôme	Gynécologie-obstétrique (54.03)
Mme	ESTRAN-POMARES Christelle	Parasitologie et mycologie (45.02)
M	FAVRE Guillaume	Physiologie (44.02)
M.	FOURNIER Jean-Paul	Thérapeutique (48-04)
Mme	GIORDANENGO Valérie	Bactériologie-Virologie (45.01)
Mme	GIOVANNINI-CHAMI Lisa	Pédiatrie (54.01)
M.	IANNELLI Antonio	Chirurgie Digestive (52.02)
M.	ILIE Marius	Anatomie et Cytologie pathologiques (42.03)
M.	ORBAN Jean-Christophe	Anesthésiologie-réanimation ; Médecine d'urgence (48.01)
M.	ROHRLICH Pierre	Pédiatrie (54.01)
M.	RUIMY Raymond	Bactériologie-virologie (45.01)
Mme	SACCONI Sabrina	Neurologie (49.01)
Mme	SEITZ-POLSKI barbara	Immunologie (47.03)
M.	VANBIERVLIET Geoffroy	Gastro-entérologie (52.01)

**Liste des enseignants au 1er novembre 2020 à la Faculté de Médecine de Nice**

**MAITRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS**

M.	AMBROSETTI Damien	Cytologie et Histologie (42.02)
Mme	BERNARD-POMIER Ghislaine	Immunologie (47.03)
M.	CAMUZARD Olivier	Chirurgie Plastique (50-04)
Mme	CONTENTI-LIPRANDI Julie	Médecine d'urgence ( 48-04)
M.	DOGLIO Alain	Bactériologie-Virologie (45.01)
M.	DOYEN Jérôme	Radiothérapie (47.02)
M.	FOSSE Thierry	Bactériologie-Virologie-Hygiène (45.01)
M.	GARRAFFO Rodolphe	Pharmacologie Fondamentale (48.03)
Mme	HINAULT Charlotte	Biochimie et biologie moléculaire (44.01)
M.	HUMBERT Olivier	Biophysique et Médecine Nucléaire (43.01)
Mme	LAMY Brigitte	Bactériologie-virologie ( 45.01)
Mme	LONG-MIRA Elodie	Cytologie et Histologie (42.02)
M.	LOTTE Romain	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière (45.01)
Mme	MAGNIÉ Marie-Noëlle	Physiologie (44.02)
M.	MASSALOU Damien	Chirurgie Viscérale ( 52-02)
Mme	MOCERI Pamela	Cardiologie (51.02)
M.	MONTAUDIE Henri	Dermatologie (50.03)
Mme	MUSSO-LASSALLE Sandra	Anatomie et Cytologie pathologiques (42.03)
M.	NAÏMI Mourad	Biochimie et Biologie moléculaire (44.01)
M.	SAVOLDELLI Charles	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie (55.03)
M.	SQUARA Fabien	Cardiologie (51.02)
M.	TESTA Jean	Épidémiologie Économie de la Santé et Prévention (46.01)
Mme	THUMMLER Susanne	Pédopsychiatrie ( 49-04)
M.	TOULON Pierre	Hématologie et Transfusion (47.01)
M.	TRAN Antoine	Pédiatrie (54.01)

**Liste des enseignants au 1er novembre 2020 à la Faculté de Médecine de Nice**

**PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS**

M. DARMON David Médecine Générale (53.03)

**MAITRE DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS**

Mme GROS Auriane Orthophonie (69)

**PROFESSEURS AGRÉGÉS**

Mme LANDI Rebecca Anglais

**PRATICIEN HOSPITALIER UNIVERSITAIRE**

M. DURAND Matthieu Urologie (52.04)  
M. SICARD Antoine Néphrologie (52-03)

**PROFESSEURS ASSOCIÉS**

M. GARDON Gilles Médecine Générale (53.03)  
Mme MONNIER Brigitte Médecine Générale (53.03)

**MAITRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS**

Mme CASTA Céline Médecine Générale (53.03)  
M. GASPERINI Fabrice Médecine Générale (53.03)  
M. HOGU Nicolas Médecine Générale (53.03)



Liste des enseignants au 1er novembre 2020 à la Faculté de Médecine de Nice

Constitution du jury en qualité de 4ème membre

Professeurs Honoraires

M. AMIEL Jean	M. GÉRARD Jean-Pierre
M. ALBERTINI Marc	M. GIBELIN Pierre
M. BALAS Daniel	M. GILLET Jean-Yves
M. BATT Michel	M. GRELLIER Patrick
M. BLAIVE Bruno	M. GRIMAUD Dominique
M. BOQUET Patrice	M. HOFLIGER Philippe
M. BOURGEON André	M. JOURDAN Jacques
M. BOUTTÉ Patrick	M. LAMBERT Jean-Claude
M. BRUNETON Jean-Noël	M. LAZDUNSKI Michel
Mme BUSSIERE Françoise	M. LEFEBVRE Jean-Claude
M. CAMOUS Jean-Pierre	M. LE FICHOUX Yves
M. CANIVET Bertrand	Mme LEBRETON Elisabeth
M. CASSUTO Jill-patrice	M. MARIANI Roger
M. CHATEL Marcel	M. MASSEYEFF René
M. COUSSEMENT Alain	M. MATTEI Mathieu
Mme CRENESSE Dominique	M. MOUIEL Jean
M. DAR COURT Guy	Mme MYQUEL Martine
M. DELLAMONICA Pierre	M. ORTONNE Jean-Paul
M. DELMONT Jean	M. PRINGUEY Dominique
M. DEMARD François	M. SANTINI Joseph
M. DESNUELLE Claude	M. SAUTRON Jean Baptiste
M. DOLISI Claude	M. SCHNEIDER Maurice
Mme EULLER-ZIEGLER Liana	M. THYSS Antoine
M. FENICHEL Patrick	M. TOUBOL Jacques
M. FUZIBET Jean-Gabriel	M. TRAN Dinh Khiem
M. FRANCO Alain	M. VAN OBBERGHEN Emmanuel
M. FREYCHET Pierre	
M. GASTAUD Pierre	

**Liste des enseignants au 1er novembre 2020 à la Faculté de Médecine de Nice**

**M.C.U. Honoraires**

M. ARNOLD Jacques	M. GIUDICELLI Jean
M. BASTERIS Bernard	M. MAGNÉ Jacques
M. BENOLIEL José	Mme MEMRAN Nadine
Mlle CHICHMANIAN Rose-Marie	M. MENGUAL Raymond
Mme DONZEAU Michèle	M. PHILIP Patrick
M. EMILIOZZI Roméo	M. POIRÉE Jean-Claude
M. FRANKEN Philippe	Mme ROURE Marie-Claire
M. GASTAUD Marcel	

**PROFESSEURS CONVENTIONNÉS DE L'UNIVERSITÉ**

M.	BERTRAND François	Médecine Interne
M.	BROCKER Patrice	Médecine Interne Option Gériatrie
M.	CHEVALLIER Daniel	Urologie
Mme	FOURNIER-MEHOUAS Manuella	Médecine Physique et Réadaptation
M.	JAMBOU Patrick	Coordination prélèvements d'organes
M.	LEBOEUF Mathieu	gynécologie- obstétrique
Mme	NADEAU Geneviève	uro-gynécologie
M.	ODIN Guillaume	Chirurgie maxilo-faciale
M.	PEYRADE Frédéric	Onco-Hématologie
M.	PICCARD Bertrand	Psychiatrie
M.	QUARANTA Jean-François	Santé Publique

## Remerciements

### **À Monsieur le Professeur Patrick BAQUÉ**

Cher Professeur, je vous remercie de me faire l'honneur de présider mon jury. Vos qualités d'anatomiste m'ont permis d'appréhender la chirurgie avec le souci du détail. Quelle belle récompense que de vous compter parmi nous en ce jour si particulier. En votre qualité de doyen, vous faites rayonner avec élégance la faculté de médecine de Nice.

Veillez trouver dans ce travail le témoignage de mon profond respect.

### **À Monsieur le Professeur Daniel CHEVALLIER**

Cher Maître, merci d'être présent aujourd'hui comme vous l'avez été tout au long de ces années. Chirurgien de talent, andrologue hors pair, votre classe et votre modestie n'ont d'égal que votre éloquence. Vous avez coutume de comparer les membres de votre équipe à de grands noms du football. Toutes ces stars ont en commun un mentor charismatique pour leur enseigner et leur transmettre le savoir. Dans notre cas, cette personne, c'est vous.

### **À Monsieur le Docteur Matthieu DURAND**

Cher Matthieu, je te remercie pour tout ce que tu fais pour notre service, pour ton soutien dans les moments difficiles et ton travail acharné. Quand nos journées ne font que 24 heures, je soupçonne les tiennes d'en compter au moins 30. Tantôt chirurgien, tantôt manager, tantôt diplomate, ta polyvalence et ton amour du travail bien fait font de toi un exemple à suivre pour chacun d'entre nous. Je suis fier de pouvoir avancer à tes côtés.

### **À Monsieur le Docteur Fabien LAREYRE**

Cher Fabien, cher ami, derrière l'excellence de ton travail et la rigueur dont tu fais preuve se cachent un grand cœur, un mari et un papa exceptionnel, ainsi qu'un ami fidèle. Je suis honoré que tu diriges mon travail de thèse et fier de te compter parmi mes plus proches amis. Je te souhaite toute la réussite. Tu le mérites plus que quiconque. Je suis certain que ce travail ne représente qu'une infime partie du chemin que nous réaliserons ensemble tant sur le plan professionnel que sur le plan personnel. Merci.

## À ma famille

Comment ne pas commencer ces remerciements par la personne sans qui rien de tout ça ne se serait produit, le premier médecin de la famille, ma grand-mère adorée, Jacqueline. Pour ceux qui liront uniquement cette partie (et on sait tous que ça représente plus de 99% des lecteurs), voici une petite anecdote sur comment toute cette histoire a débuté.

En classe de terminale, au moment de faire un choix pour mon avenir et ne sachant pas quoi choisir, ma seule certitude était de ne pas vouloir faire médecine. C'est à ces mots que ma grand-mère répondait « oh de toute façon pour faire médecine, il faut la vocation sinon c'est trop dur ». Et me voilà devant vous un peu plus d'une décennie plus tard. Avec ou sans vocation ? L'histoire ne le dit pas. Ceux d'entre vous qui me connaissent imaginent sans doute aisément mon petit sourire en coin.

Indissociable de ma grand-mère, mon grand-père Claude, mon premier fan, mon coach, mon meilleur ami, toujours derrière moi (un jour même avec un tuyau d'eau dont mon dos se souvient avec ironie). Vous m'avez tout donné. Si un jour je parviens à être avec mes enfants et petits-enfants le quart de ce que vous avez été pour moi j'aurai réussi ma vie. Je vous aime. À ma maman chérie et David qui ne faisaient aucun bruit pendant ces journées interminables de révision, qui ont toujours été là pour moi. Je vous aime. Vous me manquez chaque jour.

À mon papa d'amour et Cécile qui ne me voyaient probablement pas embrasser cette voie au départ mais qui m'ont toujours soutenu. À ma mémé Marie et ma marraine Cathy qui suivent mon parcours avec bienveillance. À mon petit cousin Max qui je le sais trouvera sa voie.

À Foflo et Aurélie (ma belle-sœur préférée), les griloux, amateurs de peintures de qualité, et bientôt ma petite nièce qui je l'espère prendra le caractère de son père (ahah).

À Jéré « the voice » et Karine qui resteront définitivement dans le Sud, je l'espère.

À Jean-luc, un père pour moi, un soutien indéfectible. À Françoise et Justine qui m'ont toujours fait sentir comme chez moi. À Stéphane qui doit être les doigts de pieds en éventail sous le soleil de Tahiti.

À Sam, Laurence, Manon et Julia qui depuis toutes ces années font partie de la famille.

À Sylvain et Mauricette pour leur soutien, sans oublier Lucien, Nadine, Julie, Patrick et Grazy, Chouchou, Pierre et Marie, et mes petites nièces Naïs et Émy.

Enfin à mon petit lutin, mon bébélou qui supporte au quotidien mon caractère difficile, les nuits d'astreinte interminables et prend soin de moi. C'est grâce à toi tout ça. Je t'aime.

## **À mes frères**

À Nico, ses parents qui sont aussi un peu les miens et Seb. Même à l'autre bout de la France tu restes dans mon cœur. Tu as toujours cru en moi. J'espère que tu redescendras vite.

À Quentin B, le meilleur expert-comptable, probablement mon plus vieil ami, toujours présent. Il t'en aura fallu du courage pour arriver à me supporter depuis plus de 25 ans. À Morgane et à tous les Berenguiers (avec une pensée pour papou). Vous m'avez toujours accueilli à bras ouverts, comme un membre de la famille.

À Quentin F, mon frate, la bonne humeur incarnée, un humour inimitable. À Delph, une gentillesse sans borne (pour pouvoir le supporter, il en faut...ahah).

À Julien, mon frère corse, le yin et le yang, toujours « sobre », un des rares à avoir vu John Travolta à l'œuvre. À Marina et mon petit neveu Caïn.

À Raph, un ami fidèle qui porte la gentillesse sur son visage. Partenaire de ping pong incomparable, skieur émérite, sportif puissant.

Sans oublier Damien, futur papa et tennisman talentueux. La sympathie à l'état pur.

Vous me manquez.

## **À mes chefs, co-internes et amis**

Au Docteur Colomb, premier guide de l'urologie niçoise toujours prêt à mettre 200 bars.

Au Docteur Tibi pour son exigence et son talent chirurgical incontestable.

Au Docteur Ahallal pour son désir de transmission du savoir.

À Romain H (dit « ameur »), un ami à l'humour incisif, toujours juste et agréable à vivre. Tu me connais, tu sais quand je vais « déglobuliser ». Merci de ta bienveillance.

À Lionel M, probablement le chirurgien le plus gentil de la Terre. Andrologue exquis, tu ne perds jamais une occasion de plaisanter. Travailler avec toi est un plaisir.

À Yohan, une complicité rare et une amitié sincère. À nos astreintes uniques qui resteront gravées dans nos esprits (et probablement pas que dans les nôtres...ahah).

À Stephan, un ami parti vers d'autres horizons. Je me souviens ton inquiétude dans l'avion pour Bastia après une turbulence, j'en ris encore. Sois heureux. En espérant te revoir vite.

À Aurélie Mb, exigeante, pleine d'esprit, et très drôle quand on la connaît. J'espère que tu t'épanouis dans ta nouvelle vie. Au plaisir de te revoir.

À Guillaume T, sympathique et consciencieux, tu ramèneras un peu de la fougue méditerranéenne dans ta Bretagne natale. On te regrettera.

À Patrick pour sa joie de vivre et sa bonne humeur permanente.

À Imad pour sa gentillesse, sa compréhension et son désir de transmission.

À Fabrizio pour sa carbonara et sa moka qui ne m'auront pas porté bonheur mais qui étaient très bonnes. Merci pour ta gentillesse.

À Lambert, nouveau venu en provenance de la capitale qui a su s'adapter avec brio et rayonne par sa sympathie.

À Louis V, Professeur, prophète en son pays et partenaire de padel à ses heures perdues. Donneur de fessées légendaires, tu sais rester juste et fidèle en amitié. J'ai beaucoup appris à tes côtés.

À Louis D, la sympathie lilloise, j'admire ta capacité à relativiser. Tu sais passer entre les gouttes comme personne « tu me vois, tu me vois plus » ahah.

À Flora, New yorkaise d'adoption, j'espère que tu reviendras des étoiles plein les yeux.

À Adil qui aura laissé sa patte dans le service, toujours prêt à filer un coup de main. Reviens nous voir.

À Oskar qui je dois l'avouer ici, fait la carbonara avec de la crème fraîche...Nul n'est parfait. Ahah. Je plaisante bien sûr. Co-interne fiable, serviable, d'une gentillesse sincère. J'espère que tu reviendras vivre ici, ça serait un réel plaisir.

À Arnoult, jamais co-interne mais toujours le sourire.

À Camille, qui a su s'adapter brillamment dans une spécialité encore très masculine et qui n'a rien à envier à ses aînés. Ta gentillesse même dans les moments difficiles m'impressionne. Je souhaite à Elsa de prendre le même chemin.

À Marc, Professeur, un ami sincère et fiable que la gentillesse honore. Un papa au top.

À Julie C, un rayon de soleil, toujours prête à rendre service.

À Julie P, ma psychiatre préférée. En espérant que tu ne me prennes pas un jour pour un de tes patients. Ahah. Nos chemins se croiseront j'espère.

À Lucas G, mon frate, ce fut un plaisir de travailler avec toi. Un co-interne fiable, gentil et serviable.

À Céline D, un petit démon sympathique qui aime la vie.

À Julien et Manu pour nos soirées thèse chez Fabien.

À Marion D, un esprit vif dans un savant mélange de charme et de gaieté.

À Cyrielle pour son aide précieuse et son sourire.

Au service de chirurgie vasculaire et notamment à Pierre, tennisman maintenant aguerri et chirurgien au grand cœur.

A nos amis néphrologues qui arrivent à supporter nos caractères difficiles, Jimmy, Alexandre, Marion, Marine, Audrey et les autres.

À Cédric qui m'aura vu débiter, un ami que je ne vois que trop peu.

À la famille Saudreau qui compte deux consœurs brillantes, Claire et Diane.

Sans oublier mes partenaires de padel au premier rang desquels Lionel S. Le plus gros chambreur de l'histoire, qui j'en suis sûr me retournerait le compliment. Mais aussi Romain R et Ben S qui ne sont pas en reste niveau provocation.

À mes externes préférés, Daniel grâce à qui j'aurai énormément appris (c'est le monde à l'envers ahah), Morgane pour sa sympathie et son sourire carnassier, Sofia la pire de toutes (ahah), Hoss pour son mot très touchant, Marie P pour ses tours d'ascenseur qui auraient pu m'envoyer en garde à vue, Marie D pour ses cafés et ses talents de photographe, sans oublier bécassine et son Scott. À Youssef qui sera passé du côté obscur mais qu'on aime quand même. Pour tous ceux que je n'ai pas pu citer mais qui ont égayé mes journées (Lolita, Maria, Ulysse, Émilie, Mathilde, Margaux, Madeline...).

### **Au service d'urologie**

En commençant par la famille, je veux bien sûr parler de Bacem et Stéphane. J'imagine la tête du Dr Kaibou et de Fafa en lisant ces lignes, je ris tout seul devant mon ordinateur. Alors je vais devoir enfin l'avouer ici, Naïma et Fafa, c'est la famille.

À Aurélie, celle qui me connaît probablement le mieux (sans oublier Ambeline).

À Yona « the queen » comme elle aime à se faire appeler, « Puget » pour les intimes, pour tes talents de médium et pour ma cheminée.

À Alexia qui déteste les surnoms que je lui donne, pour son soutien et sa joie permanente.

À Chloe une enfant au caractère bien trempé qui arrêtera de fumer un jour.

À Gaëlle qui aime tout le monde « même toi ».

À Laeti qui m'a fait lever l'œil et Jean Marc le duo de choc de la nuit, profite bien de ta retraite.

À Jaël toujours souriante malgré les obstacles, à Jennifer pour sa joie communicative, à Roxane qui j'en suis sûr aime profondément ce service, à Aurore, Johanna, Cassandra et Amira, à notre regrettée Laura partie exercer ses talents en cardiologie et à Mme Boniffacy qui tient ce service à bout de bras.

À l'équipe de consultations, Régis la perle de l'urologie niçoise, Jess, Pascale, Fred, Cathy et Julie pour leur bonne humeur.

Aux secrétaires qui supportent nos caractères difficiles et nos manques de sommeil : Pat, Manon, Prisc, Céline, Sonia et bien sûr Perrine pour son aide précieuse.

Enfin, à Aysha pour le travail titanesque qu'elle abat en toute élégance, avec également une pensée pour Laetitia.

### **À l'équipe du bloc**

À Steph G pour ta gentillesse et ta serviabilité, c'est toujours un plaisir de travailler avec toi.

À Steph LS un phénomène incomparable.

À mon ami Jé qui va nous quitter, je te souhaite bonne chance pour la suite et j'espère qu'on se reverra.

À Lody, « ma caille », qui égaye nos journées.

À Anais qui m'empêche de voir l'écran par sa taille (sourire) et Alex qui va finir par préférer le secteur COVID.

À Anne So et Sonia, les sages de l'urologie.

Sans oublier Kheira, Ludivine, Émeline, Amélia et ses conseils cadeaux, et les autres.

À Sandrine, si agréable, je pense souvent à toi, la vie est parfois injuste.

A l'équipe anesthésique qui répond toujours présent : Lucia et son plaisir des néphrostomies, Vlad qui va finir très riche à force de parier sur les temps opératoires et Bruno pour son flegme.

Mais aussi à Magali, Christophe et Xav pour leur bonne humeur.

À Rahil, Marcello, Tracy et tous les AS du bloc à la joie de vivre communicative.

A l'équipe de nuit qui me voit tellement souvent qu'ils m'ont accueilli comme un de leurs membres.



## À l'équipe 5 du laboratoire

À Fred pour m'avoir accueilli dans son service et m'avoir supporté.

À Stephan pour ses cafés brainstorming enflammés.

À Nathalie pour sa sympathie et son caractère bien trempé, toujours en blouse en salle de culture, et à Mounia « la Suisse » toujours neutre.

À Victor qui aura su garder son calme et jongler avec habileté entre l'oncologue et l'urologue.

À Emma, la tornade qui ne savait pas où elle mettait les pieds mais qui sait s'adapter à chaque situation avec brio et humour.

À mon ami Chuck à la résilience hors norme (mot qu'il ne connaîtra probablement pas, ahah), qui mérite d'être heureux. J'espère qu'on arrivera à se voir plus souvent après cette période compliquée.

Sans oublier Adrien, le petit génie de la science qui ira loin.

À Joël, mon coiffeur et ami, qui était là bien avant la médecine et a toujours cru en moi.

Une mention spéciale pour Françoise (une fiabilité inégalée et des radis exquis), Christine, Magali, Ghislain (qui fait le même métier à l'autre bout du monde toujours avec le sourire), Olivier et bien sûr Éric. Un grand ami, un père, un mentor, je n'oublierai jamais ce que tu as fait pour moi.

Pour finir merci à l'équipe sans qui cette thèse n'aurait pu voir le jour, Juliette, Cédric et Marion, avec le soutien inconditionnel d'Alexandre et Clément.

*À mon grand-père Serge, tatie Angeline et mon oncle Michel.  
À Yann parti trop vite qui restera à jamais dans nos cœurs et nos esprits.*

## Table des matières

<b>I. Contexte</b> .....	<b>20</b>
<b>II. Article en anglais</b> .....	<b>22</b>
<b>1- Abstract</b> .....	<b>23</b>
<b>2- Introduction</b> .....	<b>24</b>
<b>3- Methods</b> .....	<b>25</b>
<i>Training dataset</i> .....	25
<i>Testing dataset</i> .....	25
<i>Training of the DL algorithm</i> .....	25
<i>Method for automatic detection and 3D-visualization of the tumoral kidney</i> .....	26
<i>Endpoint</i> .....	26
<b>4- Results</b> .....	<b>27</b>
<i>Performance of the training of the DL algorithm</i> .....	27
<i>Feature extraction and 3D-visualization using the automatic software</i> .....	27
<i>Concordance to stage the anatomical parameters of the RENAL and the PADUA scores</i> .....	27
<b>5- Discussion</b> .....	<b>28</b>
<b>6- Conclusion</b> .....	<b>29</b>
<b>7- Références</b> .....	<b>30</b>
<b>8- Annexes</b> .....	<b>34</b>
<b>III. Références</b> .....	<b>39</b>
<i>Serment d'Hippocrate</i> .....	<b>42</b>
<i>Résumé</i> .....	<b>43</b>
<i>« Si », Rudyard Kipling (1895)</i> .....	<b>44</b>

## Liste des abréviations

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PADUA : Pre-operative Aspects and Dimensions Used for an Anatomical classification

IA : Intelligence Artificielle

ML : Machine Learning

RCC : Renal Cell Carcinoma

CT : Computed Tomography

AI : Artificial Intelligence

DL : Deep Learning

CTA : CT-angiography

ASA : American Society of Anesthesiologists

PACS : Picture Archiving and Communication Systems

eGFR: estimated Glomerular Filtration Rate

## I. Contexte

Le carcinome rénal représente en France la onzième cause de mortalité par cancer selon l’OMS. A un stade localisé, son traitement est chirurgical (1). Selon les recommandations internationales, la néphrectomie partielle est à privilégier dès que cela est possible (1-3). Il a été démontré qu’elle apportait une prise en charge carcinologique efficace tout en préservant le capital néphronique, améliorant ainsi la fonction rénale à long terme en comparaison à une néphrectomie totale (4). Pour sa réalisation, l’approche mini-invasive et notamment robot assistée s’est développée ces dernières décennies. Elle a prouvé son efficacité avec une amélioration des résultats péri-opératoires en termes de pertes sanguines, de douleurs et de durée d’hospitalisation (5-7). La néphrectomie partielle reste cependant un acte chirurgical complexe qui est dépendant des caractéristiques anatomiques du patient, de la tumeur ainsi que de l’expérience de l’opérateur (8, 9). Bien que les recommandations concernant la prise en charge des carcinomes rénaux localisés tendent à favoriser la néphrectomie partielle, le choix entre chirurgie conservatrice et néphrectomie totale reste non standardisé et à la discrétion de l’opérateur (10).

Pour l’aider dans sa décision, de nombreux scores morphométriques basés principalement sur l’angio-scanner ont été développés. Leur but est d’évaluer la complexité de réalisation d’une néphrectomie partielle (11-13) afin d’anticiper et de limiter les complications péri et post-opératoires (14). Parmi ces scores, le RENAL et le PADUA sont les plus utilisés (11, 15). Ils prennent en compte la taille de la tumeur, sa localisation par rapport aux vaisseaux et la voie excrétrice ainsi que sa profondeur au sein du parenchyme rénal.

Cependant, le calcul de ces scores à partir des angioscanners est fastidieux, chronophage et nécessite une certaine expérience de l’opérateur, exposant à un risque de variation inter-operateur.

Le développement de techniques dérivées de l’Intelligence Artificielle (IA) a apporté de nouvelles perspectives en imagerie médicale en offrant la possibilité d’automatiser certaines tâches et d’améliorer la reproductibilité des analyses (16). L’IA correspond à la faculté d’une machine ou d’un programme informatique à réaliser des tâches communément associées à l’intelligence humaine telles que l’apprentissage, le raisonnement, l’adaptation, l’identification ou la reconnaissance (17, 18). Le Machine Learning (ML) est une technique appartenant au champ de l’IA dans laquelle des algorithmes sont utilisés pour donner à une machine ou à un programme la faculté d’apprentissage (18, 19). Cette technique permet d’identifier des associations et des caractéristiques communes à partir d’un grand volume de données.

Le ML permet d'identifier une signature, d'établir des classifications ou de développer des modèles prédictifs (20). Les applications de l'IA sont multiples et sont présentes dans de nombreux domaines de la vie quotidienne, que ce soit la télécommunication, l'informatique mais aussi l'éducation, les transports, les médias, la finance ou l'industrie. Il existe un intérêt grandissant sur les applications de l'IA en Médecine (21). Différentes études ont démontré l'intérêt potentiel de l'IA en Urologie, que ce soit dans le domaine de la simulation robotique (22), la prise en charge de la maladie lithiasique (23) ou l'oncologie (24).

Le développement de techniques dérivées de l'IA comme la création de logiciels automatisés représente une avancée médicale pouvant bénéficier à la fois au patient et au chirurgien dans la planification des interventions. L'automatisation de l'analyse d'images pourrait permettre à la fois un gain de temps, mais également d'améliorer la standardisation et la reproductibilité des analyses.

Aussi, nous avons développé un logiciel d'imagerie capable d'analyser automatiquement un angio-scanner abdomino-pelvien dans le but de détecter, segmenter et reconstruire de façon tridimensionnelle le rein, les vaisseaux et la tumeur.

Nous avons réalisé une étude pilote dont l'objectif était d'évaluer la faisabilité d'utilisation de ce logiciel pour calculer les scores RENAL et PADUA chez des patients présentant un carcinome rénal opéré par néphrectomie robot assistée.

## II. Article en anglais

### A pilot study investigating the feasibility of using a fully automatic software to assess the RENAL and PADUA scores

Fabien Lareyre <sup>1,2\*</sup>, Mathieu Carlier <sup>3\*</sup>, Cédric Adam <sup>4</sup>, Marion Carrier <sup>4</sup>, Julien Chikande <sup>5</sup>,  
Lucas Guidi <sup>5</sup>, Emmanuel Augère <sup>5</sup>, Matthieu Durand <sup>3</sup>, Juliette Raffort <sup>2,5</sup>

<sup>1</sup>Department of Vascular Surgery, Hospital of Antibes-Juan-les-Pins, France

<sup>2</sup>Université Côte d'Azur, CHU, Inserm, C3M, Nice, France

<sup>3</sup>Department of Urology, University Hospital of Nice, Nice, France

<sup>4</sup>Laboratory of Applied Mathematics and Computer Science (MICS), CentraleSupélec,  
Université Paris-Saclay, France

<sup>5</sup>University Hospital of Nice, France

\* Fabien Lareyre and Mathieu Carlier contributed equally to the work.

**Corresponding author:** Fabien Lareyre, MD, PhD

Department of Vascular Surgery, Hospital of Antibes-Juan-les-Pins, France

107 avenue de Nice

06 600 Antibes

Telephone number: +33- 0497248232

E-mail: [fabien.lareyre@gmail.com](mailto:fabien.lareyre@gmail.com)

**Key words** : renal cell carcinoma ; artificial intelligence ; deep learning ; automatic software ;  
RENAL score; PADUA score ; nephrometry score

## 1- Abstract

**Purpose:** Image-based morphometric scoring systems such as the RENAL and PADUA scores are useful to evaluate the complexity of partial nephrectomy for renal cell carcinoma (RCC). The aim was to develop an imaging software to enable an automatic detection and a 3D-visualization of RCC from CT scans to evaluate the parameters included in the RENAL and the PADUA scores.

**Methods:** A training dataset of 210 patients CTA-scans manually segmented for kidney and renal tumor was used to train a deep learning algorithm to develop the automatic 3D-visualization of RCC. The testing dataset consisted of 41 CTA from patients with RCC. RENAL and PADUA scores were assessed by a trained operator on a semi-automatic commercialized software and concordance of the staging were compared with the automatic software.

**Results:** The median PADUA score was 9 (7- 11) and the RENAL score was 8 (5.5- 9). The automatic software enabled to automatically detect the tumoral kidney and provided a 3D-visualization in all cases, with a computational time less than 20 seconds. Concordances for staging the anatomical features of the RENAL scores were respectively: 87.8% for radius, 85.4% for exophytic rate, 82.9% for location to the polar lines and 92.7% for the antero-posterior location. For the PADUA scores, concordances were 90.2% for tumor size, 85.4% for exophytic rate, 87.8% for polar location and 100% for renal rim.

**Conclusion:** By enabling an automatic 3D-visualization of tumoral kidney, this software could help to calculate morphometric scores, save time and improve reproducibility for clinicians.



## 2- Introduction

Renal cell carcinoma (RCC) accounts for 5% of all tumors in men and 3% in women <sup>1,2</sup>. The curative treatment relies mainly on surgical approach. While radical nephrectomy was considered as the standard treatment of RCC over the past decades, partial nephrectomy has become the standard of care for patients with localized small renal masses <sup>3-5</sup>. It has demonstrated to provide efficient cancer control and offers the advantage to better preserve renal function, shorten in-hospital length and limit intra-operative bleeding <sup>1</sup>. Minimally invasive approaches for partial nephrectomy including robot-assisted procedures have been developed over the past few years and have proven their efficiency to improve peri-operative outcomes <sup>6-9</sup>. Nevertheless, the robot-assisted partial nephrectomy can be complex depending on the characteristics of the tumor as well as the patient's anatomy <sup>9</sup>. Several image-based morphometric scoring systems have been developed to evaluate the potential complexity of partial nephrectomy <sup>10-12</sup>. These scores are mostly based on computed tomography (CT) images <sup>13</sup>. Among them, the RENAL nephrometry score is based on five anatomical features and allows to quantitate the tumor size, its location and its depth <sup>10</sup>. The PADUA score (pre-operative aspects and dimensions used for an anatomical classification) is another method to classify renal masses according to their size and anatomical features <sup>14</sup>.

Artificial intelligence (AI) has brought new insights in urology and more specifically in oncology <sup>15,16</sup>. It offers the opportunity to perform complex tasks and to develop pattern recognition algorithms to facilitate imaging analysis <sup>17</sup>. Imaging software that allow an automatic assessment of morphometric scores would help clinicians to improve robustness, reduce inter-operator variation, alleviate the burden and improve clinical workflow.

We aimed to develop a new imaging software to enable an automatic detection and a 3D visualization of RCC from CT scans. This pilot study addressed the feasibility to use it to evaluate the parameters included in the RENAL and the PADUA scores.

### 3- Methods

#### *Training dataset*

A first dataset was used to train a deep learning (DL) algorithm to develop the automatic software for automatic detection of RCC. The training of the DL algorithm was performed from the OpenSource dataset from C4KC-KiTS <sup>18</sup>. It consisted of 210 patients CTA-scans manually segmented for kidney and tumor in the cortico-medullary phase. This dataset is fully independent from the testing dataset described above.

#### *Testing dataset*

The testing dataset included patients with RCC who underwent robot-assisted nephrectomy at the University Hospital of Nice between January 2015 and December 2018. Diagnosis of RCC was based on CT-angiography (CTA) and confirmed by post-operative histopathological examination. Only patients who had pre-operative CTA images available were included. Clinical pre-operative characteristics were collected including comorbidities and clinical risk scores (Charlson Comorbidity Index, estimated 10-year survival, ASA score). Pre-operative biological tests were recorded. Clinical and biological parameters were collected using manual and electronic medical records (Clinicom®). Imaging data were recorded and extracted from the software Picture Archiving and Communication Systems (PACS). Radiological characteristics including TNM stage and tumor size were evaluated by a trained operator using a commercialized semi-automatic software (Aquarius, TeraRecon). RENAL and PADUA scores were assessed according to previously published classifications <sup>10,14</sup>.

#### *Training of the DL algorithm*

A DL algorithm is used to segment the kidneys and the tumors in the CTA-scans. The DL algorithm used is a fully Convolutional Neural Network with a U-Net architecture <sup>19</sup>. The U-Net architecture used in this paper is composed of 18 hidden layers in a characteristic symmetric architecture. The total number of trainable parameters is 31,031,685 for the binary neural network.

The U-Net architecture is used on 2-dimensional images taken along the axial plane. Each expected input image is an array of size 512x512 pixels. The goal of the binary U-Net is to transform each independent input image in a probability map of the same size, with pixel values between 0 and 1. The pixel value represents the probability of belonging to the region of interest. To obtain a binary segmentation mask, we apply a thresholding to the resulting

probability map: pixel values lower than 0.5 are set to 0, while the other values are set to 1. The size of the output map is 512x512x1. The Python libraries Keras and TensorFlow are used to construct the model. The training of the DL algorithm was performed from the OpenSource dataset from C4KC-KiTS using 210 CTA manually segmented for kidney and tumor <sup>18</sup>. The same architecture is trained on binary masks of the tumors and of the kidneys, to obtain two segmentation models.

The training is achieved using the Adam optimizer with a learning rate of  $10^{-5}$  <sup>20</sup>. The terminating criterion chosen is a stagnation of the dice for 3 iterations at a  $10^{-3}$  precision. In order to limit the risk of overlearning and increase the robustness, a data augmentation was performed on the learning dataset using the image data generator class from the Keras library. The following parameters were used: the rotation range is set to 0.2; the height shift, width shift, shear and zoom ranges are set to 0.05; and we allow horizontal flips.

#### *Method for automatic detection and 3D-visualization of the tumoral kidney*

The pipeline to enable an automatic detection and 3D-visualization of the tumoral kidney is described in Figure 1. From the input CTA images, a 2 binary U-Net classifier is used to segment the kidneys and the tumour. Based on the segmentations of kidneys and tumors in a CTA-scan and the pixels spacing in the 3 dimensions, several metrics can be extracted: the volumes of the right and left kidneys ( $\text{mm}^3$ ) and the localization of the tumor. The extraction of the metrics is fully automatic. A 2D and a 3D visualizations are provided in the automatic software to visualize the regions of interest. The measurement of the parameters of the PADUA and RENAL scores is made by a trained operator in the software visualization. The measurement of the size of the tumour is achieved thanks to scales (in cm) arranged by the software on bounding boxes of the organs.

#### *Endpoint*

This pilot study tested the feasibility to use the automatic software for an easy and automatic 3D-visualization of the tumoral kidney. Anatomic parameters of the RENAL and the PADUA scores were evaluated blindly by a trained operator. They were compared to the ground truth provided by the assessment of the RENAL and PADUA scores using a commercialized semi-automatic software (Aquarius, TeraRecon). Concordance between the two methods for the staging of anatomical features was evaluated. Computational time was recorded.

## 4- Results

### *Performance of the training of the DL algorithm*

Training was performed from 210 CTA from patients with tumoral kidney. The convergence of the CNN models for kidney segmentation was very fast at the beginning of the training and monotonous (Figure 2A). After 50 epochs, the training phase has been stopped and the loss based on the dice coefficient has reached 98 % (Figure2A). For the tumor, the convergence was slower at the beginning, but it also stopped after 50 epochs, and the loss based on the dice coefficient has reached 94 % (Figure 2B).

### *Feature extraction and 3D-visualization using the automatic software*

The automatic method was tested using a dataset of 41 CTA from patients with RCC (Table 1). The median age of the patients was 66 years (57- 70) and 33 of them (80.5%) were men. The Charlson comorbidity index was 5 (4- 6) and the estimated 10-year survival was 21 years (2 – 53). Most of the patients had localized CCR, with 17 patients (41.5%) T1a stage and 21 (51.2%) T1b stage. Only 1 patient (2.4%) had lymph node (N1 stage) and 1 (2.4%) had localized metastasis (M1). The median size of the tumor was 4.4 cm (3.0- 5.8). The distribution of RENAL and PADUA scores within patients is showed in Figure 3. The proportion of patients with respectively low, intermediate and high PADUA scores were 26.8%, 31.7% and 41.5%. The proportion of patients with low, intermediate and high RENAL scores were 31.7%, 46.3% and 22%.

The automatic method enabled to automatically detect the tumoral kidney and provide a 3D-visualization in all cases, with a computational time less than 30 seconds. Representative images of user interface and 3D-visualization are provided in Figure 4. The measurement of the size of the tumor was achieved thanks to scales (in cm) arranged by the software on bounding boxes of the organs.

### *Concordance to stage the anatomical parameters of the RENAL and the PADUA scores*

Compared to the ground truth given by the commercialized semi-automatic software, concordances for staging the anatomical features of the RENAL scores were respectively: 87.8% for radius, 85.4% for exophytic rate, 82.9% for location to the polar lines and 92.7% for the antero-posterior location (Table 2). For the PADUA scores, concordances were 90.2% for tumor size, 85.4% for exophytic rate, 87.8% for polar location and 100% for renal rim.

## 5- Discussion

In this study, we developed an automatic software that enabled a fast and robust 3D-visualization of the tumoral kidney. The software demonstrated a good concordance with commercialized software to assess the parameters of the RENAL and the PADUA scores. Minimally invasive partial nephrectomy has become a worldwide established alternative to open surgery in the treatment of RCC. A detailed understanding of the anatomy of the renal mass and its vasculature is necessary to optimize pre-operative planning, maximize the oncologic outcomes and limit post-operative complications<sup>21</sup>. Abdominal CTA is the reference standard for staging the tumor and planning the surgery. The cortico-medullary phase is usually used to assess the arterial system and the urographic phase to evaluate the proximity to the renal collecting system<sup>22</sup>. Anatomy-based nephrometry scores have been developed to help clinicians to characterize the renal mass and its relationship to adjacent structures<sup>23</sup>. Among them, the RENAL score and the PADUA classification are widely used and they are highly correlated<sup>24</sup>. Several studies have demonstrated their interest to predict the risk of complications including blood loss, length of hospital stay, ischemia time and post-operative renal function<sup>21,24-27</sup>. They are efficient tools for the decision-making of the surgical approach to the renal mass<sup>1,28</sup>.

Although the field is in its infancy, AI may bring new insights in renal oncology<sup>29,30</sup> and offers perspectives to enhance imaging analysis. Several authors investigated the interest of radiomics to develop new methods for renal mass characterization<sup>31-34</sup>. Radiomics allows to extract and analyze a large amount of quantitative data from imaging, which can then be used to identify patterns and develop classifications based on Machine Learning (ML) approach<sup>30-32</sup>. Studies developed so far have demonstrated the potential interest to use ML to enhance the diagnosis of renal cancer by enabling classification of RCC from benign neoplasms among solid renal masses<sup>34</sup>. Other investigators also highlighted the potential interest of radiomics to better assess the tumor response to treatment<sup>33</sup>. Nevertheless, all these developed AI-algorithms would require further external validation in larger cohorts before using them from research to clinical practice.

Only a few studies have addressed so far the use of AI-derived methods to facilitate the pre-operative planning and the assessment of nephrometry scores. Several authors described the use of 3D modeling and 3D printing to visualize the renal tumor and its relationships within the organ<sup>35</sup>. This method may potentially help the surgical team to evaluate the anatomical complexity and could also be used as a tool for education and patients counseling<sup>35-37</sup>.

3D virtual models (VM) have also been proposed to evaluate the PADUA and the RENAL scores and they demonstrated their interest to better assess the tumour depth and its relationships with intrarenal structures <sup>38</sup>.

In this study, we demonstrated the feasibility to use a DL algorithm to segment the kidneys and the renal mass and to perform a fast and automatic 3D visualization. The method demonstrated a good concordance with currently commercialized software for grading the RENAL and the PADUA scores by a human operator. Based on the pipeline, several improvements can be proposed. By implementing additional algorithms trained on a larger labeled dataset, we aim to fully automatize the evaluation of the anatomic parameters included in the RENAL and the PADUA scores. This kind of application would be of interest in clinical practice to facilitate and standardize the pre-operative planning. In addition, other nephrometry scores such as the centrality index (C-index) or the contact surface area have demonstrated their interest to predict complexity and outcomes of the surgical treatment <sup>12,21,26,39</sup>. Further studies would be of interest to evaluate the feasibility to use the automatic software to assess these scores.

## **6- Conclusion**

Based on DL algorithm, the new imaging software enabled an automatic detection and a 3D visualization of RCC from CTA scans. This pilot study demonstrated the feasibility to use it to evaluate the parameters included in the RENAL and the PADUA scores. Although further studies on larger cohorts are required, this application could be useful to enhance the pre-surgical planning by improving the standardization, the reproducibility and limiting the computational time.

**Funding:** none

**Acknowledgements:** none

**Compliance with Ethical Standards:**

Disclosure of potential conflicts of interest: The authors declare no conflict of interest.

Research involving Human Participants and informed consent:

All procedures performed were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments. Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

## 7- Références

1. Shi N, Zu F, Shan Y, et al. The value of renal score in both determining surgical strategies and predicting complications for renal cell carcinoma: A systematic review and meta-analysis. *Cancer Med.* 2020;9(11):3944-3953.
2. Siegel RL, Miller KD, Fuchs HE, Jemal A. Cancer Statistics, 2021. *CA Cancer J Clin.* 2021;71(1):7-33.
3. Bensalah K, Albiges L, Bernhard JC, et al. [French ccAFU guidelines - Update 2018-2020: Management of kidney cancer]. *Prog Urol.* 2018;28 Suppl 1:R5-R33.
4. Ljungberg B, Albiges L, Abu-Ghanem Y, et al. European Association of Urology Guidelines on Renal Cell Carcinoma: The 2019 Update. *Eur Urol.* 2019;75(5):799-810.
5. Gill IS, Aron M, Gervais DA, Jewett MA. Clinical practice. Small renal mass. *N Engl J Med.* 2010;362(7):624-634.
6. Minervini A, Mari A, Ficarra V, Porpiglia F, Carini M. RECORD1 project: what have we learned? *Minerva Urol Nefrol.* 2018;70(1):1-3.
7. Xia L, Wang X, Xu T, Guzzo TJ. Systematic Review and Meta-Analysis of Comparative Studies Reporting Perioperative Outcomes of Robot-Assisted Partial Nephrectomy Versus Open Partial Nephrectomy. *J Endourol.* 2017;31(9):893-909.
8. Chang KD, Abdel Raheem A, Kim KH, et al. Functional and oncological outcomes of open, laparoscopic and robot-assisted partial nephrectomy: a multicentre comparative matched-pair analyses with a median of 5 years' follow-up. *BJU Int.* 2018;122(4):618-626.
9. Motoyama D, Aki R, Matsushita Y, et al. Early Single-Center Experience with Robotic Partial Nephrectomy Using the da Vinci Xi: Comparative Assessment with Conventional Open Partial Nephrectomy. *Curr Urol.* 2019;13(1):13-18.
10. Kutikov A, Uzzo RG. The R.E.N.A.L. nephrometry score: a comprehensive standardized system for quantitating renal tumor size, location and depth. *J Urol.* 2009;182(3):844-853.
11. Simmons MN. Morphometric characterization of kidney tumors. *Curr Opin Urol.* 2011;21(2):99-103.
12. Simmons MN, Ching CB, Samplaski MK, Park CH, Gill IS. Kidney tumor location measurement using the C index method. *J Urol.* 2010;183(5):1708-1713.
13. Wadle J, Hetjens S, Winter J, et al. Nephrometry Scores: The Effect of Imaging on

- Routine Read-out and Prediction of Outcome of Nephron-sparing Surgery. *Anticancer Res.* 2018;38(5):3037-3041.
14. Ficarra V, Novara G, Secco S, et al. Preoperative aspects and dimensions used for an anatomical (PADUA) classification of renal tumours in patients who are candidates for nephron-sparing surgery. *Eur Urol.* 2009;56(5):786-793.
  15. Chen J, Remulla D, Nguyen JH, et al. Current status of artificial intelligence applications in urology and their potential to influence clinical practice. *BJU Int.* 2019.
  16. Checcucci E, Autorino R, Cacciamani GE, et al. Artificial intelligence and neural networks in urology: current clinical applications. *Minerva Urol Nefrol.* 2020;72(1):49-57.
  17. Goldenberg SL, Nir G, Salcudean SE. A new era: artificial intelligence and machine learning in prostate cancer. *Nat Rev Urol.* 2019;16(7):391-403.
  18. Heller N, Sathianathan N., Kalapara, A., Walczak, E., Moore, K., Kaluzniak, H., Rosenberg, J., Blake, P., Rengel, Z., Oestreich, M., Dean, J., Tradewell, M., Shah, A., Tejpal, R., Edgerton, Z., Peterson, M., Raza, S., Regmi, S., Papanikolopoulos, N., Weight, C. (2019) Data from C4KC-KiTS [Data set]. The Cancer Imaging Archive. DOI: 10.7937/TCIA.2019.IX49E8NX.
  19. Ronneberger O.FP, Brox T. (2015) U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In: Navab N., Hornegger J., Wells W., Frangi A. (eds) Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015. MICCAI 2015. Lecture Notes in Computer Science, vol 9351. Springer, Cham.
  20. 2020 ahaoaAM.
  21. Klatt T, Ficarra V, Gratzke C, et al. A Literature Review of Renal Surgical Anatomy and Surgical Strategies for Partial Nephrectomy. *Eur Urol.* 2015;68(6):980-992.
  22. Kang SK, Chandarana H. Contemporary imaging of the renal mass. *Urol Clin North Am.* 2012;39(2):161-170, vi.
  23. Lieser G, Simmons MN. Developments in kidney tumor nephrometry. *Postgrad Med.* 2011;123(3):35-42.
  24. Bylund JR, Gayheart D, Fleming T, et al. Association of tumor size, location, R.E.N.A.L., PADUA and centrality index score with perioperative outcomes and postoperative renal function. *J Urol.* 2012;188(5):1684-1689.
  25. Waldert M, Waalkes S, Klatt T, et al. External validation of the preoperative anatomical classification for prediction of complications related to nephron-sparing surgery. *World J Urol.* 2010;28(4):531-535.



26. Okhunov Z, Rais-Bahrami S, George AK, et al. The comparison of three renal tumor scoring systems: C-Index, P.A.D.U.A., and R.E.N.A.L. nephrometry scores. *J Endourol.* 2011;25(12):1921-1924.
27. Simmons MN, Hillyer SP, Lee BH, Fergany AF, Kaouk J, Campbell SC. Nephrometry score is associated with volume loss and functional recovery after partial nephrectomy. *J Urol.* 2012;188(1):39-44.
28. Canter D, Kutikov A, Manley B, et al. Utility of the R.E.N.A.L. nephrometry scoring system in objectifying treatment decision-making of the enhancing renal mass. *Urology.* 2011;78(5):1089-1094.
29. Giulietti M, Cecati M, Sabanovic B, et al. The Role of Artificial Intelligence in the Diagnosis and Prognosis of Renal Cell Tumors. *Diagnostics (Basel).* 2021;11(2).
30. Kocak B, Kaya OK, Erdim C, Kus EA, Kilickesmez O. Artificial Intelligence in Renal Mass Characterization: A Systematic Review of Methodologic Items Related to Modeling, Performance Evaluation, Clinical Utility, and Transparency. *AJR Am J Roentgenol.* 2020;215(5):1113-1122.
31. Lubner MG. Radiomics and Artificial Intelligence for Renal Mass Characterization. *Radiol Clin North Am.* 2020;58(5):995-1008.
32. Kocak B, Kus EA, Yardimci AH, Bektas CT, Kilickesmez O. Machine Learning in Radiomic Renal Mass Characterization: Fundamentals, Applications, Challenges, and Future Directions. *AJR Am J Roentgenol.* 2020;215(4):920-928.
33. Khene ZE, Mathieu R, Peyronnet B, et al. Radiomics can predict tumour response in patients treated with Nivolumab for a metastatic renal cell carcinoma: an artificial intelligence concept. *World J Urol.* 2020.
34. Zabihollahy F, Schieda N, Krishna S, Ukwatta E. Automated classification of solid renal masses on contrast-enhanced computed tomography images using convolutional neural network with decision fusion. *Eur Radiol.* 2020;30(9):5183-5190.
35. Michiels C, Boulenger de Hauteclouque A, Sarrazin J, et al. [Use of personalized 3D printed kidney models for partial nephrectomy]. *Prog Urol.* 2020;30(15):970-975.
36. Porpiglia F, Bertolo R, Checcucci E, et al. Development and validation of 3D printed virtual models for robot-assisted radical prostatectomy and partial nephrectomy: urologists' and patients' perception. *World J Urol.* 2018;36(2):201-207.
37. Porpiglia F, Amparore D, Checcucci E, et al. Current Use of Three-dimensional Model Technology in Urology: A Road Map for Personalised Surgical Planning. *Eur Urol Focus.* 2018;4(5):652-656.

38. Porpiglia F, Amparore D, Checcucci E, et al. Three-dimensional virtual imaging of renal tumours: a new tool to improve the accuracy of nephrometry scores. *BJU Int.* 2019;124(6):945-954.
39. Leslie S, Gill IS, de Castro Abreu AL, et al. Renal tumor contact surface area: a novel parameter for predicting complexity and outcomes of partial nephrectomy. *Eur Urol.* 2014;66(5):884-893.

## 8- Annexes

Characteristics (n=41)		Data
General characteristics	Age (years)	66 (57 – 70)
	Male sex	33 (80.5%)
	Diabetes	12 (29.3%)
	Arterial hypertension	21 (51.2%)
	Dyslipidemia	16 (39%)
	Smoking	13 (31.7%)
	Clinical risk scores	Charlson comorbidity index
Estimated 10-year survival		21 (2- 53)
ASA score=1		2 (4.9%)
ASA score=2		24 (58.5%)
ASA score=3		14 (34.1%)
ASA score=4		1 (2.4%)
Pre-operative biological tests		Hemoglobin (g/dL)
	Creatinine ( $\mu\text{mol/L}$ )	82 (69- 95.3)
	eGFR ( $\text{mL/min/1.73m}^2$ )	80 (68.1- 96.5)
	Neutrophils ( $*10^9/\text{L}$ )	4.3 (3.4- 5.7)
	Lymphocytes ( $*10^9/\text{L}$ )	2.0 (1.6- 2.3)
	Platelets ( $*10^9/\text{L}$ )	239 (194- 289)
Radiological characteristics	TNM stage	
	. T1a	17 (41.5%)
	. T1b	21 (51.2%)
	. T2a	1 (2.4%)
	. T2b	0 (0%)
	. T3a	2 (4.9%)
	. T3b, T3c or T4	0 (0%)
	. N0	40 (97.5%)
	. N1	1 (2.4%)

Morphometric scores assessed by semi-automatic imaging software	. M0	40 (97.5%)
	. M1	1 (2.4%)
	Tumor size (cm)	4.4 (3.0- 5.8)
	PADUA score	9 (7- 11)
	PADUA score low ( $\leq 7$ )	11 (26.8%)
	PADUA score intermediate (8-9)	13 (31.7%)
	PADUA score high ( $\geq 10$ )	17 (41.5%)
	Renal score	8 (5.5- 9)
	Renal score low ( $\leq 6$ )	13 (31.7%)
	Renal score intermediate (7-9)	19 (46.3%)
	Renal score high ( $\geq 10$ )	9 (22%)

**Table 1:** Characteristics of patients who underwent nephrectomy for renal carcinoma.

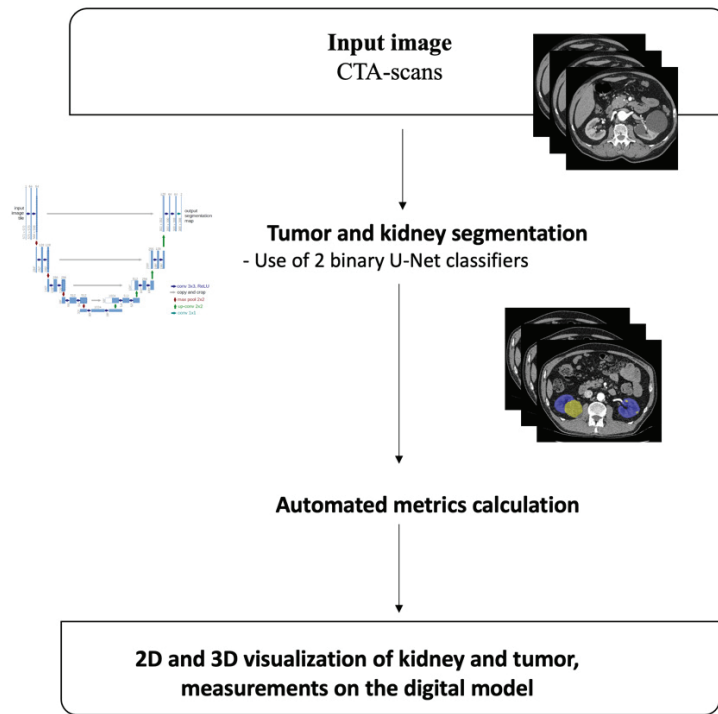
Values are median (interquartile range) or n (%). % are expressed compared to the population

(41 patients). ASA score: American Society of Anaesthesiology

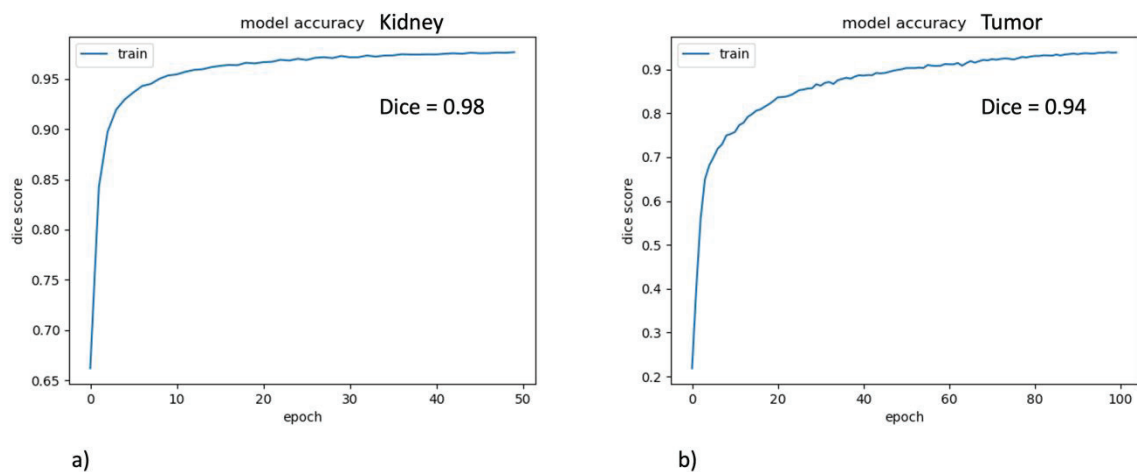
eGFR: estimated glomerular filtration rate according to the CKD-EPI formula

Morphometric parameters	Concordance
Renal score	
. Radius	36/ 41 (87.8%)
. Exophytic rate	35/ 41 (85.4%)
. Location compared to the polar lines	34/ 41 (82.9%)
. Antero-posterior location	38/ 41 (92.7%)
PADUA score	
. Tumor size	37/ 41 (90.2%)
. Exophytic rate	35/ 41 (85.4%)
. Polar location	36/ 41 (87.8%)
. Renal rim	41/ 41 (100%)

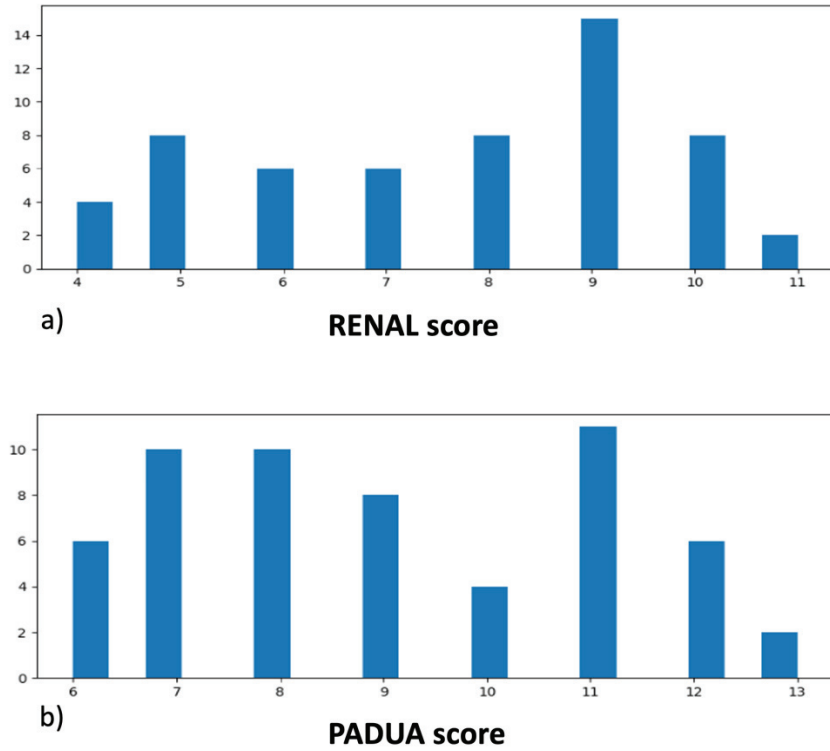
**Table 2:** Concordance of morphometric parameters evaluated in the RENAL and the PADUA scores between the semi-automatic commercialized method and the fully automatic method (MAAATIS)



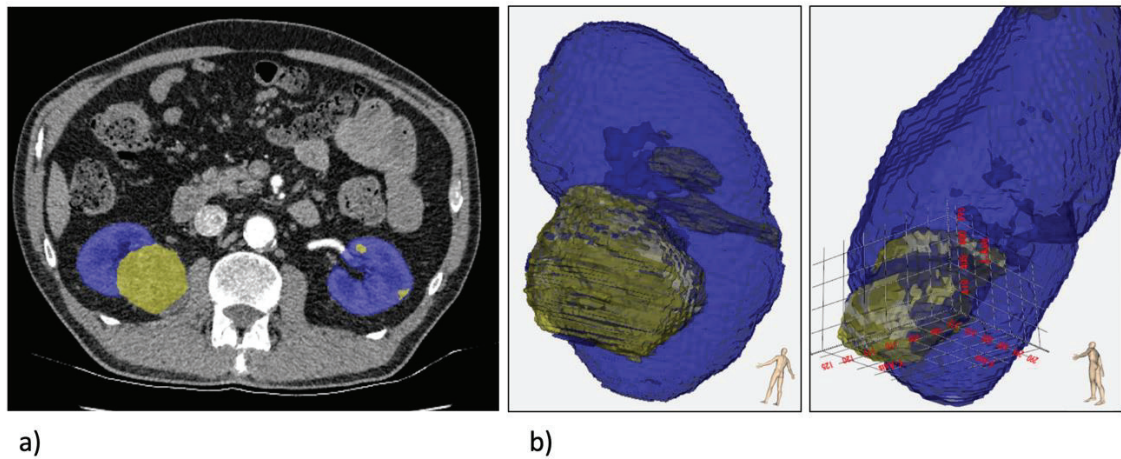
**Figure 1:** Pipeline to enable an automatic detection and 3D-visualization of the tumoral kidney. Based on input CTA scans images, a 2 binary U-Net classifier is applied to segment the kidney and the tumor. Metrics are automatically calculated and 3D-visualization of the region of interest is generated.



**Figure 2:** Performance of the training of the DL algorithm for kidney (a) and tumor segmentation (b)



**Figure 3:** Distribution of the RENAL (a) and the PADUA (b) scores within the testing dataset



**Figure 4:** Representative images of user interface and 3D-visualization with the automatic software. (a) CTA axial section with automatic detection of the kidneys (blue) and the tumor (green). (b) 3D-visualization of the kidneys (blue) and the tumor (green). The measurement of the size of the tumor is achieved thanks to scales arranged by the software on bounding boxes of the organs.

### III. Références

1. Ljungberg B, Albiges L, Abu-Ghanem Y, Bensalah K, Dabestani S, Montes SFP, et al. European Association of Urology Guidelines on Renal Cell Carcinoma: The 2019 Update. *Eur Urol*. 2019;75(5):799–810.
2. Bensalah K, Albiges L, Bernhard JC, Bigot P, Bodin T, Boissier R, et al. Erratum: French ccAFU guidelines – Update 2018–2020: Management of kidney cancer (*Progrès en Urologie* (2018) 28(12S) (S3–S31), (S116670871830558X), (10.1016/j.purol.2018.09.009)). *Prog en Urol [Internet]*. 2018;28(2018):R5–33. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.purol.2019.01.004>
3. Campbell S, Uzzo RG, Allaf ME, Bass EB, Cadeddu JA, Chang A, et al. Renal Mass and Localized Renal Cancer: AUA Guideline. *J Urol [Internet]*. 2017;198(3):520–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.juro.2017.04.100>
4. Simmons MN, Fergany AF, Campbell SC. Effect of parenchymal volume preservation on kidney function after partial nephrectomy. *J Urol [Internet]*. 2011;186(2):405–10. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.juro.2011.03.154>
5. Minervini A, Mari A, Ficarra V, Porpiglia F, Carini M. RECORd1 project: What have we learned? *Minerva Urol e Nefrol*. 2018;70(1):1–3.
6. Rogers C, Larson J, Ball MW, Marshall S, Kumar R, Wang Y, et al. Page 1 of 64 1 [Internet]. Vol. 21, *Uro*. 2017. 924–929 p. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s12957-016-0971-9>  
<https://doi.org/10.1016/j.uro.2018.06.012>  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.uro.2011.08.004>
7. Chang KD, Abdel Raheem A, Kim KH, Oh CK, Park SY, Kim YS, et al. Functional and oncological outcomes of open, laparoscopic and robot-assisted partial nephrectomy: a multicentre comparative matched-pair analyses with a median of 5 years' follow-up. *BJU Int*. 2018;122(4):618–26.
8. Khene ZE, Peyronnet B, Bernhard JC, Kocher NJ, Vaessen C, Doumerc N, et al. A preoperative nomogram to predict major complications after robot assisted partial nephrectomy (UroCCR-57 study). *Urol Oncol Semin Orig Investig*. 2019;37(9):577.e1-577.e7.
9. Motoyama D, Aki R, Matsushita Y, Tamura K, Ito T, Sugiyama T, et al. Early Single-Center Experience with Robotic Partial Nephrectomy Using the da Vinci Xi:



- Comparative Assessment with Conventional Open Partial Nephrectomy. *Curr Urol*. 2019;13(1):13–8.
10. Peyronnet B, Bensalah K. Néphrectomie partielle dans les indications électives: Jusqu'ou doit-on aller? *Prog en Urol* [Internet]. 2015;25(3):145–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.puro.2014.11.009>
  11. Kutikov A, Uzzo RG. The R.E.N.A.L. Nephrometry Score: A Comprehensive Standardized System for Quantitating Renal Tumor Size, Location and Depth. *J Urol* [Internet]. 2009;182(3):844–53. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.juro.2009.05.035>
  12. Simmons MN. Morphometric characterization of kidney tumors. *Curr Opin Urol*. 2011;21(2):99–103.
  13. Simmons MN, Ching CB, Samplaski MK, Park CH, Gill IS. Kidney Tumor Location Measurement Using the C Index Method. *J Urol* [Internet]. 2010;183(5):1708–13. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.juro.2010.01.005>
  14. Wadle J, Hetjens S, Winter J, Mühlbauer J, Neuberger M, Waldbillig F, et al. Nephrometry scores: The effect of imaging on routine read-out and prediction of outcome of nephron-sparing surgery. *Anticancer Res*. 2018;38(5):3037–41.
  15. Ficarra V, Novara G, Secco S, Macchi V, Porzionato A, De Caro R, et al. Preoperative Aspects and Dimensions Used for an Anatomical (PADUA) Classification of Renal Tumours in Patients who are Candidates for Nephron-Sparing Surgery. *Eur Urol*. 2009;56(5):786–93.
  16. Hosny A, Parmar C, Quackenbush J, Schwartz LH, Aerts HJWL. Artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Cancer* [Internet]. 2018;18(8):500–10. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/s41568-018-0016-5>
  17. Lecun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. *Nature*. 2015;521(7553):436–44.
  18. Raffört J, Adam C, Carrier M, Lareyre F. Fundamentals in Artificial Intelligence for Vascular Surgeons. *Ann Vasc Surg* [Internet]. 2020;65:254–60. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2019.11.037>
  19. Panch T, Szolovits P, Atun R. Artificial intelligence, machine learning and health systems. *J Glob Health*. 2018;8(2):1–8.
  20. Rajkomar A, Dean J, Kohane I. Machine Learning in Medicine. *N Engl J Med*. 2019;380(14):1347–58.
  21. Durand M, Shaikh A, Billi M, Lechevallier E. Artificial intelligence applications in medicine: Growing opportunities and research challenges. *Prog en Urol - FMC*

- [Internet]. 2020;30(2):F63–8. Available from:  
<https://doi.org/10.1016/j.fpurol.2020.02.001>
22. Moglia A, Ferrari V, Morelli L, Ferrari M, Mosca F, Cuschieri A. A Systematic Review of Virtual Reality Simulators for Robot-assisted Surgery. *Eur Urol* [Internet]. 2016;69(6):1065–80. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eururo.2015.09.021>
  23. Black KM, Law H, Aldoukhi A, Deng J, Ghani KR. Deep learning computer vision algorithm for detecting kidney stone composition. *BJU Int*. 2020;125(6):920–4.
  24. Thomas T. Automated systems comparable to expert pathologists for prostate cancer Gleason grading. *Nat Rev Urol* [Internet]. 2020;17(3):131. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/s41585-020-0294-z>

## Serment d'Hippocrate

Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque.

## Résumé

**Purpose:** Image-based morphometric scoring systems such as the RENAL and PADUA scores are useful to evaluate the complexity of partial nephrectomy for renal cell carcinoma (RCC). The aim was to develop an imaging software to enable an automatic detection and a 3D-visualization of RCC from CT scans to evaluate the parameters included in the RENAL and the PADUA scores.

**Methods:** A training dataset of 210 patients CTA-scans manually segmented for kidney and renal tumor was used to train a deep learning algorithm to develop the automatic 3D-visualization of RCC. The testing dataset consisted of 41 CTA from patients with RCC. RENAL and PADUA scores were assessed by a trained operator on a semi-automatic commercialized software and concordance of the staging were compared with the automatic software.

**Results:** The median PADUA score was 9 (7- 11) and the RENAL score was 8 (5.5- 9). The automatic software enabled to automatically detect the tumoral kidney and provided a 3D-visualization in all cases, with a computational time less than 20 seconds. Concordances for staging the anatomical features of the RENAL scores were respectively: 87.8% for radius, 85.4% for exophytic rate, 82.9% for location to the polar lines and 92.7% for the antero-posterior location. For the PADUA scores, concordances were 90.2% for tumor size, 85.4% for exophytic rate, 87.8% for polar location and 100% for renal rim.

**Conclusion:** By enabling an automatic 3D-visualization of tumoral kidney, this software could help to calculate morphometric scores, save time and improve reproducibility for clinicians.

## « *Si* », Rudyard Kipling (1895)

Si tu peux voir détruit l'ouvrage de ta vie  
Et sans dire un seul mot te mettre à rebâtir,  
Ou perdre en un seul coup le gain de cent parties  
Sans un geste et sans un soupir ;

Si tu peux être amant sans être fou d'amour,  
Si tu peux être fort sans cesser d'être tendre,  
Et, te sentant haï, sans haïr à ton tour,  
Pourtant lutter et te défendre ;

Si tu peux supporter d'entendre tes paroles  
Travesties par des gueux pour exciter des sots,  
Et d'entendre mentir sur toi leurs bouches folles  
Sans mentir toi-même d'un mot ;

Si tu peux rester digne en étant populaire,  
Si tu peux rester peuple en conseillant les rois,  
Et si tu peux aimer tous tes amis en frère,  
Sans qu'aucun d'eux soit tout pour toi ;

Si tu sais méditer, observer et connaître,  
Sans jamais devenir sceptique ou destructeur,  
Rêver, mais sans laisser ton rêve être ton maître,  
Penser sans n'être qu'un penseur ;

Si tu peux être dur sans jamais être en rage,  
Si tu peux être brave et jamais imprudent,  
Si tu sais être bon, si tu sais être sage,  
Sans être moral ni pédant ;

Si tu peux rencontrer Triomphe après Défaite  
Et recevoir ces deux menteurs d'un même front,  
Si tu peux conserver ton courage et ta tête  
Quand tous les autres les perdront,

Alors les Rois, les Dieux, la Chance et la Victoire  
Seront à tous jamais tes esclaves soumis,  
Et, ce qui vaut mieux que les Rois et la Gloire  
Tu seras un homme, mon fils.