

FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE DE ROUEN

ANNEE 2014

N°

THESE POUR LE DOCTORAT EN MEDECINE

(Diplôme d'Etat)

PAR

Melle FEKIR Amel

Née le 30/03/1985 à Paris

PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 26 SEPTEMBRE 2014

Etude de la composition des calculs urinaires en imagerie spectrale

PRESIDENT DU JURY: Professeur Jean Nicolas Dachet

DIRECTEUR DE THESE : Docteur Claire Werquin

**MEMBRES DU JURY : Professeur Céline Savoye-Collet
Professeur Emmanuel Gerardin
Docteur Athmane Safsaf**

ANNEE UNIVERSITAIRE 2013 - 2014
U.F.R. DE MEDECINE-PHARMACIE DE ROUEN

DOYEN : **Professeur Pierre FREGER**

ASSESEURS : **Professeur Michel GUERBET**
Professeur Benoit VEBER
Professeur Pascal JOLY
Professeur Bernard PROUST

DOYENS HONORAIRES : **Professeurs J. BORDE - Ph. LAURET - H. PIGUET – C. THUILLEZ**

PROFESSEURS HONORAIRES : **MM. M-P AUGUSTIN - J.ANDRIEU-GUITRANCOURT - M.BENOZIO - J.BORDE - Ph. BRASSEUR - R. COLIN - E. COMOY - J. DALION -, DESHAYES - C. FESSARD – J.P FILLASTRE - P.FRIGOT -J. GARNIER - J. HEMET - B. HILLEMAND - G. HUMBERT - J.M. JOUANY - R. LAUMONIER – Ph. LAURET - M. LE FUR – J.P. LEMERCIER - J.P LEMOINE - Mle MAGARD - MM. B. MAITROT - M. MAISONNET - F. MATRAY - P.MITROFANOFF - Mme A. M. ORECCHIONI - P. PASQUIS - H.PIGUET - M.SAMSON – Mme SAMSON-DOLLFUS – J.C. SCHRUB - R.SOYER - B.TARDIF -.TESTART - J.M. THOMINE – C. THUILLEZ - P.TRON - C.WINCKLER - L.M.WOLF**

PROFESSEURS

M. Frédéric ANSELME	HCN	Cardiologie
Mme Isabelle AUQUIT AUCKBUR	HCN	Chirurgie Plastique
M. Bruno BACHY	HCN	Chirurgie pédiatrique
M. Fabrice BAUER	HCN	Cardiologie
Mme Soumeya BEKRI	HCN	Biochimie et Biologie Moléculaire
M. Jacques BENICHOU médicale	HCN	Biostatistiques et informatique
M. Jean-Paul BESSOU vasculaire	HCN	Chirurgie thoracique et cardio-
Mme Françoise BEURET-BLANQUART réadaptation	CRMPR	Médecine physique et de
M. Guy BONMARCHAND	HCN	Réanimation médicale
M. Olivier BOYER	UFR	Immunologie
M. Jean-François CAILLARD (Surnombre)	HCN	Médecine et santé au Travail
M. François CARON	HCN	Maladies infectieuses et tropicales
M. Philippe CHASSAGNE	HB	Médecine interne (Gériatrie)
M. Vincent COMPERE chirurgicale	HCN	Anesthésiologie et réanimation
M. Alain CRIBIER (Surnombre)	HCN	Cardiologie
M. Antoine CUVELIER	HB	Pneumologie
M. Pierre CZERNICHOW santé	HCH	Epidémiologie, économie de la
M. Jean - Nicolas DACHER	HCN	Radiologie et Imagerie Médicale
M. Stéfan DARMONI	HCN	Informatique
		Médicale/Techniques
M. Pierre DECHELOTTE	HCN	Nutrition
Mme Danièle DEHESDIN	HCN	Oto-Rhino-Laryngologie
M. Jean DOUCET Gériatrie.	HB	Thérapeutique/Médecine – Interne -
M. Bernard DUBRAY	CB	Radiothérapie
M. Philippe DUCROTTE	HCN	Hépat – Gastro - Entérologie
M. Frank DUJARDIN Traumatologique	HCN	Chirurgie Orthopédique -
M. Fabrice DUPARC Orthopédique	HCN	Anatomie-Chirurgie
M. Bertrand DUREUIL chirurgicale	HCN	Anesthésiologie et réanimation
Mlle Hélène ELTCHANINOFF	HCN	Cardiologie
M. Thierry FREBOURG	UFR	Génétique
M. Pierre FREGER	HCN	Anatomie/Neurochirurgie
M. Jean François GEHANNO	HCN	Médecine et Santé au Travail
M. Emmanuel GERARDIN	HCN	Imagerie Médicale

Mme Priscille GERARDIN	HCN	Pédopsychiatrie
M. Michel GODIN	HB	Néphrologie
M. Philippe GRISE	HCN	Urologie
M. Didier HANNEQUIN	HCN	Neurologie
M. Fabrice JARDIN	CB	Hématologie
M. Luc-Marie JOLY	HCN	Médecine d'urgence
M. Pascal JOLY	HCN	Dermato - vénéréologie
M. Jean-Marc KUHN métaboliques	HB	Endocrinologie et maladies
Mme Annie LAQUERRIERE	HCN	Anatomie cytologie pathologiques
M. Vincent LAUDENBACH	HCN	Anesthésie et réa. chirurgicale
M. Joël LECHEVALLIER	HCN	Chirurgie infantile
M. Hervé LEFEBVRE métaboliques	HB	Endocrinologie et mal.
M. Thierry LEQUERRE	HB	Rhumatologie
M. Eric LEREBOURS	HCN	Nutrition
Mlle Anne-Marie LEROI	HCN	Physiologie
M. Hervé LEVESQUE	HB	Médecine interne
Mme Agnès LIARD-ZMUDA	HCN	Chirurgie Infantile
M. Pierre Yves LITZLER	HCN	Chirurgie Cardiaque
M. Bertrand MACE cytogénétique	HCN	Histologie, embryologie,
M. Eric MALLET (Surnombre)	HCN	Pédiatrie
M. Christophe MARGUET	HCN	Pédiatrie
Mlle Isabelle MARIE	HB	Médecine Interne
M. Jean-Paul MARIE	HCN	ORL
M. Loïc MARPEAU	HCN	Gynécologie - obstétrique
M. Stéphane MARRET	HCN	Pédiatrie
Mme Véronique MERLE	HCN	Epidémiologie
M. Pierre MICHEL	HCN	Hépto - Gastro - Entérologie
M. Francis MICHOT	HCN	Chirurgie digestive
M. Bruno MIHOUT (Surnombre)	HCN	Neurologie
M. Jean-François MUIR	HB	Pneumologie
M. Marc MURAINÉ	HCN	Ophtalmologie
M. Philippe MUSETTE	HCN	Dermatologie - Vénéréologie
M. Christophe PEILLON	HCN	Chirurgie générale
M. Jean-Marc PERON faciale	HCN	Stomatologie et chirurgie maxillo-
M. Christian PFISTER	HCN	Urologie
M. Jean-Christophe PLANTIER	HCN	Bactériologie - Virologie
M. Didier PLISSONNIER	HCN	Chirurgie vasculaire
M. Bernard PROUST	HCN	Médecine légale
M. François PROUST	HCN	Neurochirurgie
Mme Nathalie RIVES reprod.	HCN	Biologie et méd. du dévelop. et de la
M. Jean-Christophe RICHARD (Mise en dispo) d'urgence	HCN	Réanimation Médicale, Médecine

M. Horace ROMAN	HCN	Gynécologie Obstétrique
M. Jean-Christophe SABOURIN	HCN	Anatomie – Pathologie
M. Guillaume SAVOYE	HCN	Hépatogastro
Mme Céline SAVOYE – COLLET	HCN	Imagerie Médicale
M. Michel SCOTTE	HCN	Chirurgie digestive
Mme Fabienne TAMION	HCN	Thérapeutique
Mlle Florence THIBAUT	HCN	Psychiatrie d'adultes
M. Luc THIBERVILLE	HCN	Pneumologie
M. Christian THUILLEZ	HB	Pharmacologie
M. Hervé TILLY	CB	Hématologie et transfusion
M. François TRON (<i>Surnombre</i>)	UFR	Immunologie
M. Jean-Jacques TUECH	HCN	Chirurgie digestive
M. Jean-Pierre VANNIER	HCN	Pédiatrie génétique
M. Benoît VEBER chirurgicale	HCN	Anesthésiologie Réanimation
M. Pierre VERA l'image	C.B	Biophysique et traitement de
M. Eric VERIN	CRMPR	Médecine physique et de réadaptation
M. Eric VERSPYCK	HCN	Gynécologie obstétrique
M. Olivier VITTECOQ	HB	Rhumatologie
M. Jacques WEBER	HCN	Physiologie

MAITRES DE CONFERENCES

Mme Noëlle BARBIER-FREBOURG	HCN	Bactériologie – Virologie
M. Jeremy BELLIEN	HCN	Pharmacologie
Mme Carole BRASSE LAGNEL	HCN	Biochimie
Mme Mireille CASTANET	HCN	Pédiatrie
M. Gérard BUCHONNET	HCN	Hématologie
Mme Nathalie CHASTAN	HCN	Physiologie
Mme Sophie CLAEYSSSENS	HCN	Biochimie et biologie moléculaire
M. Moïse COEFFIER	HCN	Nutrition
M. Manuel ETIENNE	HCN	Maladies infectieuses et tropicales
M. Guillaume GOURCEROL	HCN	Physiologie
Mme Catherine HAAS-HUBSCHER chirurgicale	HCN	Anesthésie - Réanimation
M. Serge JACQUOT	UFR	Immunologie
M. Joël LADNER santé	HCN	Epidémiologie, économie de la
M. Jean-Baptiste LATOUCHE	UFR	Biologie Cellulaire
Mme Lucie MARECHAL-GUYANT	HCN	Neurologie
M. Thomas MOUREZ	HCN	Bactériologie
M. Jean-François MENARD	HCN	Biophysique
Mme Muriel QUILLARD	HCN	Biochimie et Biologie moléculaire
M. Vincent RICHARD	UFR	Pharmacologie
M. Francis ROUSSEL cytogénétique	HCN	Histologie, embryologie,

Mme Pascale **SAUGIER-VEBER**

HCN

Génétique

Mme Anne-Claire **TOBENAS-DUJARDIN**

HCN

Anatomie

PROFESSEUR AGREGÉ OU CERTIFIÉ

Mme Dominique **LANIEZ**

UFR

Anglais

Mme Cristina **BADULESCU**

UFR

Communication

**II -
PHARMACIE**

PROFESSEURS

M. Thierry BESSON	Chimie Thérapeutique
M. Jean-Jacques BONNET	Pharmacologie
M. Roland CAPRON (PU-PH)	Biophysique
M. Jean COSTENTIN (Professeur émérite)	Pharmacologie
Mme Isabelle DUBUS	Biochimie
M. Loïc FAVENNEC (PU-PH)	Parasitologie
M. Jean Pierre GOULLE	Toxicologie
M. Michel GUERBET	Toxicologie
M. Olivier LAFONT	Chimie organique
Mme Isabelle LEROUX	Physiologie
M. Paul MULDER	Sciences du médicament
Mme Martine PESTEL-CARON (PU-PH)	Microbiologie
Mme Elisabeth SEGUIN	Pharmacognosie
M Jean-Marie VAUGEOIS	Pharmacologie
M. Philippe VERITE	Chimie analytique

MAITRES DE CONFERENCES

Mle Cécile BARBOT	Chimie Générale et Minérale
Mme Dominique BOUCHER	Pharmacologie
M. Frédéric BOUNOURE	Pharmacie Galénique
M. Abdeslam CHAGRAOUI	Physiologie
M. Jean CHASTANG	Biomathématiques
Mme Marie Catherine CONCE-CHEMTOB santé	Législation pharmaceutique et économie de la
Mme Elizabeth CHOSSON	Botanique
Mle Cécile CORBIERE	Biochimie
M. Eric DITTMAR	Biophysique
Mme Nathalie DOURMAP	Pharmacologie
Mle Isabelle DUBUC	Pharmacologie
Mme Roseline DUCLOS	Pharmacie Galénique
M. Abdelhakim ELOMRI	Pharmacognosie
M. François ESTOUR	Chimie Organique
M. Gilles GARGALA (MCU-PH)	Parasitologie
Mme Najla GHARBI	Chimie analytique
Mle Marie-Laure GROULT	Botanique
M. Hervé HUE	Biophysique et Mathématiques
Mme Laetitia LE GOFF	Parasitologie Immunologie
Mme Hong LU	Biologie
Mme Sabine MENAGER	Chimie organique
Mme Christelle MONTEIL	Toxicologie

M. Mohamed **SKIBA**

Pharmacie Galénique

Mme Malika **SKIBA**

Pharmacie Galénique

Mme Christine **THARASSE**

Chimie thérapeutique

M. Rémi **VARIN** (MCU-PH)

Pharmacie Hospitalière

M. Frédéric **ZIEGLER**

Biochimie

PROFESSEUR ASSOCIE

Mme Sandrine **PANCHOU**

Pharmacie Officinale

PROFESSEUR CONTRACTUEL

Mme Elizabeth **DE PAOLIS**

Anglais

ATTACHE TEMPORAIRE D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE

M. Mazim **MEKAOUI**

Chimie Analytique

Mlle Virginie **OXARAN**

Microbiologie

M. Romy **RAZAKANDRAINIBE**

Parasitologie

**III –
MEDECINE
GENERALE**

PROFESSEURS

M. Jean-Loup **HERMIL** UFR Médecine générale

PROFESSEURS ASSOCIES A MI-TEMPS :

M. Pierre **FAINCILBER** UFR Médecine générale

M. Alain **MERCIER** UFR Médecine générale

M. Philippe **NGUYEN THANH** UFR Médecine générale

MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE A MI-TEMPS :

M Emmanuel **LEFEBVRE** UFR Médecine générale

Mme Elisabeth **MAUVIARD** UFR Médecine générale

Mme Marie Thérèse **THUEUX** UFR Médecine générale

CHEF DES SERVICES ADMINISTRATIFS : Mme Véronique DELAFONTAINE

HCN - Hôpital Charles Nicolle

GUILLAUME

CB - Centre HENRI BECQUEREL

Spécialisé du Rouvray

CRMPR - Centre Régional de Médecine Physique et de Réadaptation

HB - Hôpital de BOIS

CHS - Centre Hospitalier

LISTE DES RESPONSABLES DE DISCIPLINE

Melle Cécile BARBOT	Chimie Générale et Minérale
M. Thierry BESSON	Chimie thérapeutique
M. Roland CAPRON	Biophysique
M Jean CHASTANG	Mathématiques
Mme Marie-Catherine CONCE-CHEMTOB	Législation, Economie de la Santé
Mle Elisabeth CHOSSON	Botanique
M. Jean-Jacques BONNET	Pharmacodynamie
Mme Isabelle DUBUS	Biochimie
M. Loïc FAVENNEC	Parasitologie
M. Michel GUERBET	Toxicologie
M. Olivier LAFONT	Chimie organique
Mme Isabelle LEROUX-NICOLLET	Physiologie
Mme Martine PESTEL-CARON	Microbiologie
Mme Elisabeth SEGUIN	Pharmacognosie
M. Mohamed SKIBA	Pharmacie Galénique
M. Philippe VERITE	Chimie analytique

ENSEIGNANTS MONO-APPARTENANTS

MAITRES DE CONFERENCES

M. Sahil ADRIOUCH	Biochimie et biologie moléculaire	(Unité Inserm 905)
Mme Gaëlle BOUGEARD-DENOYELLE	Biochimie et biologie moléculaire	(UMR 1079)
Mme Carine CLEREN	Neurosciences (Néovasc)	
Mme Pascaline GAILDRAT	Génétique moléculaire humaine	(UMR 1079)
M. Antoine OUVRARD-PASCAUD	Physiologie (Unité Inserm 1076)	
Mme Isabelle TOURNIER	Biochimie (UMR 1079)	

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

M. Serguei **FETISSOV**

Physiologie (Groupe ADEN)

Mme Su **RUAN**

Génie Informatique

Par délibération en date du 3 mars 1967, la faculté a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

REMERCIEMENTS

Au jury :

Au Professeur DACHER,
Professeur de radiologie et chef du service de radiologie du CHU de ROUEN
Je vous remercie pour votre enseignement et votre encadrement pendant ces nombreuses années à vos côtés.
Je suis très honorée et vous remercie très chaleureusement d'être le président du jury de ma thèse.

Au Professeur GERARDIN,
Professeur de radiologie au CHU de ROUEN
Vous m'avez permis d'apprécier une spécialité vers laquelle je n'étais a priori pas tournée.
Pour votre écoute et vos conseils je vous serez toujours reconnaissante.

Au Professeur SAVOYE-COLLET,
Professeur de radiologie au CHU de ROUEN
Je vous remercie de bien vouloir juger cette thèse. Mon semestre en imagerie digestive et urologique a été déterminant pour moi comme vous le savez.
Merci pour votre pédagogie et assistance pendant mon internat.

A Monsieur Athmane SAFSAF
Chef de Clinique Assistant en urologie au CHU de ROUEN
Merci d'avoir accepté de participer à mon jury de thèse. Ta rencontre dans le service d'urologie a marqué le début d'une belle amitié que j'affectionne particulièrement.
Saches que tu m'as beaucoup apporté urologiquement mais aussi humainement.

A Madame Claire WERQUIN,
Praticien Hospitalier en radiologie du CHU de Rouen, directrice de cette thèse
Merci d'avoir accepté de diriger cette thèse.. L'imagerie urologique nous a lié rapidement Une vraie amitié entre nous est née et je te remercie pour ton soutien et ta patience. Je te souhaite le meilleur pour tes nouveaux projets à venir.

Aux amis et équipes du CHU de Rouen :

A Valérie, mon rayon de soleil rouennais.. une amie fidèle et de très grande valeur... qui sera toujours dans mon cœur malgré la distance nous séparant, à Edouard, et à mon petit Gabriel dont je suis follement gaga depuis sa naissance....que notre belle amitié perdure est mon plus grand souhait !!

A Asmaa, pour tes conseils, ta patience et ton sérieux, tu es bien plus qu' une amie fidèle...

A Florence, ma florinette adorée (je ne sais pas d'où j'ai sorti ce mot il a du naître au Havre... ?) pour tous les moments de joie partagés ensemble ,pour ton hyperactivité et ton dynamisme à toute épreuve !

A Laurence, ma voisine robinsonnaise, le destin nous a rapproché pour notre plus grand plaisir.. pour notre prochain voyage ensemble.... Pour une complicité de plus en plus présente... pour tes conseils et ton soutien... je te remercie d'être à mes côtés..

A Adrien, pour ta force tranquille, pour toutes les discussions constructives et intéressantes à Elbeuf mais aussi à Rouen...pour ton écoute.

A Greg from Miami, une espèce exotique qui était en voie de disparition au village mais qui a refait récemment surface à mon plus grand plaisir malgré le chassé-croisé... Merci pour ton implication auprès des internes.. et tes petits mots doux !

A Claire la rouennaise de la promo que j'ai appris à connaître en fin d'internat, je te souhaite une belle nouvelle vie auprès des tiens..

A Dorothée alias coconut et Sophie alias banana fried (j'insiste) , mes acolytes balinaises, merci pour votre amitié.. votre bonne humeur et votre écoute...nos vies se sont liées à un moment clé pour moi... pour tous nos délires balinais et extra balinais...

A Raph pour ta bonne humeur, pour m'avoir supporté...et épaulé... et pour nos pauses café interminables...

A Leila et Pascaline, mes chéries... pour nos fous rires.... Nos discussions philosophiques interminables... notre complicité.... Vous êtes dans mon cœur et croyez moi vous ne vous êtes pas débarrassées de moi... la maison est grande ouverte pour des we parisiens de folie....

A Clément, Benjamin, Valentin, Alexandre mes co internes devenus si rapidement chefs... pour votre assistance pendant l'internat....

A tous les autres internes de radio rouennais, Cécile, Anne-sophie, Nassar, Samuel, Laurent, Nicolas, Manu, Sonia, Malek, Micka, les Julien, Adnan.....pour avoir fait de cet internat un moment inoubliable... pour le soutien entre internes qui doit exister et persister...

A Cécile Martin, et à son petit grain de folie toujours présent , je te remercie de m'avoir encouragée dans la voie de l'imagerie de la femme, pas un geste d'interventionnel sénol n'est réalisé sans que je pense à toi et à tes conseils.. pour tous les bons moments extra hospitaliers passés ensemble et ceux restant à venir...

A Pierre –Hugues, une rencontre enrichissante et constructive.. une personne d'exception ... je te remercie pour ton soutien et te souhaite aussi une bonne continuation dans ta nouvelle voie...

A Hend et Maher, mes amis tunisiens, des chefs toujours présents et dévoués mais aussi des personnes au grand cœur... je ne vous oublierai jamais...

A Nath, notre foetopath de radiologie, une femme combative, merci pour ton soutien...

A Clément on a failli être co chefs...tu m'as oublié dans ta thèse, preuve en est que moi non... petite dédicace

A tous les autres chefs de radio, je vous remercie pour votre pédagogie et vos conseils Jérôme, Paul, Valentin, Benjamin, Jean-Pierre, Edith, Eléonore, Guillaume

A mes manip préférés de TDM,IRM et radios.... Une équipe génialissime....une grande famille...difficile à quitter et que je n'oublierai jamais... une larme a été versée à mon départ et vous me manquez.... Merci à tous pour votre soutien au quotidien..

Aux manip d'échographie, Nathalie, choupette et Sylviane .. des petites mamans pour nous les internes.... Et aux nouveaux manip d'écho ..Pour votre aide au quotidien malgré des conditions parfois difficiles....

A mes secrétaires préférées, Hélène Adam, Sandrine, Hélène Hamel (ma secrétaire personnelle parfois... sourire), Nathalie, Catherine, Christine, Mylène, Véronique, Sarah..... des rayons de soleil chaque jour par votre sourire et votre bonne humeur..

Aux PACSmen Mickael et Sebastien.... Nos sauveurs de chaque instant face aux consoles merci pour votre patience !!

Aux urologues qui m'ont gentiment accueilli dans leur service l'été dernier et auprès de qui j'ai pu approfondir une sur spécialité passionnante.

Merci au personnel du laboratoire de biochimie pour son accueil et la mise à disposition de son matériel.

Je remercie M. Bubenheim pour ses éclaircissements statistiques.

Aux services de radiologie du Havre et d'Elbeuf, pour leur accueil !

A ma famille et amis :

A mes parents, qui ont toujours été là pour moi, m'ont toujours guidé et conseillé, pour l'éducation et les valeurs morales que vous m'avez transmises, pour l'amour et le respect de mes prochains dont j'ai hérité, pour votre sagesse à toute épreuve....je ne saurais vous remercier autant qu'il le faudrait... croyez en mon amour éternel et inconditionnel ainsi qu'à ma profonde gratitude. Je vous dédie cette thèse. Vous êtes mes piliers, je ne serais rien sans vous...

A mon petit frère Salim, pour ton soutien, ta bienveillance, nos moments partagés et à encore partager ensemble... pour toute une belle vie... je te souhaite le meilleur. Sois heureux.... A bientôt ta thèse aussi Inch 'Allah...

A mes grands- parents maternels Ouassini et Halima, à qui on doit tous tout, pour nous avoir tout donné parfois à leurs dépens, pour leur amour inconditionnel et rayonnant....

A mes grands- parents paternels, à mon grand père qui est parti si tôt et à ma grand mère Aicha....

A ma tante Yamina, qui bien plus qu'une tante a toujours été à mes côtés dans les bons et mauvais moments, a toujours su me conseiller, me faire relativiser sur les aléas de la vie, à me dévergondé gentiment un peu aussi. Merci pour la richesse et

l'ouverture d'esprit dont tu as toujours fait preuve... Tu m'as beaucoup appris sur la vie....Je te serai toujours reconnaissante...

A mon oncle Khader, pour ton assistance, tes bons conseils et surtout ta bienveillance à l'égard de tes petits neveux. A Fatima et mes petits « neveux » que j'aime...

A mes autres tantes, Meriem, Sergent, Houria, Fatna, Leila et à mon défunt oncle Didine... pour une famille réunie et en pleine santé !

A mes oncles et tantes en Algérie que je connais malheureusement moins du fait de la distance et des évènements de guerre civile dramatiques survenus pendant mon enfance..

A Nawal, nous nous sommes connues sur les bancs de la faculté et nous nous sommes jamais quittées jusqu'à ton départ pour l'Alsace... tu as toujours été une sœur pour moi, que notre amitié se pérennise sera une de mes plus grandes forces. Merci pour ton soutien et ta présence..... Notre amitié est fondamentale pour moi..

A Abdel, tu es comme mon grand frère, pour ta bonne humeur, ton esprit protecteur envers moi.. ta petite tête de linotte.. et tous les moments de crainte mais aussi de fous rires partagés.... Et tous ceux que l'on partage et partagera ensemble.. n'oublie pas mon transat rose à gauche sur la terrasse face aux tomates cerises...en plein soleil à côté du tien et de Sam... que je remercie aussi...pr les pauses kawa sur les aires d'autoroute...

A Emeline, une amie fidèle de la petite enfance, une sœur et à son mari Laurent qui l'a emmené loin de moi mais pas de mon cœur !

A Pauline, ma meilleure amie de toujours, nous n'avons pas besoin de nous appeler régulièrement pour penser l'une à l'autre, pour tous les moments de bien être et douloureux que nous avons vécus ensemble... toujours avec sagesse et complicité...

A Pascaline et Alex, un couple d'amis très cher qui a toujours été à mes côtés même le jour de leur anniversaire de mariage (smile), merci pour votre assistance et votre bonne humeur !!

A Gwen et Damien ainsi que Lena et Julien, pour tous les bons moments passés ensemble... je vous souhaite beaucoup de bonheur et de vous agrandir prochainement....

A Maria, je te souhaite une belle vie à deux ... pour tous nos moments de fous rires au bad, nos moments de doutes... et de stress au boulot.... Je t'adore...

A Hélène et Slim, qui m'ont précédé à Rouen, beaucoup de bonheur pour votre petite famille !!

A la grande coloc et tous les potos du havre.... C'était que du bonheur.. on arrive en pleurant et on repart en s'accrochant aux murs... un an avec vous.... Une belle expérience humaine..

A tous ceux qui ont fait partie de ma vie ou qui feront mon avenir....

Table des matières

1	TABLE DES FIGURES ET DES TABLEAUX.....	17
2	LISTE DES ABREVIATIONS.....	18
3	GENERALITES.....	19
3.1	MALADIE LITHIASIQUE URINAIRE.....	19
3.1.1	DEFINITION ET EPIDEMIOLOGIE.....	19
3.1.1.1	Définition.....	19
3.1.1.2	Carte d'identité de la lithiase actuelle.....	19
3.1.1.3	Composition des calculs urinaires en France.....	20
3.1.1.4	Facteurs environnementaux.....	22
3.1.1.5	Facteurs génétiques.....	24
3.1.1.6	Récidive.....	24
3.1.1.7	Conséquences médico-économiques en France.....	25
3.1.2	PHYSIOPATHOLOGIE.....	26
3.1.2.1	Processus de lithogénèse :.....	26
3.1.2.2	Lithiases secondaires.....	30
3.1.3	DIAGNOSTIC.....	34
3.1.3.1	Diagnostic clinique.....	34
3.1.3.2	Diagnostic radiologique.....	37
3.1.3.3	Diagnostic biochimique.....	43
3.1.4	PRISE EN CHARGE UROLOGIQUE.....	45
3.1.4.1	Traitement de la Colique Néphrétique aigue.....	45
3.1.4.2	Les différentes modalités thérapeutiques d'élimination des calculs.....	45
3.1.4.3	Stratégie thérapeutique d'élimination des calculs.....	50
3.1.4.4	Evaluation métabolique et prévention secondaire de la maladie lithiasique.....	53
3.2	LA TDM DOUBLE ENERGIE.....	55
3.2.1	PRINCIPES PHYSIQUES FONDAMENTAUX EN TDM.....	55
3.2.1.1	Définition de quelques variables utilisées en scannographie.....	55
3.2.1.2	Production des rayons X.....	55
3.2.1.3	Interaction des rayons X avec la matière.....	56
3.2.2	PRINCIPE DE LA TDM DOUBLE ENERGIE.....	59
3.2.2.1	Définition.....	59
3.2.2.2	Historique.....	59
3.2.2.3	Principe général de fonctionnement.....	59
3.2.2.4	Système GE simple source avec alternance rapide des kilovoltages.....	62
3.2.2.5	Application à l'étude de la composition des calculs urinaires.....	65
3.2.2.6	Dosimétrie en TDM Double énergie.....	70
4	NOTRE ETUDE.....	71
5	CONCLUSION.....	97
6	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	98
7	ANNEXES.....	104

1 TABLE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

- FIGURE 1 : Prévalence actuelle de la lithiase dans différents pays (p21)
FIGURE 2 : Etapes de la lithogénèse (p27)
FIGURE 3 : Nature des substances cristallisables et espèces cristallines formées (p28)
FIGURE 4 : Valeur d'atténuation en UH d'un calcul et composition chimique (p40)
FIGURE 5 : Arbre décisionnel diagnostique devant la suspicion d'une CNA (p42)
FIGURE 6 : Spectre infrarouge de la whewellite (p44)
FIGURE 7 : Spectre infrarouge de l'acide urique (p44)
FIGURE 8 : Dispositif de LEC (p48)
FIGURE 9 : Effet photoélectrique (p56)
FIGURE 10 : Effet Compton (p57)
FIGURE 11 : Courbe d'atténuation de plusieurs éléments (iode, os et eau) : coefficient d'atténuation selon l'énergie photonique (p58)
FIGURE 12 : Spectre d'un tube fonctionnant à 80 et 140 kV (p60)
FIGURE 13 : Système double source utilisé actuellement par SIEMENS avec 2 tubes (p61)
FIGURE 14 : Système simple source utilisé actuellement par GE avec une alternance rapide des kilovoltages (p61)
FIGURE 15 : Système simple source utilisé actuellement par PHILIPS (p61)
FIGURE 16 : Procédure d'acquisition d'images de décomposition de matériaux et d'images monochromatiques dont la plus utilisée (70 keV) (p64)
FIGURE 17 : Placement du ROI au sein du calcul et courbe d'atténuation spectrale obtenue : exemple de l'acide urique (p67)
FIGURE 18 : Histogramme obtenu pour le ROI placé au sein du calcul d'acide urique (p67)
FIGURE 19 : Placement du ROI au sein du calcul et courbe d'atténuation spectrale obtenue : exemple de la cystine (p68)
FIGURE 20 : Histogramme obtenu pour le ROI placé au sein d'un calcul calcique mixte (p69)
- TABLEAU 1 : Fréquence des constituants majoritaires des calculs urinaires en France (p22)
TABLEAU 2 : Nature et fréquence des calculs purs de l'adulte en France (p22)
TABLEAU 3 : Fréquence des compositions observées dans les noyaux des calculs de l'adulte en France (p23)
TABLEAU 4 : Etiologies principales de la lithiase calcique secondaire (p32)
TABLEAU 5 : Etiologies principales de la lithiase urique secondaire (p33)
TABLEAU 6 : Mode de révélation de la lithiase urinaire (p35)
TABLEAU 7 : Radio-opacité sur ASP selon la composition chimique des calculs urinaires (p39)
TABLEAU 8 : Choix du traitement ablatif d'un calcul rénal selon la taille d'après les recommandations de l'AFU (p51)
TABLEAU 9 : Choix du traitement ablatif du calcul urétéral selon la localisation d'après les recommandations de l'AFU (p52)
TABLEAU 10 : Examens biologiques de première intention à réaliser lors du premier épisode (p54)
TABLEAU 11 : K-edge et numéro atomique selon la substance (p57)
TABLEAU 12 : Principales études en TDM Double énergie pour l'étude de la composition des calculs urinaires (p69)

2 LISTE DES ABREVIATIONS

AFU : Association Française d'Urologie
ASP : Abdomen sans préparation
CNA : Colique néphrétique aigue
EAU : European Association of Urology
ECBU : Examen cytobactériologique des urines
IMC : Indice de masse corporelle
LEC : Lithotripsie extra corporelle
mAs : milliampères
NLPC : Néphrolithotomie percutanée
PNA : Pyélonéphrite aigue
ROI : Région d'intérêt (region of interest)
TDM : Tomodensitométrie
TDM SE : Tomodensitométrie simple énergie
TDM DE : Tomodensitométrie double énergie
UH : Unités Hounsfield
UROTDM : Uro-tomodensitométrie
URS : Urétérorénoscopie

3 GENERALITES

3.1 MALADIE LITHIASIQUE URINAIRE

3.1.1 DEFINITION ET EPIDEMIOLOGIE

3.1.1.1 *Définition*

La terminologie « lithiase », venant du grec *lithos* (pierre) désigne la maladie liée à la formation de calculs dans les reins ou les voies urinaires. Le mot calcul vient du latin *calculus*, petit caillou utilisé par les comptables romains.

3.1.1.2 *Carte d'identité de la lithiase actuelle*

La prévalence de la lithiase urinaire est d'environ 10% chez l'adulte avec une progression actuelle dans les pays industrialisés, attribuée à l'évolution du niveau socio-économique et aux modifications du mode de vie et des habitudes alimentaires (Figure 1) . Elle apparaît comme une maladie des sociétés d'abondance au même titre que l'obésité et l'HTA.

Le risque d'être touché par la maladie lithiasique dans les pays développés est de 10-15 % (1).

Elle touche essentiellement les adultes entre la 3^e et la 6^e décennie avec un rapport hommes/femmes entre 1 et 2,5 (2).

Le calcul est de composition le plus souvent oxalocalcique dans les pays au niveau socio-économique moyen ou élevé.

La lithiase oxalocalcique tend à avoir une incidence croissante dans le monde. Elle atteint en moyenne 75% des hommes et 60% des femmes qui présentent des calculs.

La modification des habitudes alimentaires explique cette constatation dans les pays occidentaux avec une augmentation de la consommation de sel, protéines animales et sucres raffinés. Aussi la carte de fréquence de ce type de calcul est superposable à celle de la consommation de protéines animales, elle même reliée au revenu moyen par habitant.

Il existe actuellement une augmentation de la fréquence de la lithiase chez la femme en particulier aux Etats-Unis (3). Celle ci est probablement expliquée par une plus grande susceptibilité à développer de l'obésité et du diabète avec les changements de mode de vie constatés dans les pays industrialisés.

Il est aussi constaté une augmentation de la lithiase urique en particulier chez la femme ces dernières années, en France sa fréquence a augmenté de 37% chez la femme, lié à l'obésité et au diabète.

La proportion des calculs expulsés a été modifiée par les avancées techniques en urologie. A l'heure actuelle moins de 50% des calculs sont expulsés sous l'effet du seul traitement médical. Cette évolution est liée au recours précoce à la lithotripsie extra corporelle (LEC) et/ou aux techniques d'endo-urologie. La tendance n'est donc plus d'attendre l'expulsion spontanée grevée d'une certaine morbidité.

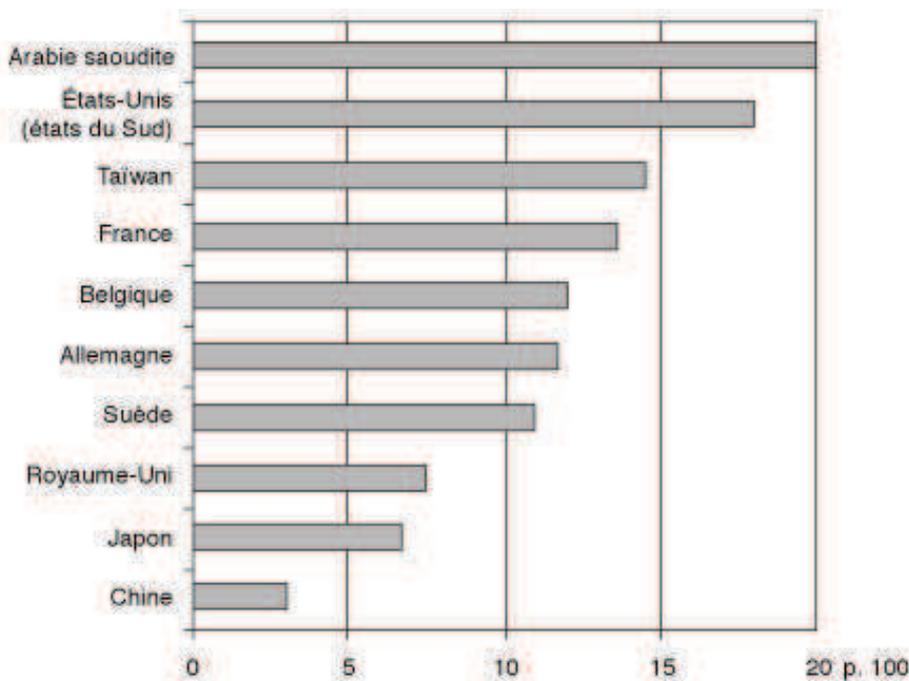


FIGURE 1 : Prévalence actuelle de la lithiase dans différents pays

3.1.1.3 Composition des calculs urinaires en France

De multiples études menées dans des laboratoires français ont conclu à la forte prévalence des calculs d'oxalate de calcium comme composant principal des calculs (2,4). La whewellite, oxalo-dépendante est plus représentée que la forme dihydratée ou encore weddellite, calcium-dépendante (Tableau 1). Puis la carbapatite en second lieu constitue une autre composition majoritaire devant l'acide urique.

La baisse de l'incidence des infections urinaires à germe uréasique dans les pays développés explique une baisse de la représentativité de la struvite parmi les composants majoritaires. Les composants particuliers comme la cystine sont minoritaires.

Oxalate de calcium	71,8
Whewellite	50,1
Weddellite	21,7
Phosphates de calcium	13,6
Carbapatite	11,4
Brushite	1,5
Autres phosphates calcique	0,7
Phosphate ammoniacomagnésien (struvite)	1,3
Présence de struvite	4,5
Acide urique	10,8
Présence d'acide urique	12,8
Autres (y compris cystine, purines rares et médicaments)	2,6

TABLEAU 1 : Fréquence des constituants majoritaires des calculs urinaires en France

Les calculs sont que rarement constitués d'un seul composant, le plus souvent ils sont mixtes dans 90 % environ des cas. Chez l'homme les calculs mono constitutionnels représentent 6,3 % des calculs contre 5,3 % chez la femme (4). Les calculs purs sont fréquemment constitués d'oxalate de calcium dans deux tiers des cas puis viennent les calculs d'Acide urique et de cystine (Tableau 2).

Constituants	Hommes	Femmes
Oxalates de calcium	63,8	59,3
- whewellite	62,1	58,4
- weddellite	1,7	0,9
Phosphates de calcium	0,3	0,9
- carbapatite	0,3	0,9
Purines	19,6	18,2
- acide urique	19,4	17,1
-urate d'ammonium	0,2	1,1
Cystine	7,1	10,4
Divers	9,2	11,2
Fréquence globale	6,3	5,3

TABLEAU 2 : Nature et fréquence des calculs purs de l'adulte en France

La composition des calculs urinaires est influencé par le sexe puisque les oxalo calciques sont plus fréquents chez l'homme tandis que les phosphocalciques se voient plus souvent chez la femme.

Par ailleurs, si l'on s'intéresse à la composition du noyau des calculs renseignant sur les processus initiateurs de la lithogénèse on constate que la moitié est formée à partir de phosphocalcique (Tableau 3) (4).

Constituant majoritaire	Hommes	Femmes
Oxalates de calcium	40,6	29,3
- whewellite	29,0	22,6
- weddellite	11,6	6,7
Phosphates de calcium	44,9	54,1
- carbapatite	42,8	51,3
- brushite	1,7	0,3
- autres	0,4	2,5
Struvite (PAM)	0,9	3,8
Purines	9,1	7,3
- acide urique	8,8	6,5
- urate d'ammonium	0,3	0,8
Cystine	1,0	1,6
Protéines	1,7	1,9
Médicaments	0,7	0,6
Divers	1,1	1,4

TABLEAU 3 : Fréquence des compositions observées dans les noyaux des calculs de l'adulte en France.

3.1.1.4 Facteurs environnementaux

Ils sont les principaux pourvoyeurs de la lithiase dite primitive et lorsqu'ils sont associés à une maladie sous jacente causale peuvent décompenser ou aggraver une maladie lithiasique secondaire.

3.1.1.4.1 Actualisation des facteurs de risques environnementaux

Il existe à la fois une expansion significative de l'obésité et du diabète et en parallèle de la maladie lithiasique laissant suggérer une relation entre ces pathologies.

En France comme dans les pays industrialisés et en particulier les Etats Unis, il a été objectivé une progression de l'obésité et par conséquent du diabète de type 2 liée à l'insulino résistance induite par l'augmentation de l'adiposité.

Il a été démontré que l'incidence globale de la lithiase augmente avec l'IMC, en particulier chez les femmes.

Cette condition pathologique est aussi associée à un surcroît de risque de récurrence de la lithiase.

Le diabète de type 2 augmente de 2 à 3 fois le risque de développer une maladie lithiasique.

Ces conditions pathologiques sont à l'origine de la progression de la lithiase urique qui apparaît alors comme une manifestation d'un désordre métabolique : l'insulino-résistance. Cette dernière est à l'origine en effet d'un abaissement du pH urinaire par diminution de l'ammoniogenèse, responsable de la précipitation de l'acide urique.

Les habitudes alimentaires et le manque d'activité physique sont donc les facteurs environnementaux les plus importants, expliquant à la fois une progression des lithiase urique mais aussi oxalo calcique.

3.1.1.4.2 Facteurs de risque nutritionnels

Le calcium, composant essentiel des calculs oxalo- ou phosphocalcique, consommé en excès augmente le risque de ces calculs. Mais un régime pauvre en calcium en est un aussi par un phénomène d'hyperabsorption des ions oxalates digestive du fait de leur non blocage par formation d'un complexe avec les ions calciums au sein de la lumière digestive. Ceci entraîne une hyperoxalurie, favorisant la formation de calculs oxalocalciques (4).

L'oxalate retrouvé dans de nombreux végétaux (épinards, oseille, rhubarbe, betterave, cacao ou encore la vitamine C) quand il est consommé en excès favorise de même la formation de ces calculs urinaires.

La faible consommation de citrate retrouvé dans les fruits et légumes est aussi un facteur favorisant car il est un inhibiteur de la croissance lithiasique.

Le défaut d'apport hydrique est reconnu et est la première cause de lithiase.

Indirectement un excès d'apports protéiques, de sel, de sucres raffinés et de lipides est responsable d'une sursaturation en nombreux composants lithiasiques.

3.1.1.4.3 Facteur de risque climatique

Par ailleurs il a été constaté que les pays les plus chauds avec l'ensoleillement le plus intense sont les plus exposés à cette maladie (Figure 1).

3.1.1.5 *Facteurs génétiques*

Il existe des facteurs de susceptibilité génétique, qui associés à une pression environnementale, expliquent la formation des calculs, en particulier urique et calcique. Les facteurs environnements seuls ne peuvent constituer la seule cause dans l'apparition de la maladie. Ceci est suggéré par la présence fréquente d'antécédents familiaux de lithiase, de goutte et de diabète chez les patients lithiasiques.

Il existe par ailleurs des facteurs génétiques dits déterminants expliquant les lithiases héréditaires comme la lithiase cystinique.

L'âge et le sexe ont également une influence sur la nature du calcul. Chez l'adulte jeune de 20 à 30 ans, la cause principale de calcul est l'hypercalciurie expliquant une prédominance de la formation de weddellite chez l'homme et de carbapatite chez la femme. La production d'estrogènes expliquent chez la femme la prépondérance de ce type de calcul par une phosphaturie plus élevée associée à un pH urinaire lui même augmenté.

Chez l'adulte plus âgé, l'hypercalciurie diminue laissant place à une augmentation des calculs d'acide urique du fait de l'augmentation avec l'âge du syndrome métabolique, du diabète et de l'obésité.

Les modifications hormonales chez la femme expliquent la variation selon l'âge de la nature des calculs formés.

3.1.1.6 *Récidive*

La lithiase récidive dans environ 50% des cas surtout dans les 5 premières années après le premier épisode lithiasique(5). La forme multirécidivante atteint 10% des patients (4). Dès la première récidive, le risque de récurrence augmente et la période d'accalmie entre deux épisodes diminue (1).

Elle est plus fréquente chez l'homme. Elle dépend également de la nature du calcul. La cystine est la forme la plus récidivante puis viennent la brushite et l'acide urique. Les calculs majoritaires en whewellite exposent le moins à la récidive.

3.1.1.7 Conséquences médico-économiques en France

Elles sont difficiles à déterminer du fait du manque de statistiques précises. Néanmoins on peut estimer à environ 120 000 cas par an l'incidence de la colique néphrétique (6). En prenant en compte que la moitié d'entre eux aura une prise en charge urologique impliquant un traitement ou plusieurs traitements associés endo urologiques ou médicaux et souvent une hospitalisation et sans prendre en compte la prise en charge des calculs asymptomatiques, environ 60 000 patients entrent dans le système de soin. Ceci implique alors chaque année plus d'un million d'arrêts de travail et entraîne des dépenses de santé de l'ordre de 300 millions d'euros par an. Par ailleurs le traitement médical préventif mis en œuvre dans un second temps n'est pas onéreux mais s'il n'est pas mis en place ou mal suivi la maladie lithiasique récidivante génère un coût de santé publique qui se multiplie alors à chaque épisode. Aussi, le respect des recommandations de la prise en charge urologique d'un calcul pour chaque épisode et surtout la mise en œuvre d'une prévention de la maladie lithiasique après identification des éléments métaboliques causaux sont primordiaux. La nature exacte du calcul guide au mieux cette prise en charge tant lors de l'épisode aigu qu'à titre préventif ultérieurement. L'étude de la composition du calcul a une place centrale dans la stratégie thérapeutique. Le gold standard est l'analyse biochimique des calculs en laboratoire agréé mais elle n'est réalisable que si le calcul ou ses fragments sont récupérés.

3.1.2 PHYSIOPATHOLOGIE

3.1.2.1 *Processus de lithogénèse :*

La connaissance des étapes de lithogénèse est indispensable à la compréhension des facteurs influençant ou au contraire empêchant la formation d'un calcul urinaire. Le traitement et les mesures préventives en découlent directement. Par ailleurs, cela permet de mieux comprendre la composition des calculs urinaires en particulier mixtes.

Il désigne les processus aboutissant à la formation d'un calcul dans les voies urinaires. Elle comporte plusieurs étapes (Figure 2) (7).

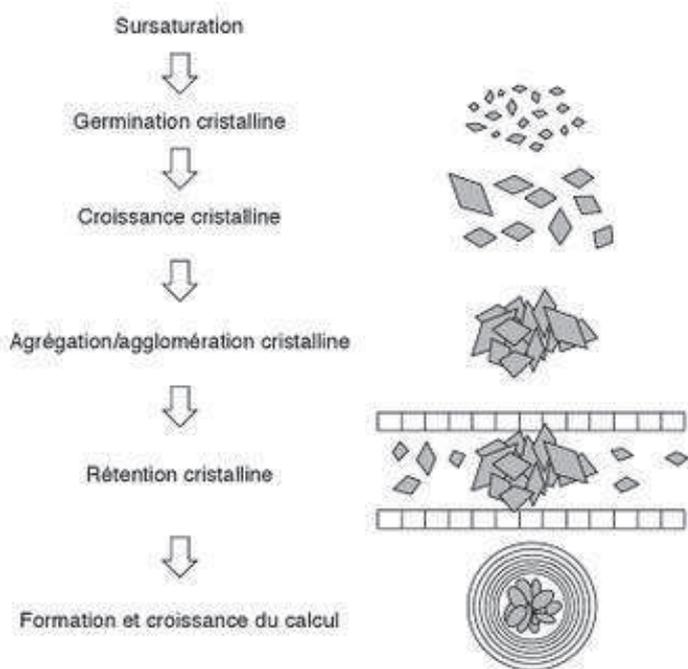


FIGURE 2 : Etapes de la lithogénèse

3.1.2.1.1 La cristallogénèse

L'étape initiale est la **cristallogénèse** qui consiste en la formation de cristaux à partir de substances présentes dans les urines sursaturées (Figure 3). Cette sursaturation est secondaire à une concentration par excès d'apports souvent alimentaires, de l'excès de production d'un métabolite endogène ou encore d'un excès d'excrétion urinaire. Elle peut aussi résulter d'une anomalie du pH urinaire expliquant une modification de sa solubilité sans que sa concentration soit élevée.

La seconde étape est la **germination cristalline**. Le niveau de sursaturation à partir duquel les cristaux se forment pendant le temps de transit de l'urine au travers du rein définit un seuil de risque désigné par le produit de formation. Il varie d'un individu à l'autre et dépend de la composition des urines. Il est propre à chaque substance cristalline. Lorsqu'il est atteint, des germes cristallins de l'espèce donnée se forment à partir des ions de la substance en solution dans les urines. Elle est donc d'abord constituée par un type cristallin, il s'agit de la nucléation homogène. Mais, les urines étant rarement sursaturées en un seul composant, la cristallisation d'autres espèces peut avoir lieu, il s'agit de la nucléation hétérogène. Il en résulte la formation de calcul mixte.

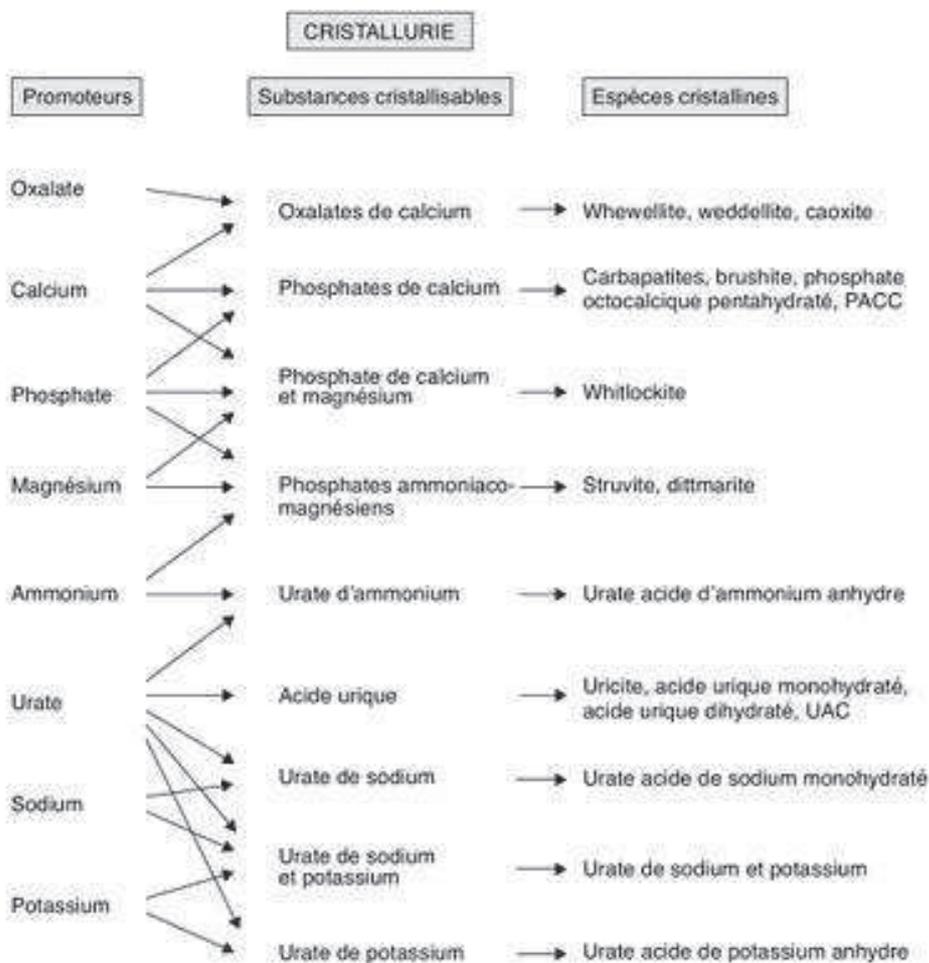


FIGURE 3 : Nature des substances cristallisables et espèces cristallines formées

3.1.2.1.2 Les promoteurs de la cristallisation

Il s'agit des ions qui participent à la formation des espèces potentiellement cristallisables.

La whewellite ou oxalate de calcium monohydraté est liée à une concentration trop élevée d'oxalates, tandis que la weddellite à celle du calcium.

L'acide urique se formant dans des urines à pH acide est associé à une hyperuricurie.

3.1.2.1.3 Les inhibiteurs de cristallisation

Ces espèces peuvent intervenir à chaque étape de la lithogénèse et agissent en réduisant le risque de cristallisation et/ou de croissance des substances cristallines en formant avec elles des espèces chimiques solubles ou encore d'agrégation du processus cristallin formé.

Elles sont classées en deux groupes : les inhibiteurs de faible poids moléculaire et les inhibiteurs macromoléculaires.

Parmi les **inhibiteurs de faible poids moléculaire**, le plus important est le citrate. Il possède un fort potentiel complexant avec le calcium réduisant la cristallisation des sels calciques. Par ailleurs il réduit l'agrégation cristalline. Il se lie aux ions phosphates formant des ions phosphocitrates ayant des propriétés inhibitrices de la cristallisation. Le risque est donc majoré de former des calculs oxalocalciques en cas d'hypocitraturie. Cependant au-delà d'une certaine concentration molaire d'oxalate de calcium, le citrate perd son efficacité expliquant l'absence d'intérêt prouvé d'augmenter la citraturie.

Les **inhibiteurs macro moléculaires** sont des protéines porteuses de chaînes glucidiques. Elles proviennent soit du catabolisme de molécules actives de l'organisme soit de la production locale par les tubules rénaux. Elles empêchent la croissance et l'agrégation cristalline par fixation à la surface des substances cristallines agglomérées. La protéine de Tamm-Horsfall intervient aussi dans ce phénomène.

3.1.2.1.4 La croissance du calcul

La cinétique de croissance des calculs varie selon le niveau de sursaturation des urines et des conditions de stase. Ceci explique que dans la vessie les calculs initiés sont généralement volumineux. Ces zones de stase expliquent aussi la localisation anatomique préférentielle des calculs (vessie, calice inférieur).

Par ailleurs, si elle est de cause alimentaire la lithogénèse est d'expression intermittente impliquant une croissance du calcul par poussées, tandis que si elle est de cause génétique, comme la cystinurie, elle est plus régulière.

Lorsque l'anomalie métabolique sous jacente est de forte amplitude, le calcul est en général pur tandis que dans le cas de moindre amplitude les calculs ont le temps de fixer des composants variés expliquant la mixité de la composition des calculs dans 90% des cas.

3.1.2.1.5 La rétention des particules cristallines

Elle est décisive dans le processus lithogène car elle est nécessaire à la croissance du calcul. On distingue quatre situations pouvant l'expliquer :

- adhérence à la surface de l'épithélium tubulaire
- rétention d'un agrégat du fait de sa taille et/ou de sa forme, en général dans le tube collecteur, comme dans la maladie de Cacchi et Ricci ou dans l'acidose tubulaire distale
- adhérence à la papille
- blocage ou sédimentation dans un calice, un diverticule ou encore dans la vessie

3.1.2.1.6 La conversion cristalline

Des modifications des phases cristallines ont lieu en plus de la croissance du calcul. Par exemple, l'acide urique dihydraté se convertit en forme anhydre plus stable thermodynamiquement. La weddellite se convertit en whewellite expliquant la grande fréquence de cette forme.

3.1.2.1.7 Le rôle du pH urinaire

Le pH urinaire a un rôle conséquent dans le processus lithogène. Il a une influence tout d'abord sur l'ionisation de nombreuses molécules promotrices ou au contraire inhibitrices de la cristallisation urinaire. De plus, il agit sur la solubilité de certaines substances comme l'acide urique ou encore la cystine.

Rôle d'un pH acide :

Il favorise la formation des calculs d'acide urique. La cristallisation de cette espèce peut favoriser celle de l'oxalate de calcium favorisant alors un processus de nucléation hétérogène.

Chez les patients cystinuriques, une alcalinisation des urines est nécessaire car la cystine est faiblement soluble en milieu acide favorisant sa précipitation.

Rôle d'un pH alcalin :

La solubilité des phosphates calciques et magnésiens est alors diminuée entraînant la formation de calcul de carbapatite.

Dans le cas d'hyperammoniogenèse urinaire, condition pathologique liée aux germes uréasiques, la formation de struvite ou phosphate ammoniacomagnésien est favorisée.

3.1.2.1.8 Cas particulier de la lithiase sur corps étranger

L'utilisation de la sonde JJ même de courte durée chez des patients à haut risque lithogène favorise la cristallisation sur ce corps étranger. Cette endoprothèse est mise en place dans de nombreuses circonstances urologiques afin de permettre la perméabilité des voies urinaires et en particulier dans le cadre du traitement des calculs par LEC ou avant un geste endo urologique pour extraire le calcul. Certaines conditions pathologiques favorisent l'incrustation de la sonde JJ : le diabète, la grossesse, l'hypercalciurie, la cystinurie, les résections iléales des maladies inflammatoires et l'infection urinaire. Il est alors primordial de maintenir une diurèse très abondante et réduire au maximum la durée du portage.

3.1.2.2 Lithiases secondaires

Seulement 10% des lithiases sont liées à une maladie identifiable dont à peine 1 % sont héréditaires monogéniques (6). Leur identification est indispensable à la mise en place d'un traitement étiologique en plus des mesures préventives inhérentes aux anomalies métaboliques découvertes.

3.1.2.2.1 Lithiase calcique secondaire

Elle constitue un groupe hétérogène d'étiopathogénies variées et expliquant la diversité des compositions des calculs urinaires retrouvées. Selon les anomalies de l'enquête étiologique clinique et biologique plusieurs causes peuvent être distinguées (5,6).

Les anomalies métaboliques responsables d'une lithiase calcique secondaire sont (Tableau 4) :

- une hypercalcémie avec hypercalciurie
- une hypercalciurie normocalcémique
- une hyperoxalurie
- une hypocitraturie
- une origine médicamenteuse

L'hyperparathyroïdie est une des principales causes à rechercher.

Hypercalcémie avec hypercalciurie	Hypercalciurie normocalcémique	Hypo-citraturie	Hyperoxalurie
<ul style="list-style-type: none"> - hyperparathyroïdie primaire ou paranéoplasique - sarcoïdose, autres granulomatoses - hypervitaminose D - hyperthyroïdie, hypothyroïdie - acromégalie - hypercorticisme - métastases osseuses, myélome multiple, hémopathies - maladie de Paget - immobilisation prolongée 	<ul style="list-style-type: none"> - prise de vitamine D, déplétion phosphorée - acidoses tubulaires distales, tubulopathies congénitales - hypercorticisme - maladie de Cacchi et Ricci - médicaments : diurétiques de l'anse 	<ul style="list-style-type: none"> - acidose tubulaire distale - iléopathie, résection iléale étendue - infection urinaire - hypokaliémie - diarrhées chroniques 	<ul style="list-style-type: none"> - primaire - entéropathies inflammatoires, résection iléale - mucoviscidose - hypervitaminose C

TABLEAU 4 : Etiologies principales de la lithiase calcique secondaire.

3.1.2.2.2 Lithiase urique secondaire

Elle résulte d'une hyper production d'acide urique ou d'un excès de son excrétion rénale mais aussi d'une hyperacidité urinaire provoquée par une perte des bases d'origine digestive (Tableau 5) (5,6).

Hyperuricurie avec hyperuricémie	Hyperuricurie sans hyperuricémie	Hyperacidité urinaire
<ul style="list-style-type: none">- anomalies enzymatiques héréditaires du métabolisme des purines- Goutte- Affections myélo- ou lymphoprolifératives	<ul style="list-style-type: none">- anomalies tubulaires proximales- médicaments uricosuriques	<ul style="list-style-type: none">- iléostomie, diarrhées chroniques- candidose urinaire- hyperphosphaturie- défaut d'ammoniogénèse rénale

TABLEAU 5 : Etiologies principales de la lithiase urique secondaire :

3.1.2.2.3 Lithiase d'infection

Elle est 3 fois plus fréquente chez la femme et se rencontre préférentiellement dans le cadre d'anomalies fonctionnelles ou anatomiques du tractus urinaire, comme les dérivations urinaires ou la vessie neurologique (6). Elle se distingue de la lithiase secondairement infectée grâce à l'analyse morpho-constitutionnelle du calcul par sa nature et la localisation de ses constituants. Elle était décrite typiquement comme étant coralliforme alors qu'elle constituait 20% des calculs il y a 50 ans, à l'heure actuelle elle est en franche diminution de fréquence estimée entre 5 à 15 % (1).

- Infections urinaires à germes uréolytiques :

La formation des calculs urinaires dans ce contexte pathologique est liée à un pH urinaire élevé et à la présence de substance phospho-ammoniacomagnésienne ou struvite, composant principal de ce type de calcul. Les germes uréolytiques responsables sont *Escherichia Coli*, *Pseudomonas* ou encore *Klebsiella*. L'uréase produite par ces germes est à l'origine, par la production d'ammonium à partir de l'urée, d'une élévation du pH et de la formation de struvite. Le pH alcalin et la libération de CO₂ favorisent par ailleurs la coprécipitation de carbapatite qui s'associe très fréquemment à la struvite. Le taux de carbonatation lorsqu'il est élevé est d'ailleurs caractéristique de calculs formés dans ce contexte. Les bactéries ont tendance à s'encapsuler dans un biofilm au contact du calcul ce qui les rend alors inaccessibles aux antibactériens.

- Infections urinaires à germes non uréolytiques :

Il s'agit souvent *E. Coli* ou d'une autre entérobactérie. Ils sont responsables de calcul contenant de la struvite tout en étant dépourvu d'uréase par des mécanismes intrinsèques spécifiques (synthèse d'une uréase optionnelle, altération de l'urothélium, consommation de citrates..etc.).

3.1.2.2.4 Lithiase cystinique

Elle représente 1% des lithiases de l'adulte et 10% chez l'enfant (6). Son diagnostic précoce conditionne la morbidité rénale. La cystinurie est une maladie génétique transmise selon un mode autosomique récessif, expliquant son incidence dans les pays au fort taux de consanguinité. Sa seule expression clinique est la maladie lithiasique cystinurique dès la deuxième décennie de vie en général. Elle est due à une erreur du transport rénal et intestinal de la cystine mais aussi d'autres acides aminés (arginine, lysine et ornithine) (8). Son défaut de réabsorption tubulaire proximale est à l'origine d'une cystinurie, la cystine étant peu soluble, des calculs de cystine purs se forment de façon répétée au sein des voies urinaires.

3.1.3 DIAGNOSTIC

3.1.3.1 *Diagnostic clinique*

3.1.3.1.1 Mode de découverte de la maladie lithiasique

Le mode de découverte d'un calcul urinaire est variable, le plus fréquent est la colique néphrétique mais il peut aussi être mis en évidence lors d'une hématurie micro ou macroscopique (Tableau 6).

Les manifestations cliniques sont communes à tous les types chimiques de calculs.

Colique néphrétique simple
Colique néphrétique compliquée
Lombalgies mal latéralisées
Douleur abdominale, vésicale ou génitale
Hématurie macroscopique
Hématurie microscopique isolée
Infection urinaire
Insuffisance rénale aiguë anurique
Insuffisance rénale chronique
Hypercalcémie
Retard de croissance, troubles hydro-électrolytiques, rachitisme (enfant)
Enquête familiale
Découverte d'échographie ou de radiographie abdominale

TABLEAU 6 : Mode de révélation de la lithiase urinaire

3.1.3.1.2 La colique néphrétique aiguë (CNA)

Elle est liée à la mise en tension de la voie urinaire en amont d'un obstacle dont la cause prépondérante est le calcul urinaire. En France 5 à 10% des patients lithiasiques présentent une CNA soit une incidence estimée de 150 000 cas par an (6).

Elle est brutale sans cause déclenchante évidente.

La douleur est lombaire unilatérale et irradie vers les organes génitaux externes par voie nerveuse.

Les signes associés sont très suggestifs du diagnostic :

- signes urinaires : pollakiurie, hématurie macroscopique, fausses envies d'uriner
- signes digestifs : nausées et vomissements voire arrêt du transit pouvant en imposer pour une occlusion digestive

Son évolution dépend de la taille, de la localisation et de la vitesse de progression du calcul. La régression douloureuse n'est pas toujours synonyme d'expulsion du calcul et il peut créer une obstruction chronique incomplète délétère pour la fonction rénale. Il est donc important de s'assurer de la bonne perméabilité de l'arbre urinaire même en cas de diminution du phénomène douloureux par l'imagerie. Il est admis que l'expulsion spontanée est presque la règle lorsque le calcul mesure moins de 5 mm (9).

La CNA est dite soit simple soit compliquée.

La forme compliquée (6% des cas) est liée :

- au terrain : grossesse, diabète, rein unique fonctionnel ou anatomique, insuffisance rénale chronique
- à la présence de signes de gravité : fièvre, anurie, insuffisance rénale aiguë, crise hyperalgique résistante au traitement médical bien conduit impliquant des morphiniques

La connaissance de la physiopathologie de la CNA permet de mieux comprendre la stratégie thérapeutique.

L'augmentation de la pression intrapyélique est liée à une réaction inflammatoire oedémateuse de la paroi urétérale autour et en dessous du calcul le bloquant et à la production de prostaglandines vasodilatatrices rénale entraînant l'augmentation du flux sanguin rénal. L'ensemble des phénomènes mis en œuvre engendre une distension des cavités pyélocalicielles stimulant les terminaisons nerveuses sensibles à l'origine de la contraction de la paroi urétérale pour lutter contre l'obstruction. L'emploi des anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) est par conséquent le traitement de première intention.

Le bilan biologique réalisé aux urgences comporte, selon les recommandations de l'EAU : une BU, un ECBU, une créatininémie, une uricémie, une calcémie, une natrémie, une kaliémie, une NFS, une CRP et un bilan d'hémostase.

3.1.3.1.3 Diagnostics différentiels de la colique néphrétique aiguë d'origine lithiasique

Les principales causes de colique néphrétique non lithiasique sont :

- migration de caillots sanguins ou de séquestres papillaires
- tumeur du bassinet ou de l'uretère
- sténose de la jonction pyélo-urétérale
- fibrose rétropéritonéale
- compression extrinsèque de l'arbre urinaire par une adénopathie ou une tumeur d'organe de voisinage

3.1.3.1.4 Autres manifestations de la lithiase urinaire

L'hématurie s'associant à une douleur évocatrice ou survenant lors d'efforts physiques est suggestive de l'origine lithiasique. Parfois elle est le seul mode de découverte de micro lithiase.

Des lombalgies sourdes, intermittentes, mal localisées peuvent faire découvrir un calcul rénal.

Dans d'autres cas, la découverte est faite de façon fortuite à l'imagerie ou dans le bilan d'une insuffisance rénale chronique.

3.1.3.1.5 Les complications évolutives

Le risque majeur de l'obstruction rénale par un calcul est la destruction fonctionnelle à bas bruit du rein elle même favorisée par les éventuelles complications infectieuses liées à la stase des urines en amont de l'obstacle.

La pyélonéphrite aiguë d'origine obstructive est une urgence urologique. Elle est à l'origine de sepsis sévère voire d'un choc septique si elle n'est pas prise en charge à temps. Le risque est le développement d'une pyélonéphrite emphysémateuse en particulier chez le sujet diabétique ou encore xanthogranulomateuse.

L'anurie d'origine calculeuse survient dans les circonstances de rein unique anatomiquement ou fonctionnellement, d'obstruction bilatérale rare des voies urinaires et d'obstruction unilatérale compliquée d'une septicémie à bacilles à Gram négatif.

L'insuffisance rénale chronique est souvent la conséquence d'épisodes obstructifs répétés associés ou non à une infection des urines. La pyélonéphrite chronique puis l'atrophie rénale expliquent la défaillance fonctionnelle chronique du rein pathologique. Lorsqu'elle est bilatérale ou que le rein controlatéral non obstrué est défaillant il en résulte une insuffisance rénale chronique. Elle est particulièrement observée en cas de lithiase d'infection bilatérale ou dans le cadre des maladies lithiasiques héréditaires comme la cystinurie.

Il est donc primordial de mettre en œuvre un traitement urologique adapté pour l'épisode aigu mais aussi une stratégie préventive adaptée à la composition du calcul, du fait du risque à long terme d'altération de la fonction rénale lors d'épisodes répétés.

3.1.3.2 Diagnostic radiologique

Le rôle de l'imagerie est triple.

- en cas de CNA :
Le diagnostic positif doit être fait rapidement.
Il convient alors de le caractériser, de rechercher un retentissement sur l'arbre urinaire et les complications associées, d'éliminer les diagnostics différentiels.
- dans le cadre du bilan pré thérapeutique d'un calcul connu :
Le but est d'évaluer la perméabilité des voies urinaires et l'anatomie de ces dernières.
- en post thérapeutique :
L'efficacité du traitement entrepris et la persistance d'éventuels fragments résiduels sont alors évaluées.

3.1.3.2.1 Différentes modalités d'imagerie

ASP :

Il est réalisé en décubitus et peut être complété par un cliché centré sur les aires rénales. Il renseigne sur le nombre, la taille, la localisation des calculs mais aussi peut permettre d'approcher leur composition mais de façon incomplète et imprécise. Sa sensibilité et sa spécificité pour le diagnostic positif d'obstruction urinaire sont très variables selon les séries entre 44 et 77% et autour de 80% respectivement (10). Les limites de cet examen sont liées à la petite taille du calcul ou à sa faible radio-opacité (acide urique, struvite, cystine), aux autres causes d'opacité de tonalité calcique (calcifications vasculaires, phlébolithes pelviens). Il est prescrit en complément d'une échographie dans le cadre de la CNA simple ou de la découverte de la maladie lithiasique puis seul pour suivre le traitement par LEC.

Le degré de radio-opacité du calcul apporte des renseignements sur sa composition chimique (Tableau 7). Les calculs d'acide urique sont radiotransparents et donc non détectés. Les calculs de cystine sont faiblement opaques, ovales et de contours volontiers irréguliers. Les calculs d'oxalates de calcium sont radio-opaques et détectés dès une taille dépassant 2 mm.

Radio-opaque	Faiblement radio-opaque	Radiotransparent
Oxalate de calcium monohydraté (COM)	Phosphate ammoniaco-magnésien	Acide urique
Oxalate de calcium dihydraté (COD)	Carbapatite	Urate acide d'ammonium
Phosphates de calcium	Cystine	Xanthine 2-8 di-hydroxy-adénine Calculs médicamenteux

TABLEAU 7 : Radio-opacité sur ASP selon la composition chimique des calculs urinaires

ECHOGRAPHIE :

Son premier avantage est qu'elle permet d'évaluer la présence d'une dilatation ou non des cavités pyélo-calicielles. Cependant elle peut manquer dans les premières heures suivant l'installation du calcul ou persister même après expulsion du calcul.

La sensibilité de détection d'un calcul est de 20 à 45 % avec un pourcentage de faux négatifs allant de 21 à 35 %. Elle est sensible pour détecter un calcul de la jonction pyélo-urétérale mais aussi du méat urétéral. Par contre l'accessibilité à l'uretère lombaire bas et pelvien est limitée. Les autres limites de cette technique sont la non détection des calculs de moins de 3 mm et une mauvaise évaluation de la taille réelle du calcul. Elle ne renseigne pas non plus sur la composition chimique d'un calcul. Elle garde essentiellement une indication dans la CNA simple en association avec l'ASP, dans la surveillance lithiasique chez le sujet jeune et permet de guider la LEC pour des calculs non radio-opaques.

COUPLE ASP-ECHOGRAPHIE :

Cette association a des performances inférieures à la tomодensitométrie (TDM) mais peut être préconisée chez l'enfant ou l'adulte jeune.

TDM SANS INJECTION :

Il s'agit de **l'examen de référence** pour le diagnostic, le bilan et le suivi de la maladie lithiasique.

Elle est réalisée des coupes diaphragmatiques jusqu'au pubis sans injection de produit de contraste et à **basse dose**. Plusieurs études ont montré la possibilité de réduire les doses en TDM tout en gardant une précision diagnostique égale, en particulier en diminuant les mAs à 30 pour des patients ayant un IMC inférieur à 30 et pour des calculs de moins de 3 mm (11–13). Jin et al. ont bien démontré que de réduire la charge du tube de 100 à 30 mAs permet de réduire la dose reçue de 70% tout en permettant la détection des calculs urinaires (11).

En effet le contraste spontané entre le calcul et les tissus environnants est tel que réduire la charge dans des protocoles dit basse dose s'est vite imposé dans la pratique clinique d'autant que la population cible comprend de jeunes patients ayant une maladie lithiasique récurrente (14,15). La tension du tube est en général de 120 kV pour les explorations abdominales standards mais en pratique elle peut être diminuée à 100 kV lorsque l'IMC n'est pas élevé. Le niveau de référence diagnostique (NRD) pour une hélice abdomino-pelvienne en protocole standard est fixé à 800 mGy.cm en produit-dose-longueur soit une dose efficace de 12 mSv selon l'arrêté du 24 octobre 2011.

La **détection directe** du calcul est possible quelque soit la composition chimique du calcul à l'exception des calculs protéiques ou secondaire à un traitement par l'indinavir.

La sensibilité et la spécificité de la TDM sont proches de 100%.

La taille, la forme et la localisation exacte sont alors estimées.

La mesure de la densité du calcul en fenêtre osseuse est réalisée systématiquement en routine clinique, pour orienter vers sa **composition chimique**. Cet élément est fondamental car cela influe sur le traitement urologique qui sera entrepris. Elle n'est pas estimable pour des calculs de moins de 3 mm. En dessous de 500 UH, la probabilité que le calcul soit de l'acide urique est grande tandis qu'au dessus de 1000 UH il s'agit probablement d'un calcul calcique. Les calculs de cystine (entre 500 et 800 UH) et de struvite (entre 700 et 1000 UH) ainsi que d'acide urique et de struvite ont des valeurs d'atténuation qui se chevauchent (Figure 4).

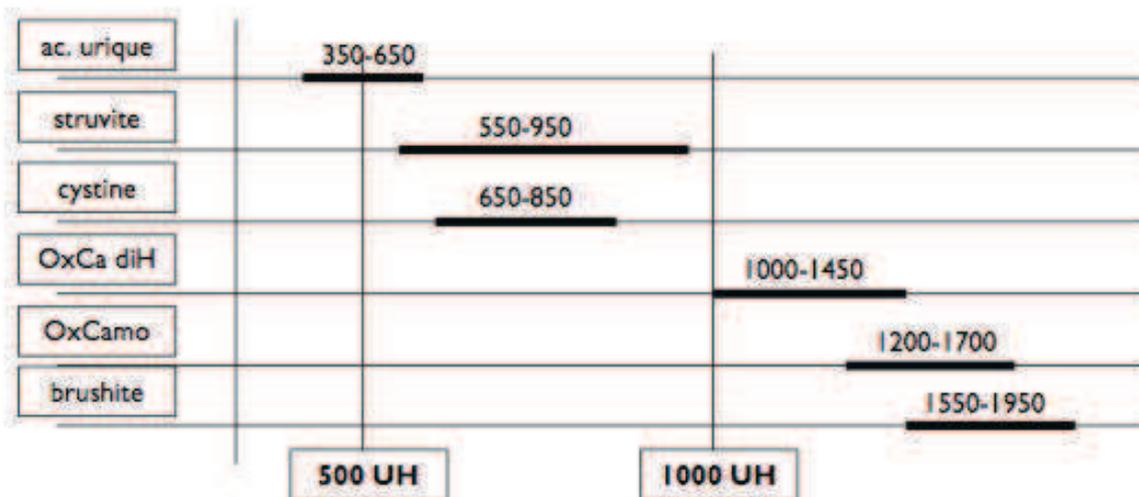


FIGURE 4 : Valeur d'atténuation en UH d'un calcul et composition chimique (16)

De nombreuses études ont tenté d'approcher la composition chimique des calculs urinaires *in vitro* et *in vivo* en TDM conventionnelle avec des résultats contradictoires et non consensuels. La plupart des études *in vitro* ont montré une différence des valeurs d'atténuation pour les calculs d'acide urique comparativement aux calculs oxalocalciques (17–20). Mostafavi et al. en particulier a démontré *in vitro* via l'analyse de calculs purs, et avec deux hélices à 80kV puis 120kV qu'il est possible de différencier ces deux types de calculs (17). Nakada et Al. l'ont montré *in vivo* rétrospectivement avec une seule hélice à 120 kV mais en analysant que des calculs d'acide urique et oxalocalciques sans prendre en compte les autres types de calcul (21). Ils ont par ailleurs mis en évidence que la taille du calcul a une influence sur la valeur d'atténuation et que la différence escomptée entre ces deux types de calculs est plus significative pour des calculs de plus de 4 mm. Bellin et al. à l'aide de trois variables (densité à 80 kV, le ratio de la densité à 80kV et de la surface du calcul, la densité objectivée visuellement du calcul) et dans des conditions techniques non réalisables à l'heure actuelle en routine clinique ont réussi avec une probabilité de classement correct selon la composition estimée à 0,64 (importante pour l'acide urique, l'oxalate de calcium monohydraté et la cystine) (22). Cependant, d'autres études ont retrouvé un important chevauchement des valeurs d'atténuation ne permettant pas de distinguer la composition des calculs, une des limites de cette méthode suggérée est la mixité des calculs retrouvés en général *in vivo* (23). Les autres facteurs dont dépend cette estimation sont la variabilité de la mesure de la valeur d'atténuation selon le modèle de TDM, voire le fabricant, les paramètres techniques employés mais aussi du fait des tissus environnants pour les protocoles *in vitro* (24,25), mais aussi la taille, la localisation du ROI et l'épaisseur de coupes de l'hélice (26).

L'idée princeps motivant l'ensemble de ces études étant que comme la plupart des patients ont une TDM dans le cadre d'une CNA, le même examen pourrait renseigner au mieux l'urologue dans le même temps sur la composition du calcul afin d'adapter spécifiquement la prise en charge. Mais il n'y a pas à l'heure actuelle de variable de mesure reproductible, fiable et consensuelle.

D'autres caractéristiques peuvent orienter vers une composition chimique, par exemple le caractère ramifié et pluristratifié d'un calcul au sein des cavités excrétrices rénales oriente vers un calcul de struvite. Le caractère hétérogène, pluristratifié avec des hypodensités centrales pourrait évoquer un calcul oxalocalcique dihydraté.

Le contexte clinique doit être pris en compte au mieux par le radiologue, des antécédents familiaux et l'âge jeune du patient devront orienter vers des calculs cystiniques, tandis que le contexte infectieux vers un calcul composé de struvite.

Le principal risque de **faux positif** de calcul à la TDM est le phlébolithe pelvien qui est souvent plus postérieur et externe et qui se prolonge par une image de densité tissulaire (signe de la comète).

Les **signes secondaires d'obstruction** sont de même appréciés (hydronéphrose, infiltration de la graisse périnéale et/ou périurétérale).

La TDM permet d'éliminer les **diagnostics différentiels** de la CNA.

3.1.3.2.2 Stratégie diagnostique

La conduite à tenir dépend du contexte clinique.

En cas de CNA : (Figure 5)

En pratique, l'AFU recommande la TDM sans injection de façon large dans le cadre de la CNA.

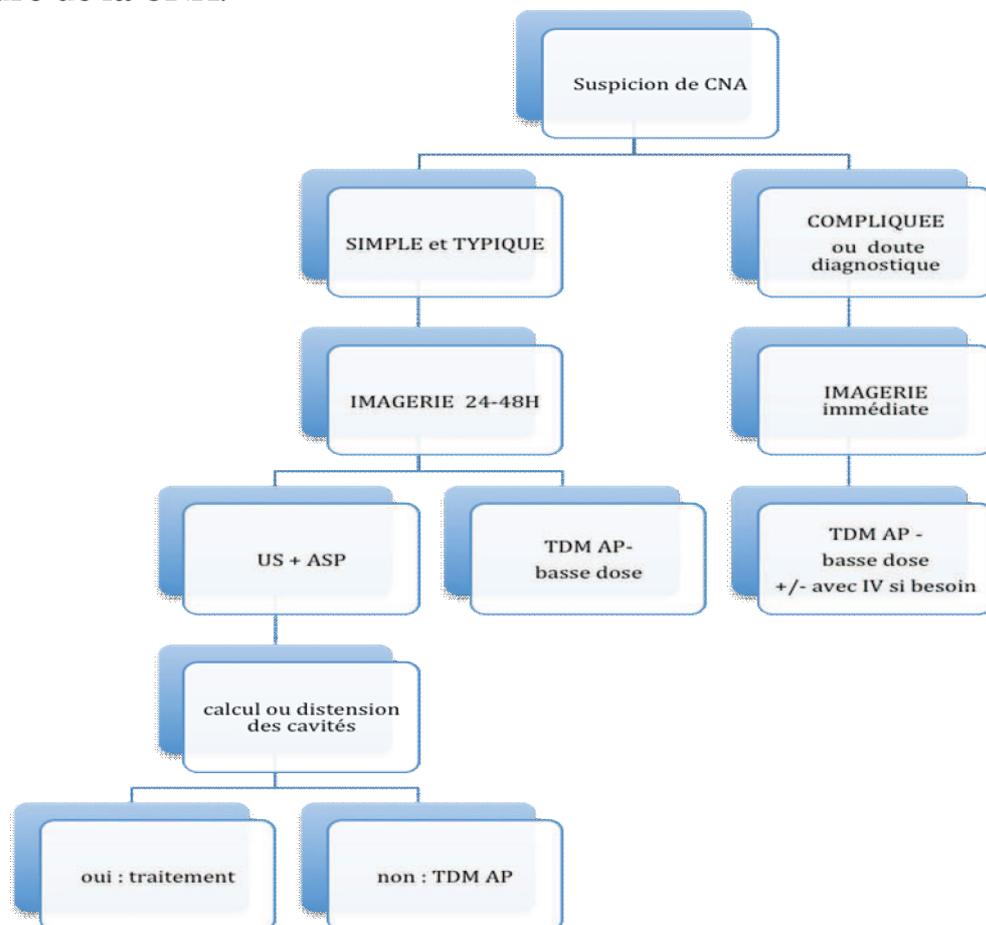


FIGURE 5 : Arbre décisionnel diagnostique devant la suspicion d'une CNA

Surveillance après un épisode aigu :

Elle n'est pas consensuelle, car cela dépend du contexte clinique.
En général le couple ASP-échographie suffit.

Bilan pré-thérapeutique d'un calcul connu :

Une uroTDM est indiquée si un traitement chirurgical (NLPC en général) est programmé afin de connaître l'anatomie des voies excrétrices. Et de façon générale tout patient atteint de maladie lithiasique doit avoir eu une uroTDM dans son histoire pour évaluer la morphologie des voies excrétrices. Elle est réalisée en deux temps, tout d'abord sans injection puis selon un protocole de double injection pour obtenir une seconde hélice comportant un temps néphrographique et excrétoire. Une injection de furosémide est recommandée dans la réalisation de cet examen.

Bilan post-thérapeutique :

L'ASP garde une place dans la surveillance d'éventuels fragments résiduels post- LEC (27). La TDM sans injection est réalisée pour évaluer les fragments d'acide urique et surtout rechercher d'éventuelles complications des traitements urologiques.

Les fragments résiduels asymptomatiques et de moins de 5 mm à 3 mois sont contrôlés à 6 mois, 12 mois et annuellement dans le cas contraire un retraitement est recommandé (27). La TDM ou l'ASP sont alors réalisés selon le contexte clinique et la composition chimique du calcul.

Suivi :

Le couple ASP-échographie ou une TDM basse dose annuelle est préconisée (28).

3.1.3.3 Diagnostic biochimique

L'analyse biochimique de la composition des calculs urinaires est importante pour définir la prise en charge urologique la plus adaptée. Elle permet d'identifier les anomalies métaboliques sous jacentes. Elle est réalisée après élimination spontanée et récupération du calcul ou après prise en charge urologique invasive (urétérorénoscopie URS, néphrolithotomie percutanée NLPC).

La répétition de cette analyse n'est justifiée qu'en cas de récurrence de calcul malgré une prévention pharmacologique bien menée ou de récurrence précoce après une intervention ayant permis une élimination complète des calculs ou encore après une longue période sans fragment (recommandations de l'EAU 2012).

La première étape est l'examen morphologique et le typage morphologique du calcul par analyse optique au microscope (annexe 1). La seconde étape est la détermination qualitative et quantitative des constituants du calcul.

Il existe plusieurs techniques physiques d'analyse :

- la diffraction des rayons X
- la spectroscopie moléculaire
- l'analyse thermique

La spectrophotométrie infra rouge est la plus utilisée à l'heure actuelle (29).

Elle permet l'analyse qualitative du calcul en détectant des constituants même peu représentés au sein du calcul qu'il soit organique ou minéral ou encore exogène.

Elle permet l'analyse quantitative des constituants via le spectre d'absorption infra rouge du constituant (Figures 6 et 7).

Leur interprétation repose sur le repérage de pics d'absorption et sur la présence d'épaulement sur les côtés d'un pic.

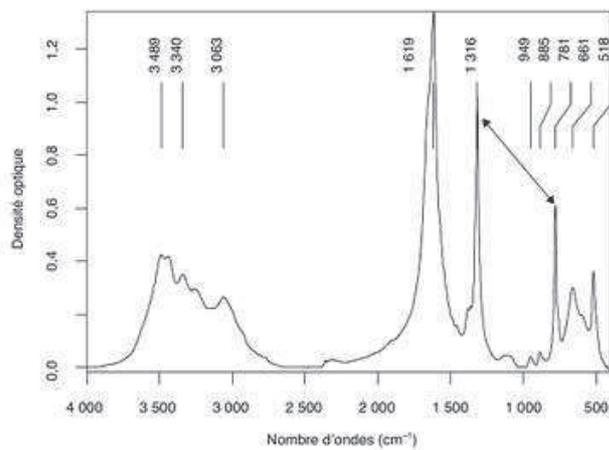


FIGURE 6 : Spectre infrarouge de la whewellite (6).

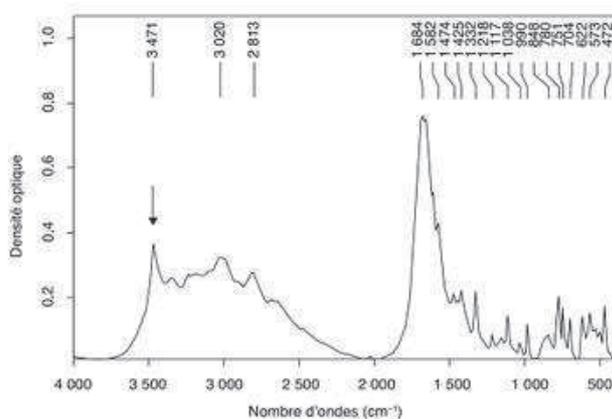


FIGURE 7 : Spectre infrarouge de l'acide urique (6).

L'interprétation finale par le biologiste de l'analyse du calcul est la suivante :

- le type morphologique du calcul (annexe 1) , de la section et de la surface du calcul
- les particularités structurales qui orientent vers des contextes lithogènes particuliers
- la composition séquentielle hiérarchisée du noyau à la surface du calcul
- la composition quantitative globale du calcul
- les principales orientations étiologiques suggérées par cette analyse

Il est recommandé d'analyser dès le premier épisode les fragments de calcul obtenu spontanément ou après intervention urologique afin de déceler les anomalies métaboliques sous jacentes et la pathologie causale. Néanmoins elle n'est pas toujours réalisable avant une décision thérapeutique mais elle est nécessaire dans le cadre de la prévention secondaire.

3.1.4 PRISE EN CHARGE UROLOGIQUE

3.1.4.1 *Traitement de la Colique Néphrétique aigue*

Des recommandations récentes de la Société francophone de médecine d'urgence ont été publiées (30). La première mesure à prendre est antalgique en urgence.

En cas de CNA simple :

- injection d'AINS par voie intra veineuse
- réduction des apports hydriques le temps de la période douloureuse
- adjonction d'un morphinique en cas de non régression douloureuse
- prescription per os pendant une semaine d'AINS après expulsion du calcul

Les contre indications des AINS dans ce contexte pathologique sont l'infection, l'insuffisance rénale aigue et la grossesse.

En cas de CNA compliquée (pyélonéphrite obstructive, anurie ou colique hyperalgique) ou survenant sur un terrain particulier, le recours à un urologue et l'hospitalisation en urgence sont la règle, le but étant de drainer rapidement les urines d'une sonde de néphrostomie percutanée.

Un traitement antibiotique adapté et guidé par un ECBU est mis en place rapidement en cas de pyélonéphrite obstructive en plus du drainage rapide des urines.

Le traitement définitif du calcul est réalisé à distance de l'épisode aigu.

3.1.4.2 *Les différentes modalités thérapeutiques d'élimination des calculs*

3.1.4.2.1 Traitement médical à visée expulsive

Il permet d'accélérer l'élimination spontanée des calculs urétéraux et des fragments de calculs après traitement par LEC et de diminuer les douleurs. Son action est myorelaxante sur l'uretère.

Deux médicaments sont généralement utilisés : les alpha-bloquants et la nifédipine. A l'heure actuelle en France leur utilisation est hors- AMM. Les patients éligibles doivent avoir une bonne fonction rénale et aucun signe infectieux.

3.1.4.2.2 Dissolution chimique orale des calculs d'acide urique

Elle est indiquée pour les calculs d'acide urique en traitement curatif seul ou associé aux autres modalités thérapeutiques d'élimination. Elle consiste à alcaliniser les urines par du bicarbonate de sodium ou du citrate alcalin pour obtenir un pH urinaire autour de 7.

3.1.4.2.3 Lithotripsie extracorporelle (Figure 8)

C'est le traitement de première intention, le plus utilisé, en effet 90% des calculs sont éligibles à cette modalité thérapeutique qui dépend de la taille, de la localisation mais aussi de la composition du calcul. Elle est recommandée pour les calculs du rein de moins de 2 cm (27).

Elle permet la fragmentation des calculs par des ondes de choc acoustiques créées par un générateur extracorporel en une ou plusieurs séances. Il est recommandé de ne pas dépasser deux séances.

Les contre – indications de la LEC sont :

- grossesse
- anomalies de la coagulation
- infection urinaire non contrôlée
- malformation sévère de la colonne vertébrale
- obésité sévère
- anévrisme artériel près du calcul
- obstruction de la voie excrétrice en aval du calcul traité

Les complications de la LEC sont l'empierrement urétéral, la CNA, les calculs résiduels, le sepsis, la bactériurie, l'hématome rénal ou hépatique ou splénique, voire la perforation digestive. Les lésions rénales sont dues à la pression et à la densité d'énergie créées par les ondes de choc, pour les éviter il faut diminuer le nombre d'ondes de choc par séance et espacer les séances.

Le taux de succès de la LEC doit être évalué avant la séance par l'estimation de la dureté du calcul qui dépend directement de la nature du calcul (31). Les calculs dits durs car difficilement fragmentables sont l'oxalate de calcium monohydraté ou whewellite, la brushite et la cystine (32). Au contraire, l'acide urique est facilement friable. Une taille de plus de 2 cm est par ailleurs aussi un facteur prédictif important d'échec. Le résultat est moins bon pour les calculs caliciels inférieurs. Une TDM sans injection systématique avant réalisation de la LEC est utile pour évaluer la prédiction de sensibilité du calcul à la LEC, sa densité, sa taille et sa localisation exacte.

Plusieurs équipes ont étudié l'intérêt de l'évaluation de la densité en UH des calculs sur la TDM sans injection réalisée en routine avant la LEC pour prédire la fragilité du calcul à la LEC avant sa réalisation (33–36). Le but étant de poser l'indication alors d'emblée en première intention d'un autre traitement de type endourologique et ainsi éviter les effets potentiellement délétères pour le rein et coûteux de la LEC si le calcul ne peut être fragmenté de façon satisfaisante. Perks et al. ont obtenu le résultat selon lequel au dessus de 1000 UH, le taux de succès à trois mois est très faible, dans leur cohorte, estimé à 17% (34). El-Nahas et al. ont de même identifié trois facteurs prédictifs importants d'échec : une densité supérieure à 1000 UH du calcul, un IMC élevé et une taille importante (33). Gupta et al. ont défini un seuil de 750 UH au-delà duquel un autre traitement que la LEC devra être institué (35). Il est clair que ce seuil est à l'heure actuelle non consensuel. Du fait du chevauchement des UH pour des calculs de composition différente mais de densité proche, il est difficile avec cette simple méthode de prédire de façon optimale cette fragilité. La connaissance de la composition du calcul ou du moins du composant principal a priori paraît être un facteur plus satisfaisant.

Les résultats de la LEC sont variables : le succès est défini en théorie par l'absence de fragment résiduel mais en pratique des fragments de moins de 4 mm asymptomatiques sont tolérés en fin de procédure. Le taux de succès défini à trois mois pour le rein est de 60-80% et à un mois pour l'uretère de 80% (37), il est idéalement évalué par une TDM sans injection, ou par un ASP. Il dépend de la technique employée (fréquence des ondes de choc, nombre et énergie des impulsions, nombre de séances), de l'expérience de l'opérateur mais aussi de la composition des calculs urinaires. Aussi il est de 35% pour la whewellite contre 80% pour la weddellite (37). En règle générale au dessus de 750-1000 UH le taux de réussite est très variable entre 30 et 60%, aussi ce traitement est à limiter pour ce type de calculs (27).



FIGURE 8 : Dispositif de LEC

3.1.4.2.4 Techniques endo-urologiques

Urétérorénoscopie (URS):

Elle est utilisée pour la prise en charge de calculs ayant résisté à la LEC, plurifocaux, de taille entre 1-2 cm ou caliciels inférieurs ou encore en cas d'anomalie anatomique rénale ou dans certaines circonstances comme l'obésité ou les troubles de la coagulation (38).

Les calculs durs (brushite, cystine et whewellite) doivent bénéficier de l'URS en première intention (27). Ses indications progressent donc à l'heure actuelle. Elle peut compléter ou s'associer à la LEC ou la NLPC.

Elle peut être précédée de la mise en place d'une endoprothèse laissée en place 24 h ou plus et est réalisée sous antibioprophylaxie.

Le calcul est fragmenté par lithotritie intra corporelle en de multiples fragments de moins de 2 mm puis leur extraction se fait via un urétéroscope souple ou rigide et au moyen d'une pince ou d'un panier. Le laser Holmium ou YAG est la source d'énergie de fragmentation recommandée pour l'URS. Son efficacité pour fragmenter des calculs durs, de composition telle que la whewellite ou la cystine est reconnue (39).

Les complications sont en général mineures et comprennent les risques de perforation ou d'hémorragie (moins de 1%), de plaie urétérale, de sténose urétérale (0,5-1%), de douleurs post-opératoires et de pyélonéphrite (2-3%)(38). Il existe par ailleurs un taux d'échec de progression de moins de 10 %.

Le taux de succès est de 90% pour les calculs de l'uretère proximal et environ 75-80 % pour les calculs rénaux. Il varie essentiellement selon la taille du calcul (27,39).

Néphrolithotomie percutanée (NLPC) :

La chirurgie percutanée a sa place en première intention pour les calculs de plus de 2 cm.

La ponction du rein est réalisée sous échographie et fluoroscopie, le plus souvent par un calice inférieur puis le canal de travail est dilaté afin d'introduire du matériel de lithotritie endocorporelle souvent par fibre laser (40). L'extraction des fragments est ensuite réalisée. En fin de procédure, une sonde de néphrostomie est mise en place dans la plupart des cas.

Une UroTDM est réalisée avant sa réalisation pour planifier le traitement.

Les contre- indications de la NLPC sont celles de l'anesthésie générale, une coagulopathie ou un arrêt du traitement anti-coagulant impossible, une infection urinaire non traitée, une interposition digestive atypique, une suspicion de tumeur rénale ou encore la grossesse.

Les complications de la NLPC sont le risque infectieux et hémorragiques, l'urinome ou la fistule urinaire ou encore les plaies d'organe de voisinage.

3.1.4.2.5 Chirurgie ouverte et laparoscopique

Les indications de la chirurgie ouverte sont très rares : calculs coralliformes très ramifiés, malformation, scoliose, calcul géant ou en cas de sténose des voies urinaires.

La coelioscopie est de même rarement réalisée du fait du développement des techniques endo-urologiques et de la LEC et a lieu du fait de leurs échecs pour certains calculs complexes ou en cas de rein en fer à cheval (27).

3.1.4.3 Stratégie thérapeutique d'élimination des calculs

Elle est déterminée par les recommandations de l'*European Association of Urology* EAU et de l'*Association Française d'Urologie* AFU de 2013 (27,28).

3.1.4.3.1 Surveillance des calculs urétéraux

Tenant compte d'un taux d'élimination spontanée fort si le calcul mesure moins de 5 mm, il peut bénéficier d'une surveillance avec réévaluation régulière en dehors de toute complication. Ces patients bénéficient alors d'un traitement médical facilitateur de l'expulsion du calcul.

3.1.4.3.2 Surveillance des calculs rénaux

Il n'y a pas de consensus pour savoir si les calculs caliciels asymptomatiques et stables depuis plus de 6 mois doivent être traités ou surveillés.

L'EAU recommande de les traiter s'ils augmentent de taille, s'ils sont responsables d'une obstruction ou d'une infection ou encore de douleurs.

3.1.4.3.3 Indications du traitement ablatif selon l'EAU (28)

Pour les calculs urétéraux :

- calculs avec faible probabilité de passage spontané
- persistance de douleurs malgré un traitement médical adéquat
- obstruction persistante des voies urinaires
- insuffisance rénale

Pour les calculs rénaux :

- calculs de moins de 15 mm si la surveillance n'est pas choisie La lithiase oxalocalcique tend à s'expandre dans le monde
- calculs de plus de 15 mm
- calculs symptomatiques
- infection urinaire
- obstruction des voies urinaires
- patients à haut risque de formation de calculs
- augmentation de la taille du calcul
- choix du patient
- comorbidités
- calculs persistants après 2-3 mois de surveillance

Pour les fragments résiduels du rein post procédure :

- symptomatique ou de taille supérieure à 6-7 mm

3.1.4.3.4 Choix du traitement ablatif selon la composition du calcul

La composition du calcul doit être prise en considération et si elle est méconnue on considère que pour un calcul de densité supérieure à 1000 UH à la TDM il faut préférer l'URS à la LEC, selon les recommandations de l'AFU et de l'EAU (27,28).

3.1.4.3.5 Choix du traitement ablatif du calcul rénal selon la taille d'après les recommandations de l' AFU (41) : tableau 8

TABLEAU 8

Hors nature du calcul	< 2 cm	> 2 cm	Coralliformes ou calculs complexes
Standard	LEC	NLPC NLPC ± LEC ± URSS	NLPC ± LEC ± URSS
Options	URS-Souple* NLPC	LEC ± JJ URSS	
Remarques	Si LEC : pas plus de 2 séances à 3 semaines d'intervalle Après PNA : délai de 3 semaines < 5 mm asymptomatique : pas de traitement systématique	LEC 4 à 6 semaines après NLPC Pas de LEC seule	Pas plus de deux tunnels dans la même séance Chirurgie ouverte (néphrotomie anatrophique) pour coralliforme complexe

*Il existe des indications d'URSS en première intention dans des cas particuliers :

- Échec de LEC.
- Troubles de la coagulation (antivitamines K, antiagrégants plaquettaires).
- Calculs multiples ou urétéral associé.
- Calculs durs (brushite, cystine ou densité > 1000 unités Hounsfield).
- Obésité (IMC > 30), insuffisance rénale chronique.
- Particularités anatomiques : rein en fer à cheval, rein pelvien, diverticule caliciel, rein unique.
- Selon le souhait du patient.

3.1.4.3.6 Choix du traitement ablatif du calcul urétéral selon la localisation d'après les recommandations de l'AFU (16) : tableau 9

TABLEAU 9

Tableau 2 Recommandations pour le traitement des calculs de l'uretère.			
Hors nature du calcul	Calcul lombaire (Ul)	Calcul iliaque (Ui)	Calcul pelvien (Up)
S	LEC in situ Surveiller si ≤ 6 mm	LEC in situ URS ± souple Surveiller si ≤ 6 mm	LEC URS (surtout si > 10 mm) Surveiller si ≤ 6 mm
O	(1) JJ + LEC différée (1) URS ± souple (2) NLPC antérograde (3) Chirurgie/coelioscopie ou rétropéritonéoscopie	(1) JJ + LEC différée (2) Flush + LEC (3) Chirurgie/coelioscopie (3) NLPC ± URS antérograde	(1) JJ + LEC différée (2) JJ puis URS
R	LEC possible dès le lendemain LEC urgence si colique néphrétique	LEC possible dès le lendemain JJ préalable si URS difficile LEC urgence si colique néphrétique	LEC possible dès le lendemain Si URS simple : drainage non obligatoire LEC urgence si colique néphrétique

S: standard; O: options; R: remarques; 1, 2, 3...: hiérarchie du choix pour l'option; Ul: uretère lombaire; Ui: uretère iliaque; Up: uretère pelvien; URS: urétéroscopie.

3.1.4.3.7 Particularité du traitement de la lithiase urique

Une alcalinisation active par ingestion de bicarbonate de sodium afin d'amener le pH urinaire entre 6,5 et 7 est le traitement curatif de première intention. Le recours à la LEC ou à la NLPC voire à l'URS est recommandé en cas de calcul volumineux ou entouré d'une coque calcaire suivi d'un traitement alcalinisant prolongé pour dissoudre les fragments résiduels et prévenir les récurrences (6,42). Le suivi régulier de l'efficacité de l'alcalinisation par ASP pendant et après le traitement est recommandé.

3.1.4.3.8 Particularité du traitement de la lithiase d'infection

Il inclut la suppression totale du calcul, par NLPC en première intention complétée au besoin avec de la LEC lorsque le calcul est rénal souvent coralliforme ou par URS lorsqu'il est vésical suivie par un traitement antibactérien au long cours adapté aux germes retrouvés après mise en culture du calcul à titre préventif (6). Dans 30% des cas aucun germe n'est retrouvé, un traitement probabiliste visant *Proteus* est alors instauré (6).

3.1.4.4 Evaluation métabolique et prévention secondaire de la maladie lithiasique

3.1.4.4.1 Exploration métabolique

La première étape est de recueillir la nature de la lithiase :

- Soit si le calcul est disponible : par analyse morpho constitutionnelle par spectrophotométrie infrarouge
- Soit s'il n'est pas disponible : par l'étude de la cristallurie des urines

Il faut ensuite identifier les facteurs de risque lithogènes qui sont :

- l'histoire lithiasique :
l'âge de début, la chronologie des épisodes, le côté des CNA, le nombre de calcul expulsé, la notion d'hématurie ou d'infection urinaire à répétition.
- l'activité lithiasique clinique (nombre de manifestations cliniques) mais aussi métabolique (nombre de nouveaux calculs, augmentation de taille d'un calcul connu)
- les antécédents personnels généraux : diabète, syndrome métabolique, hypothyroïdie, maladies intestinales
- les maladies hypercalciuriantes : hyperparathyroïdie, sarcoïdose, néoplasie, maladie de Paget, hypercorticisme, hyperthyroïdie
- antécédents familiaux lithiasiques : cystinurie
- facteurs environnementaux : activité sportive, alimentation, séjour en pays chaud, diurèse, prise de boissons, prise de médicaments
- enquête alimentaire : nature et type de boisson, apports quotidiens en calcium, protéines animales, sel et oxalates

Les anomalies anatomiques de l'arbre urinaire sont de même à rechercher car elles peuvent, tout en favorisant la lithiase urinaire, modifier la prise en charge thérapeutique urologique.

Les analyses biologiques obtenues dans des conditions habituelles de mode de vie en termes d'activité et d'alimentation sont guidées par l'analyse de la composition urinaire. Les examens sont réalisés à distance de l'épisode lithiasique et visent à rechercher les anomalies lithogènes les plus fréquentes en première intention(43) (Tableau 10) .

Urines de 24 heures (samedi au dimanche soir)	Sang (lundi matin)	Urines du réveil (lundi matin)
Créatinine	Créatinine	Densité
Calcémie	Calcium	pH par pHmétrie
Acide urique	Acide urique	Cristallurie
Urée	Glycémie à jeun	Bandelette urinaire et/ou ECBU
Sodium		
Volume		

TABLEAU 10 : Examens biologiques de première intention à réaliser lors du premier épisode (recommandations de l'AFU)

3.1.4.4.2 Mesures de prévention secondaire

Il faut en premier lieu traiter une éventuelle pathologie sous jacente responsable de la lithiase secondaire.

Les mesures générales de prévention sont :

- apports hydriques de plus de 2,5 litres par jour fractionnés sur 24H
- boissons à pH neutre
- diurèse de 2 à 2,5 L par jour
- alimentation équilibrée riche en légumes et fibres
- apport calcique de 1 à 1,2g par jour
- limiter le sel à 4-5 g par jour
- limiter les protéines animales à 0,8-1 g/kg par jour
- activité physique régulière
- IMC entre 18 et 25 kg/m²
- Mesures de réduction du stress

Les mesures spécifiques mises alors en œuvre visent alors à traiter les anomalies métaboliques associées ou non à une pathologie causale afin de réduire les risques de récurrence.

3.2 LA TDM DOUBLE ENERGIE

3.2.1 PRINCIPES PHYSIQUES FONDAMENTAUX EN TDM

3.2.1.1 *Définition de quelques variables utilisées en scannographie*

Une des variables paramétrées en scanner à chaque acquisition est le kilovoltage (kV) qui est la tension appliquée au tube de rayons X. L'énergie d'un spectre polychromatique est définie en kilo-électron-volt (keV), avec une énergie moyenne E_{moy} et une énergie maximale évaluée en kilovolt peak (kVp).

Les unités Hounsfield (UH) représentent la mesure de la valeur d'atténuation d'un élément donné sur l'image obtenue car les rayons X sont plus ou moins atténués suivant la densité électronique des structures traversées.

3.2.1.2 *Production des rayons X*

La production de rayons X est réalisée par l'intermédiaire d'un tube de Coolidge contenant un filament chauffé et porté à basse tension (cathode) et une cible métallique à haute tension (anode). Les électrons sont produits par la cathode et sont attirés vers l'anode du fait de la différence de potentiel. Il existe une décélération brutale des électrons lors de leur arrivée sur l'anode. L'interaction énergétique entre les électrons et la cible métallique est à l'origine de la production de rayons X. Lorsque l'électron passe au voisinage d'un noyau de la cible, il est attiré par ce dernier et perd donc une partie de son énergie sous forme d'un rayonnement de freinage ou «Bremsstrahlung» caractérisé par un spectre continu. Si l'électron entre en collision avec un autre électron de la cible alors ce dernier est arraché du cortège électronique il se produit alors un réarrangement électronique à l'origine de spectre de raies caractéristiques de l'anode. Le spectre total obtenu est la combinaison du spectre continu et du spectre de raies.

Le faisceau produit suite à l'interaction des électrons avec l'anode est de nature polychromatique ou polyénergétique car il contient des photons X d'énergie différente. Le spectre obtenu de photons est d'énergie maximale définie par le kilovoltage employé.

3.2.1.3 Interaction des rayons X avec la matière

Lorsque les rayons X produits arrivent dans la matière, deux principales voies d'interaction des photons X ont lieu, ce sont l'effet photoélectrique et l'effet Compton

L'effet photoélectrique consiste en l'éjection d'un électron de la couche électronique K d'un atome par un photon X incident d'énergie suffisante à cette action (Figure 9). Il se forme alors un photon de fluorescence du fait du réarrangement électronique. Ce mode d'interaction a la propriété d'être dépendant de l'énergie du photon incident. En effet il a lieu lorsque l'énergie du photon incident est proche de celle nécessaire à l'éjection d'un électron de la couche K qui elle même varie selon le numéro atomique. On définit alors le k-edge qui est le pic d'atténuation d'un atome soumis à un faisceau de rayons X au niveau d'énergie tout juste supérieur à celui de la couche électronique K de cet atome. Le K edge est donc propre à un atome (Tableau 11). Il en résulte que plus l'énergie du photon incident sera proche du K edge d'une substance, plus cette dernière atténuera le faisceau. Ce phénomène est le mode d'interaction majoritaire pour les éléments ayant un numéro atomique élevé (iode, calcium, acide urique, gadolinium..).

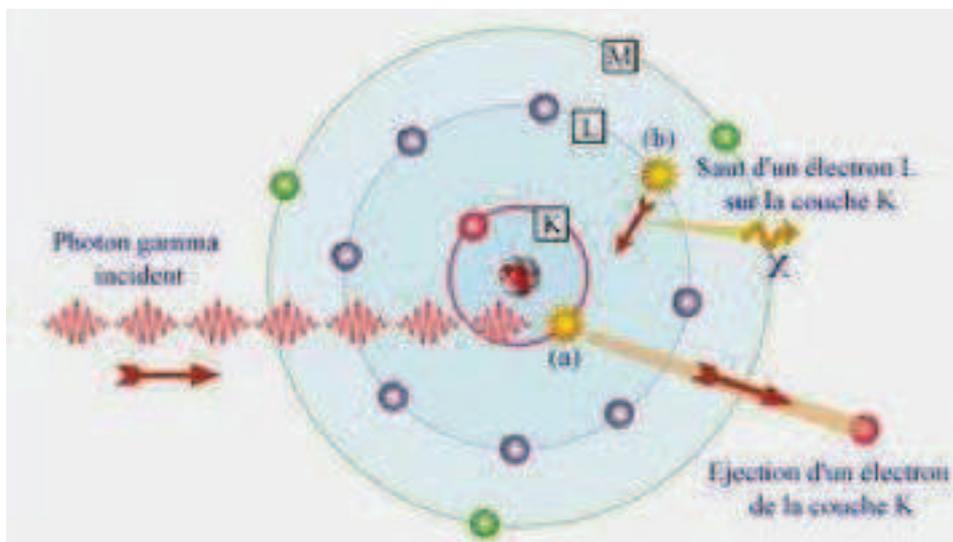


FIGURE 9 : Effet photoélectrique

K Edges and Atomic Numbers of Physiologic Substances and Contrast Agents		
Substance	K Edge (keV)	Atomic Number (Z)
Hydrogen	0.01	1
Carbon	0.28	6
Nitrogen	0.40	7
Oxygen	0.53	8
Calcium	4.00	20
Iodine	33.20	53
Barium	37.45	56
Gadolinium	50.20	64

TABLEAU 11 : K-edge et numéro atomique selon la substance

L'effet Compton résulte de l'interaction d'un photon X avec un électron faiblement lié à l'atome à qui il cède son énergie et qui est alors éjecté : il se crée alors un électron Compton et un photon diffusé (Figure 10). Il est favorisé dans les milieux peu denses (graisse et tissus mous), il est indépendant de l'énergie des photons, il n'a donc pas d'importance clinique dans le cadre de l'imagerie spectrale.

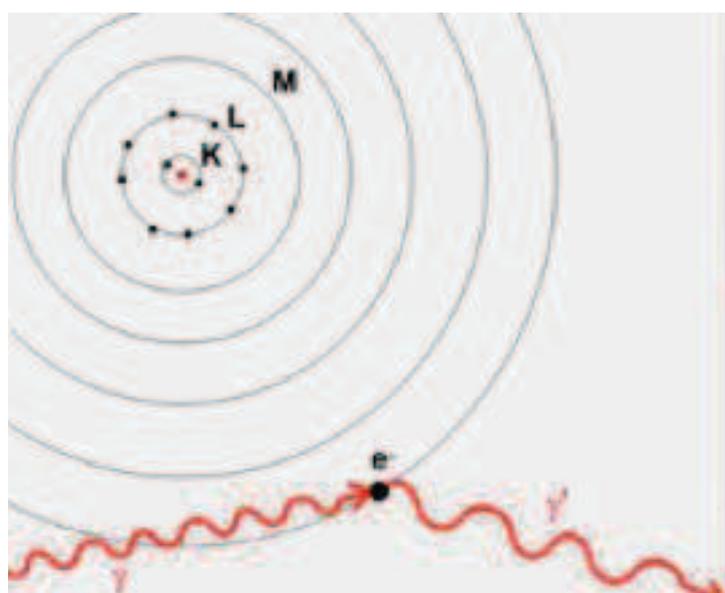


FIGURE 10 : Effet Compton

In fine, **la TDM** est basée sur la mesure de la valeur d'atténuation d'un élément (tissu, matériau..) exprimée en UH selon le kilovoltage paramétré. Pour chaque pixel cette valeur d'atténuation dépend de la masse atomique et de la densité du matériau analysé. La masse atomique est donc élevée pour les matériaux denses comme l'iode ou le calcium et faibles pour le carbone, l'hydrogène ou l'oxygène constituant les tissus mous. Deux éléments peuvent avoir une densité UH similaire à un kilovoltage donné en TDM simple énergie (SE) produisant peu d'information spécifique sur la matière étudiée. En utilisant deux spectres d'énergie différente, le profil d'atténuation de deux matériaux étudiés étant différent selon l'énergie photonique ils peuvent être différenciés (Figure 11). C'est le principe de la TDM double énergie.

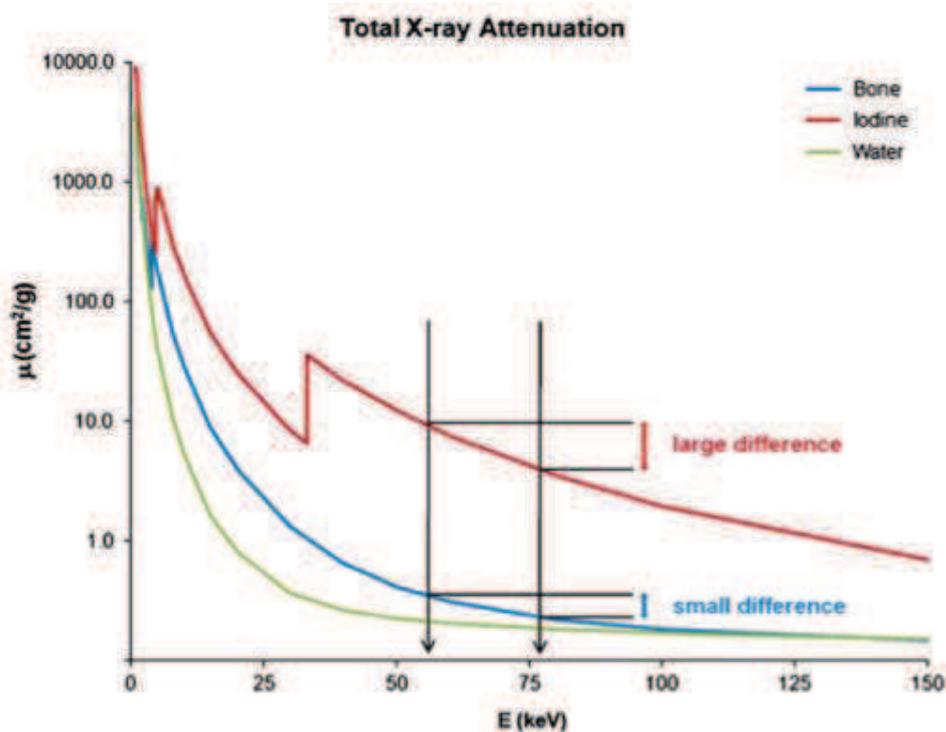


FIGURE 11 : Courbe d'atténuation de plusieurs éléments (iode en rouge, os en bleu et eau en vert) : coefficient d'atténuation selon l'énergie photonique. A 80 kVp, Emoy est d'environ 52 keV et à 140 kVp de 75 keV(44).

3.2.2 PRINCIPE DE LA TDM DOUBLE ENERGIE

3.2.2.1 Définition

Le terme de « double-énergie » désigne une technique scannographique utilisant deux spectres de photons X à deux énergies différentes (en pratique 80 et 140 kV) en une seule acquisition afin d'obtenir deux images différentes. Cette modalité d'imagerie est disponible avec des applications cliniques depuis le début des années 2000. L'autre terminologie usitée est celle d'« imagerie spectrale ».

3.2.2.2 Historique

Dès la fin des années 1970, certaines équipes ont tenté d'utiliser l'imagerie spectrale en réalisant deux acquisitions à deux énergies différentes l'une après l'autre avec une TDM simple énergie (SE). Cependant différentes limites techniques ont été opposées à cette technique : la non reproductibilité et la non fiabilité des mesures des valeurs d'atténuation, une résolution spatiale limitée, une résolution temporelle augmentée à l'origine d'artéfacts cinétiques d'origine respiratoires et surtout une surirradiation. Au total aucune différenciation matérielle ne pouvait être menée de façon satisfaisante (45). L'introduction d'une TDM DE (double énergie) avec une double source par Siemens depuis 2006 permettant l'acquisition simultanée des deux spectres d'énergie différente a révolutionné la technique.

3.2.2.3 Principe général de fonctionnement

Elle nécessite des **sources** produisant des spectres de rayons X à des énergies différentes choisies. Le choix des valeurs 80 et 140 kV est à la fois clinique et technique. En effet, en dessous de 80 kV une importante partie du faisceau de rayons X serait absorbé par le corps humain et au dessus de 140 kV la différenciation tissulaire est faible du fait d'un manque de contraste de l'image produite (45). Au total ces deux kilovoltages permettent une différenciation matérielle optimale avec le moins de chevauchement possible entre les deux spectres. Des filtres peuvent être ajoutés pour enlever les photons de faible énergie du spectre produit à haute énergie et ainsi affiner la différenciation matérielle obtenue (46).

Aucune source de rayons X ne produit de faisceau monochromatique à l'heure actuelle, ce sont des spectres de rayons X pour un kilovoltage donné qui sont produits (Figure 12).

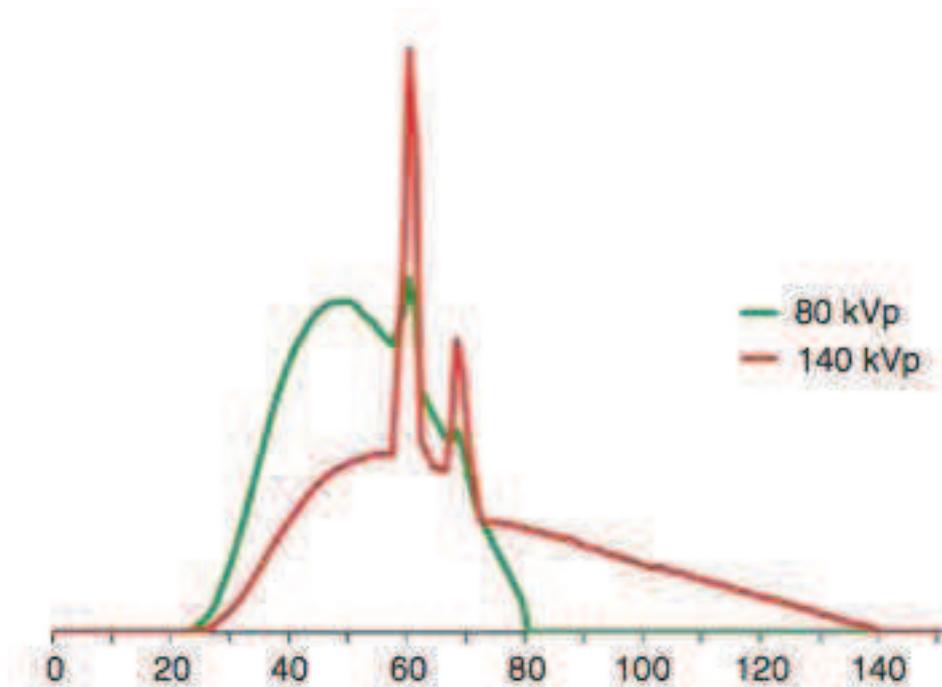


FIGURE 12 : Spectre d'un tube fonctionnant à 80 et 140 kV. Les pics représentent les raies caractéristiques de l'anode de tungstène et le spectre continu résulte du spectre de Bremsstrahlung.

Le tissu étudié doit avoir des **propriétés spectrales** suffisamment différentes selon l'énergie du faisceau X incident pour permettre sa distinction d'un autre. Comme nous l'avons vu plus haut, l'effet photo électrique est à la base de l'imagerie spectrale et il est significatif pour les constituants à numéro atomique élevé comme les calculs rénaux ou l'iode. Par ailleurs, deux éléments seront d'autant mieux distingués que leur numéro atomique est différent.

Le **détecteur** doit pouvoir différencier des spectres d'énergie différente. Pour certaines machines il y a un double détecteur, chacun recevant le spectre d'une énergie donnée d'une source double de rayons X (Siemens : Figure 13). Pour d'autre, il y a un détecteur unique différenciant les deux spectres en fonction du temps (General Electric GE : Figure 14) ou ayant deux couches différentes de sensibilité différente selon l'énergie du spectre incident (Philips : Figure 15).

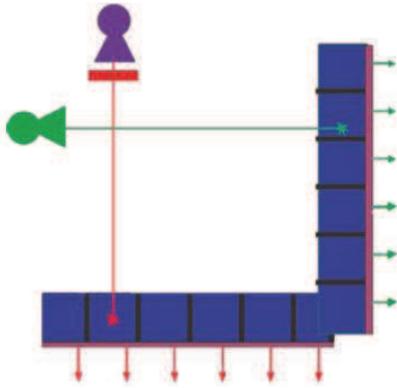


FIGURE 13 : Système double source (utilisé actuellement par SIEMENS) avec 2 tubes , un opérant à 80 kV en vert et un à 140 kV en violet et 2 détecteurs.

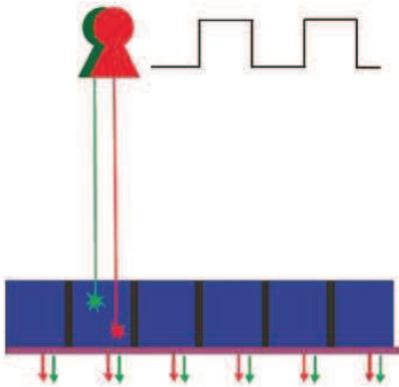


FIGURE 14 : Système simple source (utilisé actuellement par GE) avec une alternance rapide des kilovoltages : une seule source opérant alternativement à 80 et 140 kV et un détecteur.

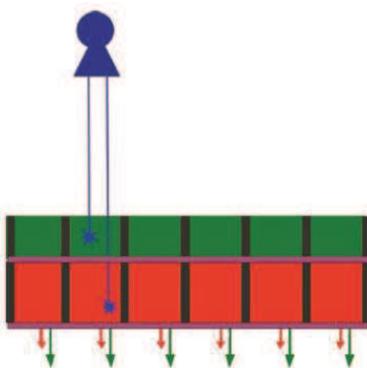


FIGURE 15 : Système simple source (utilisé actuellement par PHILIPS) : une seule source à voltage constant et deux détecteurs de sensibilités différentes selon l'énergie détectée du spectre de rayons X (le vert pour le spectre à basse énergie et le rouge à haute énergie).

3.2.2.4 Système GE simple source avec alternance rapide des kilovoltages

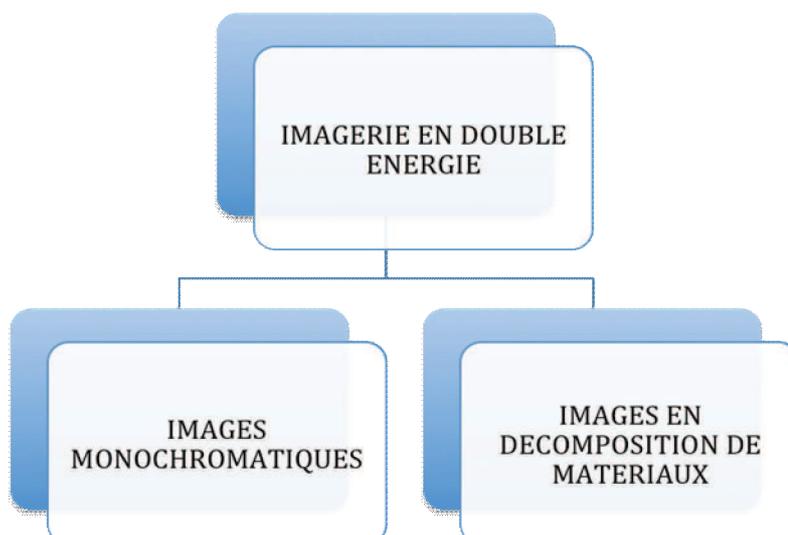
Il s'agit du système utilisé dans notre centre et pour notre étude. Le système GE (Discovery CT750 HD, GE Healthcare, Milwaukee, Wisconsin) emploie une acquisition des données par « fast kVp switching », c'est à dire une alternance rapide des kilovoltages. La source de rayons X passe rapidement entre un haut kV (140) et un bas kV (80) produisant presque simultanément en une seule rotation à la même localisation des projections à bas et haut kV (47).

Le détecteur, désigné sous le nom de « Gemstone », est la clé de cette technologie, permettant une capture rapide des deux spectres énergétiques. Le courant du tube est constant pour les deux kilovoltages car il ne peut être adapté à cette alternance rapide de la tension. Le champ de vue de 50 cm et un enregistrement quasi simultané des données à haute et basse énergie sont les principaux avantages de ce système contrairement à la TDM avec double source.

Le post traitement des images est effectuée par l'intermédiaire d'un logiciel ,*GSI viewer* permettant une analyse qualitative et quantitative des données obtenues.

Analyse qualitative :

Les images obtenues offrent les mêmes informations anatomiques et structurales que la TDM SE tout en permettant des informations dites matérielles spécifiques après reconstruction des images natives. Deux grands types d'images sont obtenues : des images en décomposition de matériaux et des images monochromatiques (Figure 16).



Il est en effet possible de reconstruire des images virtuelles correspondant à un niveau d'énergie donné du spectre avec 101 niveaux d'énergie disponibles entre 40 keV et 140 keV : il s'agit d'**images monochromatiques** (annexe 2). Leur intérêt est d'obtenir des images moins bruitées en diminuant l'effet de l'artéfact de durcissement du faisceau de rayons X et donc les mesures des valeurs d'atténuation sont donc plus fiables et reproductibles que celles obtenues avec un faisceau polychromatique. Par ailleurs, on peut choisir à quel niveau d'énergie nos mesures peuvent être réalisées. Il a été validé qu'à environ 70 keV le bruit des images est moindre et un meilleur rapport signal sur bruit est obtenu comparativement à l'imagerie conventionnelle à 120 kV pour une dose d'irradiation donnée (48,49). Les valeurs d'atténuation obtenues à ce niveau d'énergie sont les mêmes qu'à 120 kV. Aussi, l'idée de remplacer l'imagerie conventionnelle à 120 kV par l'imagerie spectrale est émise du fait du bénéfice supplémentaire apporté par cette technique.

A partir des **images en décomposition de matériaux**, une analyse qualitative d'un matériau est effectuée. Ceci est basé sur un algorithme de décomposition selon deux bases, aussi un matériau a une valeur d'atténuation qui est une somme pondérée de celle de deux matériaux connus ou bases. Les deux bases employées sont soit l'eau et l'iode pour des examens injectés, soit n'importe quelle composition connue d'un calcul dans le cadre de la caractérisation de calculs urinaires. Le logiciel dédié permet ainsi d'accéder à des images soustraites d'un matériau choisi (eau, iode, calcium, acide urique etc.) et d'en déduire la composition selon un codage colorimétrique. Par ailleurs, cette procédure est utilisée par exemple pour la quantification d'iode des examens injectés par l'intermédiaire de cartographie en iode mais aussi en eau similaire à une hélice sans injection par soustraction de l'iode (49). Elle trouve aussi par exemple son intérêt pour l'étude du rehaussement de lésions rénales (49–51).

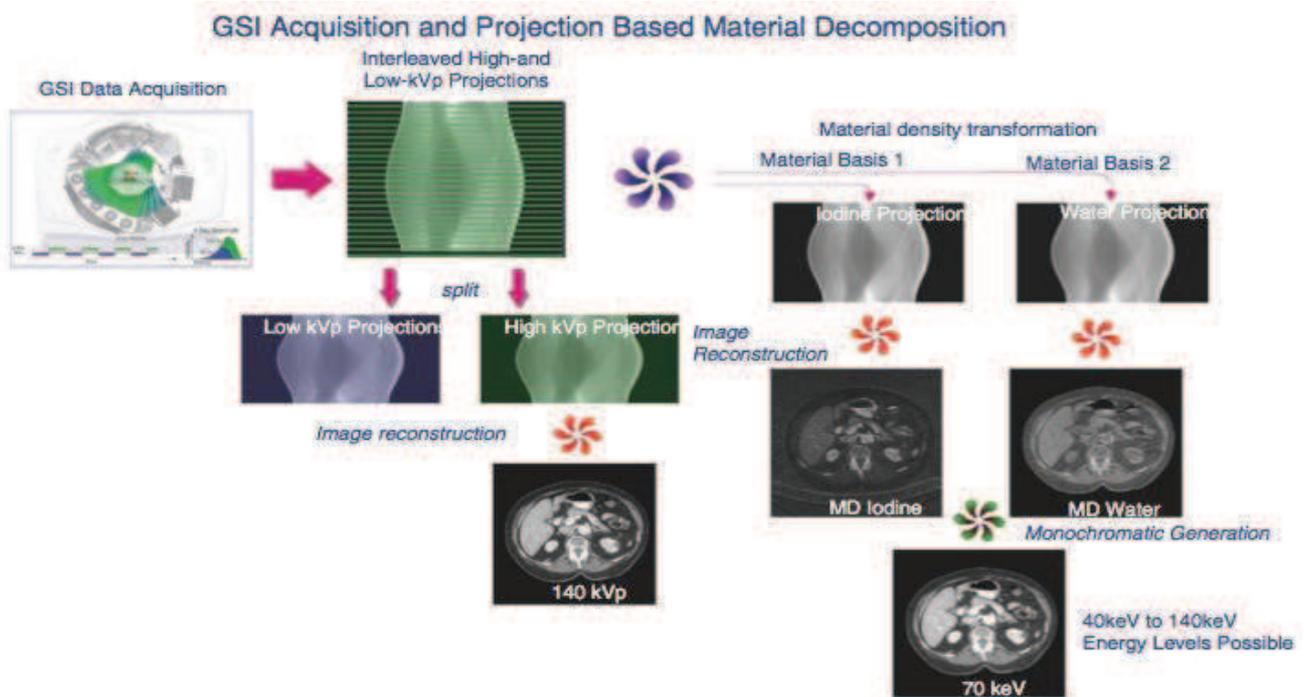


FIGURE 16: Procédure d'acquisition d'images de décomposition de matériaux et d'images monochromatiques dont la plus utilisée (70 keV) (52).

Analyse quantitative :

Une analyse quantitative est accessible après avoir placé une région d'intérêt (ROI) au sein d'un matériau inconnu, par l'intermédiaire du **Zeff** ou numéro atomique effectif. Il représente la moyenne des numéros atomiques présents au sein de la région étudiée. Il est calculé à partir du ratio du coefficient linéaire d'atténuation des éléments du ROI à haute et basse énergie (53). On comprend qu'il est alors possible d'approcher la composition de la matière. Cet outil diagnostique est à l'heure actuelle en cours d'évaluation en particulier pour l'étude de la composition des calculs urinaires, peu d'analyses ont été publiées (53,54).

La valeur d'atténuation en UH est de même obtenue pour chaque ROI placé et une courbe d'atténuation ou courbe spectrale est alors générée la reliant selon l'énergie en keV.

3.2.2.5 Application à l'étude de la composition des calculs urinaires

Comme nous l'avons vu plus haut de nombreuses études in vitro et in vivo ont tenté en vain et du fait de multiples limites principalement techniques de trouver une méthode consensuelle et reproductible de caractérisation de la composition des calculs urinaires en imagerie conventionnelle.

De part ses possibilités de discrimination matérielle spectrale, la TDM DE s'est rapidement imposée dans la recherche dès les années 2007 pour accéder à la caractérisation des calculs urinaires. La plupart des études in vivo menées ont une excellente performance diagnostique pour détecter les calculs d'acide urique mais elles ont presque toutes été menées sur une TDM DE double source SIEMENS (Tableau 12). Les plus récentes (2013) se sont déroulées à l'aide de la TDM DE simple source GE et une seule étude in vivo est publiée à ce jour concernant 11 patients (54). Nous sommes aux balbutiements de cette nouvelle technologie dans cette indication clinique.

Le principal facteur limitant auquel les différentes équipes se heurtent in vivo est le caractère mixte des calculs. En effet, les résultats les plus prometteurs à l'heure actuelle ont été obtenus grâce à l'étude de calculs purs qui ne représentent que moins d'un tiers du panel des calculs diagnostiqués en urologie.

Il n'y a pas de variable de mesure consensuelle à l'heure actuelle permettant d'accéder à la composition des calculs urinaires, elle est différente selon la machine utilisée mais aussi selon les équipes.

La méthodologie que nous avons employé grâce au logiciel *GSI viewer* de GE pour caractériser un calcul urinaire utilise principalement la valeur quantitative Z_{eff} (numéro atomique Z) que l'on compare aux valeurs de référence de la base de données de Z de calculs connus et enregistrés dans le logiciel de post traitement.

Voici comment utiliser le logiciel de post traitement (*GSI viewer* de GE) :

- exemple de l'Acide Urique

- 1) Un ROI est placé au sein du calcul sur l'image monochromatique à 70 keV et on obtient tout d'abord une courbe spectrale (UH en fonction des keV).

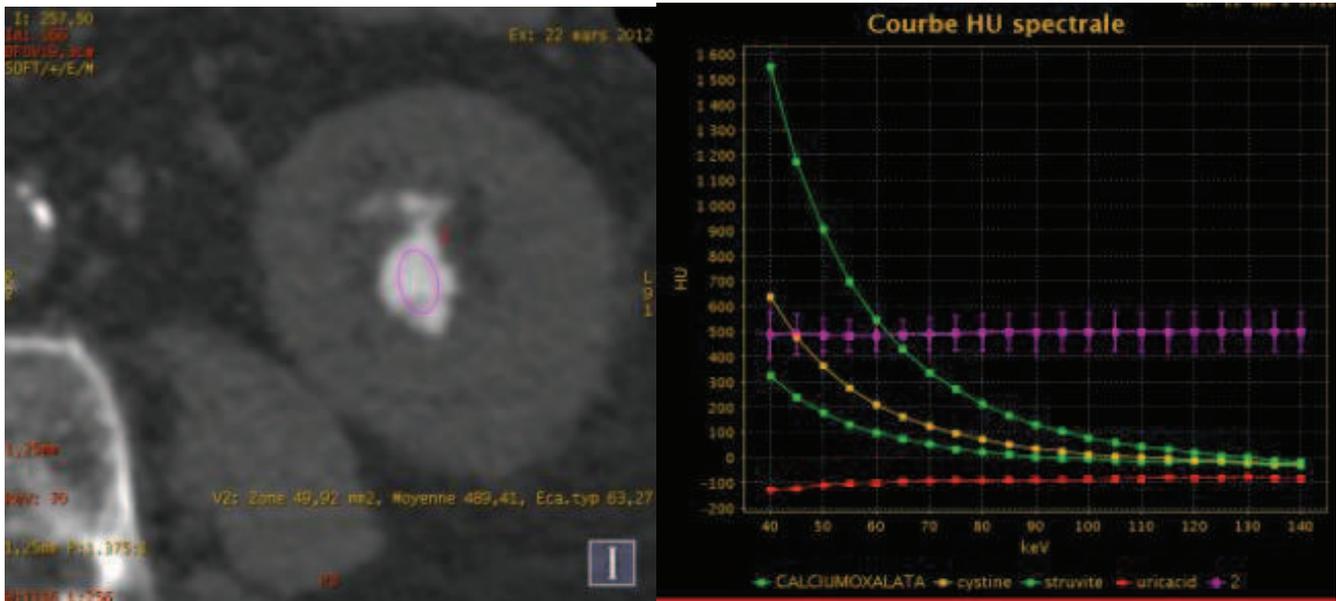


FIGURE 17 : Placement d'un ROI au sein du calcul et courbe d'atténuation spectrale obtenue : exemple de l'acide urique

2) On obtient de même un histogramme permettant l'évaluation du Zeff de chaque pixel à partir du ROI dessiné avec la possibilité de comparer aux valeurs de Zeff de référence des compositions de calcul connues (de droite à gauche : Acide urique, struvite, cystine, oxalate de calcium).

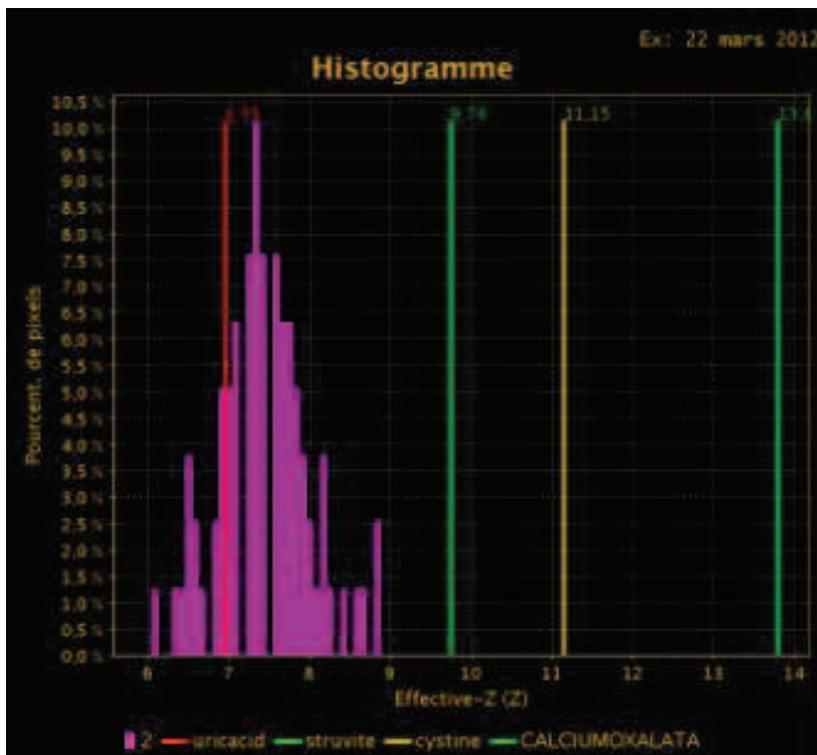


FIGURE 18 : Histogramme obtenu pour le ROI placé au sein du calcul d'acide urique

3) On remarque que la majorité des pixels ont un Zeff se rapprochant de la valeur de référence « Acide urique » nous permettant de conclure qualitativement à un calcul d'acide urique.

- exemple de la Cystine

La courbe spectrale du calcul de cette patiente est parallèle à celle de la cystine et les pixels contenus dans le ROI sont majoritairement centrés sur la valeur Zeff de la cystine sans étalement significatif de l'histogramme.

Nous concluons de façon qualitative à un calcul de cystine pur.

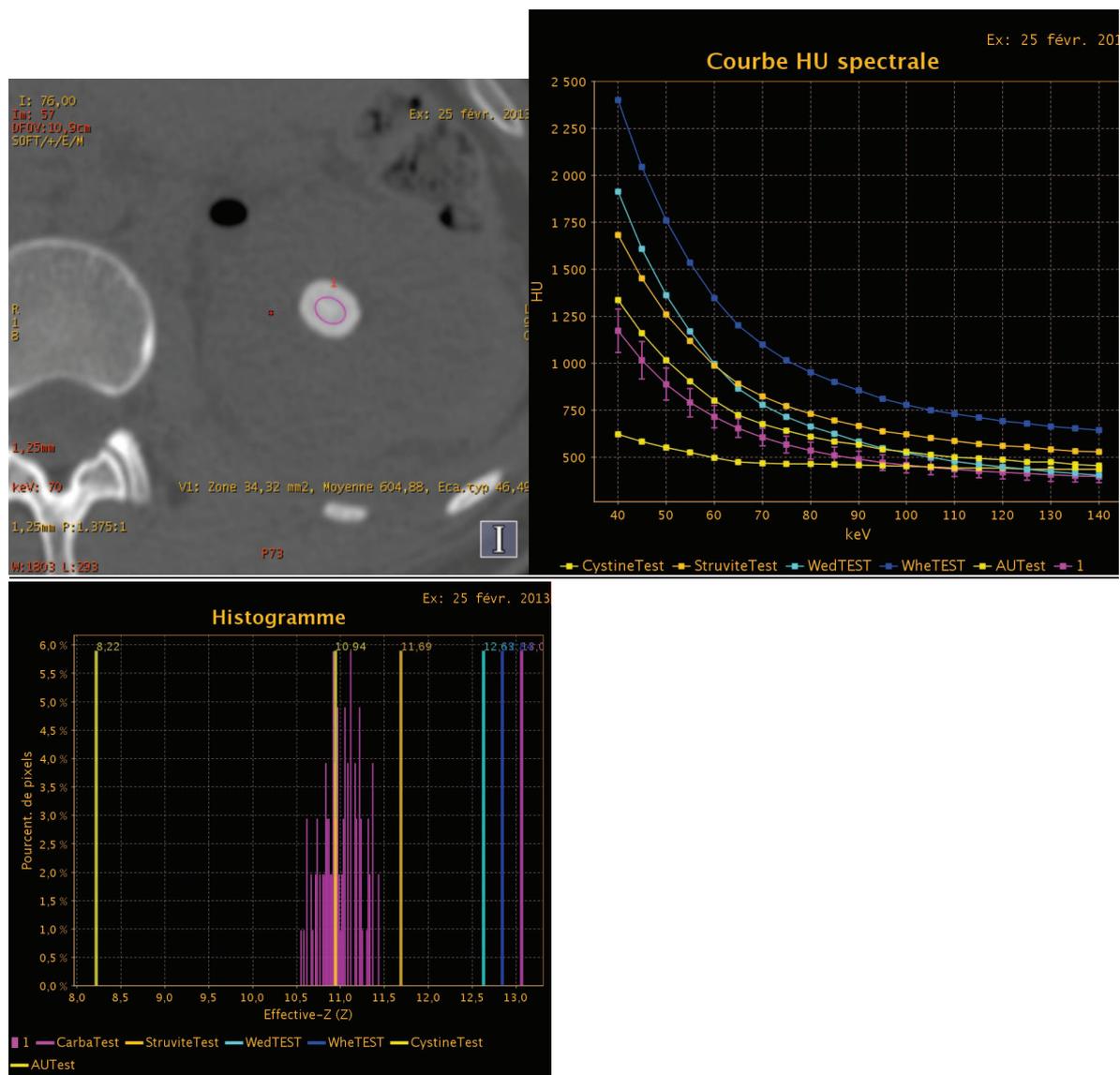


FIGURE 19 : Placement d'un ROI au sein du calcul (à gauche), courbe d'atténuation spectrale obtenue (en haut à droite) et histogramme (en bas): exemple de la cystine

- **exemple d'un calcul calcique mixte** : 40% whewellite, 35% carapatite et 25% weddellite

On remarque l'étalement de l'histogramme autour de plusieurs valeurs de référence (whewellite, weddellite et carapatite) en rapport avec la mixité du calcul.

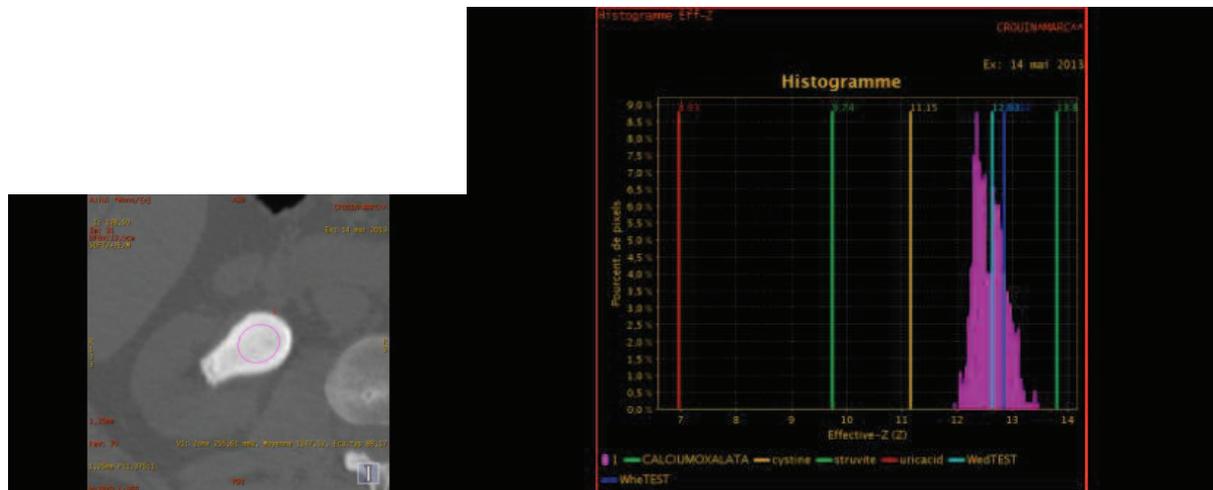


FIGURE 20 : Histogramme obtenu pour le ROI placé au sein d'un calcul calcique mixte

Une **analyse qualitative** a été réalisée par deux radiologues de 9 ans et 5 ans d'expérience en radiologie abdominale. Il leur a été demandé de classer les calculs de 30 patients en 4 sous groupes : acide urique, cystine, struvite et autre. Pour se faire, une analyse attentive de l'histogramme obtenu pour chaque calcul, en aveugle des types de composition de calcul présents dans la cohorte de patients, du nombre de calculs par composition et de leurs résultats respectifs. Dans la catégorie autre, les calculs de composition n'entrant pas dans les trois compositions définies ou mixte ont été regroupés. La mixité du calcul était sous entendue par un étalement de l'histogramme, les pixels se distribuant sur plusieurs valeurs de Zeff différents. Les résultats ont été très intéressants montrant la bonne classification de tous les calculs d'acide urique et de cystine par les deux radiologues (Annexe 3).

Nous avons par ailleurs effectué une **étude in vitro** en utilisant des calculs purs de composition connue, recueillis lors des interventions urologiques au sein du laboratoire de biochimie du CHU de Rouen. Nous les avons placés un à un dans les reins d'un fantôme anthropomorphique dédié à l'interventionnel (Annexe 4), puis une hélice en double énergie a été réalisée. Le Zeff de chaque composition a été estimé et a été intégré à la base des données Zeff de référence du logiciel *GSI viewer* de GE. Les Zeff des patients ont donc été directement comparés aux Zeff paramétrés via notre étude in vitro qualitativement au moyen des histogrammes et courbes d'atténuation spectrales.

SIEMENS

AUTEUR-REVUE-ANNEE	IN VIVO/IN VITRO	NOMBRE patients/calculs	PURS ou MIXTES	COMPOSITION CALCULS	VARIABLE DE MESURE	RESULTATS
PRIMAK ACAD RADIOL 2007	IN VITRO	40 calculs	purs	AU,COM,HA,CYS	DE Ratio	AU vs non AU
MATLAGA UROLOGY 2008	IN VITRO	26 calculs	purs	AU,COM,HA	DE Ratio	AU vs COM vs HA
STOLZMANN UROL RES 2008	IN VITRO	40 calculs	20 purs et 20 mixtes	AU,COX,COP,CYS,STR	DE Ratio	AU vs non AU
GRASER INVEST RADIOL 2008	IN VITRO/ IN VIVO	24 calculs / 20 patients	purs et mixtes	AU,CYS,STR,Calciques	DE Index	AU vs non AU
THOMAS EUR RADIOL 2009	IN VIVO	28 patients	22 purs et 6 mixtes	AU,Calciques,STR	DE Ratio	Calciques vs Non Calciques
BOLL RADIOLOGY 2009	IN VITRO	50 calculs	30 purs et 20 mixtes	AU,CYS,STR,COX,COP,BRU	DECT slope	AU vs CYS vs STR vs (COX + COP)
THOMAS RADIOLOGY 2010	IN VIVO	40 patients	35 purs et 5 mixtes	AU,Calciques,CYS,STR	DE Ratio	AU vs CYS vs Calciques
ASCENTI AJR 2010	IN VIVO	24 patients	13 purs et 11 mixtes	AU,COM,COD	Décomposition Mat	AU vs Calciques
STOLZMANN ABDOM IMAGING 2010	IN VIVO	53 patients	24 purs et 29 mixtes	AU vs non AU	DE Index	AU vs non AU
MANGLAVITI AJR 2011	IN VIVO	40 patients (49 calculs)	44 purs et 5 mixtes	AU, CYS, COX	Décomposition Mat	purs : AU vs CYS vs COX
QU AJR 2011	IN VITRO	43 calculs	purs	AU,CYS,STR,COM,COD,BRU,CAR,HA	DE Ratio	AU vs CYS vs STR vs (COD+COM+BRU) vs (CAR+HA)
FUNG AJR 2012	IN VITRO	48 calculs	purs	AU,COX,COP	DE Ratio	AU vs COX vs COP
QU EUR RADIOL 2013	IN VITRO / IN VIVO	80 calculs / 66 patients	purs	AU,CYS,STR,COX,BRU,HA,CAR	DE Ratio	AU vs CYS vs (STR+COX+BRU)

PHILIPS

AUTEUR-REVUE-ANNEE	IN VIVO/IN VITRO	NOMBRE patients/calculs	PURS ou MIXTES	COMPOSITION CALCULS	VARIABLE DE MESURE	RESULTATS
HIDAS RADIOLOGY 2010	IN VITRO	37 calculs		AU,CYS,STR,COM,COD,BRU,CAR	DE Ratio	AU vs CYS vs Calciques
	IN VIVO	27 patients		AU,CYS,STR, Calciques		
EIBER EUR RADIOL 2012	IN VITRO	71 calculs		AU, CYS,STR,Calciques	DE Index	AU pur vs AU mixte vs non AU
	IN VIVO	46 patients				AU vs non AU

GE

AUTEUR-REVUE-ANNEE	IN VIVO/IN VITRO	NOMBRE patients/calculs	PURS ou MIXTES	COMPOSITION CALCULS	VARIABLE DE MESURE	RESULTATS
JOSHI MEDICAL IMAGING 2010	IN VITRO	20 calculs	purs	AU,CYS,STR,Calciques	Z eff et UH (70keV)	AU vs CYS vs STR vs Calciques
	IN VIVO	2 patients	purs	AU,COX	Z eff et UH (70keV)	AU vs COX
LI CLINICAL RADIOL 2012	IN VITRO	116 calculs	purs	AU,CYS,STR,COX,COP	Calcium to water Ratio	AU vs CYS vs STR vs COX vs COP
KULKARNI J COMPUT TOMOGR 2013	IN VIVO	11 patients	6 purs et 5 mixtes	AU,COM,COD	Z eff	AU vs non AU
WISENBAUGH UROLOGY 2014	IN VITRO	27 calculs	purs	AU,CYS,STR,COM	Courbe spectrale	AU vs non AU

TABLEAU 12 : Principales études en TDM Double énergie pour l'étude de la composition des calculs urinaires (53–68).

(AU= Acide urique, COM = oxalate de calcium monohydraté, COD = oxalate de calcium dihydraté, HA = hydroxyapatite, CYS = cystine, COX = oxalocalcique, COP = phosphocalcique, STR = struvite, BRU =brushite, CAR= carbapatite)

DE Index = (UH80kVp - UH 140 kVp) / (UH 80 kVp + UH 140 kVp +2000)

DE Ratio $\frac{\mu(HU^{stone})_{80\text{ kV}} - \mu(HU^{urine})_{80\text{ kV}}}{\mu(HU^{stone})_{140\text{ kV}} - \mu(HU^{urine})_{140\text{ kV}}}$

CWR = Calcium to water ratio = valeur absolue de la densité UH sur image en calcium sur celle en eau (images de décomposition matérielle)

3.2.2.6 *Dosimétrie en TDM Double énergie*

Initialement, l'imagerie par TDM DE était à l'origine d'une irradiation supérieure à celle par TDM SE. L'irradiation reçue dépend fortement de la technologie et du protocole technique employés. Le but est d'obtenir des doses similaires à l'imagerie conventionnelle avec un rapport contraste sur bruit équivalent tout en bénéficiant des avantages de l'imagerie spectrale. Les progrès de réduction de l'irradiation de ces dernières années ont permis de résoudre ce problème important inhérent à l'imagerie par radiation, en particulier avec l' ASIR (*Adaptative Statistical Iterative Reconstruction*) permettant d'améliorer significativement le rapport contraste sur bruit pour une diminution intéressante de la dose.

Avec le système GE simple source, Zhang et al. ont retrouvé des doses similaires à l'imagerie TDM conventionnelle en comparant des études sur l'abdomen avec ces deux imageries et pour une même performance diagnostique des images monochromatiques à 65 keV (47). Matsumoto et al. ont démontré que pour une dose donnée les images monochromatiques à 70 keV ont un rapport contraste sur bruit plus élevé que l'imagerie conventionnelle à 120 kVp (48). Ces deux équipes proposent alors de remplacer l'imagerie TDM SE par l'imagerie spectrale. Par ailleurs, avec la possibilité d'obtenir à partir d'une hélice injectée des images virtuelles soustraites de l'iode, le protocole alors réalisé en imagerie spectrale est moins irradiant que celui réalisé en imagerie polychromatique contenant une hélice sans injection. Il est alors légitime de penser que l'imagerie spectrale du fait de ses avantages pourra un jour remplacer l'imagerie conventionnelle dans certaines indications.

L'idée de réaliser une hélice en TDM DE ciblant la région d'intérêt étudiée en plus de l'imagerie conventionnelle s'est vite imposée dans les études in vivo pour minimiser le surcroît d'irradiation. Kulkarni et al. en réalisant une hélice en TDM conventionnelle selon un protocole basse dose puis une hélice spectrale ciblée ont obtenu une irradiation de respectivement 2,84 mSv et 2,17 mSv soit une dose totale moyenne de 5 mSv (54). Dans notre étude, lorsque notre protocole d'imagerie conventionnelle basse dose (tension à 120 kV et modulation des mAs) a été appliqué et associé à une hélice ciblée en double énergie, la dose obtenue était en moyenne de 435,82 mGy.cm soit 6,5 mSv restant bien en deçà du NRD de la TDM pour l'abdomen et le pelvis (12 mSv selon l'arrêté du 24 octobre 2011) (annexe 5).

4 NOTRE ETUDE

EFFECTIVE Z ACCURACY TO DETERMINE STONE COMPOSITION BY SINGLE-SOURCE DUAL-ENERGY COMPUTED TOMOGRAPHY : AN *IN VIVO* STUDY

A. FEKIR¹, C. WERQUIN¹, R. LEVY¹, C. SANAVI¹, V. MACAIGNE¹, G. HUE², M. BUBENHEIM³, A. SAFSAF⁴, JN. DACHER¹.

¹ Department of Radiology, CHU ROUEN, Charles Nicolle Hospital, 76031 ROUEN Cedex, France
email : amel.fekir@gmail.com

² Biochemical Laboratory, CHU ROUEN, Charles Nicolle Hospital, 76031 ROUEN Cedex, France

³ Biostatistical Laboratory, CHU ROUEN, Charles Nicolle Hospital, 76031 ROUEN Cedex, France

⁴ Department of Urology, CHU ROUEN, Charles Nicolle Hospital, 76031 ROUEN Cedex, France

Abstract

Objective To assess the ability of effective Z as obtained from single source dual-energy CT (SS DECT) to determine urinary tract calculi composition.

Methods 54 patients referred for urinary stone disease underwent SS DECT in our centre. Thirty patients who benefited from infrared-spectroscopy formed retrospectively the cohort study. First, Z eff was estimated for all patients. Secondly, a qualitative study was performed using a dedicated software and histogram comparing the Z eff of calculi pixels to the reference Z eff of known structures measured *in vitro*. Two radiologists were then asked to rank stones into four groups (uric acid UA, cystine, struvite or other).

Results Mean Z eff for UA stones could be significantly differentiated from non UA stones ($p < 0.0001$). Using histogram, UA and cystine stones detection was 100% for both radiologists. All stones were properly classified into the four groups with an excellent interobserver agreement ($K=0.958$).

Conclusion SS DECT allows uric acid stones characterization with high accuracy using Z eff. Moreover, UA and cystine calculi can be easily detected from a qualitative analysis of Z eff.

Key Points

- *Effective Z diagnoses accurately those patients with uric acid stones, who require medical treatment as first line.*
- *SS DECT allows reproducible cystine and uric acid calculi detection from visual comparison of Z eff of the stones to known values.*

Keywords

Urinary tract calculi. Dual –Energy CT. Single-source dual-energy CT. Effective atomic number Z eff.

Abbreviations

CT Computed Tomography

CTDIvol Volume CT dose Index

CYS Cystine

DECT Dual-energy computed tomography

ROI Region of interest

SS DECT Single source dual-energy computed tomography

STR struvite

UA uric acid

Z eff Effective atomic number

INTRODUCTION

Nephrolithiasis has an increased prevalence around the world, particularly in developed countries. The prevalence of this recurrent disease is about 5-15% of the population and the relapse rate is 50% in 5-10 years and 75% in 20 years [1].

Renal Colic is a common emergency causing a public health problem because of its cost. Otherwise, kidney stone disease is associated with systemic disorders such as metabolic syndrome, chronic kidney illness and chronic renal failure [2]. In order to decrease stone recurrence and its morbidity, the pathogenesis and the characteristics of lithogenesis for each patient might be known soon as possible, particularly the composition of the stone. This can be obtained by biochemical investigations like infrared spectroscopy, which is an *in vitro* qualitative and quantitative stone analysis widely used. Nevertheless the stone might have been collected before [3]. Knowing the composition of the urinary tract calculi on a noninvasively and early way can help anticipate and adapt the treatment and also prevent stone formation. Three urological approaches are used in the therapeutic strategy : endoscopy, external schockwave lithotripsy (ESWL) and percutaneous nephrolithotomy. The optimized choice is based on the location, the size but also on the composition of urinary tract stones which can lead to approach its

fragility. It is well known that certain types of stone like calcium mono-oxalate, cystine and brushite cannot be fragmented by ESWL, making prefer ureteroscopy, unlike struvite stones. Indeed, specific medical measures could be implemented in preoperative strategy, in particular urine alkalinization is the first-line treatment of uric acid stones [1,2,4]. Inappropriate treatment can cause renal injury without any benefit and is a risk-taking for patient at risk for recurrence and chronic kidney disease [5].

Noncontrast helical CT has a preponderant pretherapeutic role to investigate urinary tract stone disease [6,7]. It is well established that it has a high diagnostic accuracy to detect and locate stone compared to plain film radiography [8]. However the assessment of stone composition using the attenuation coefficient measurement from standard polychromatic CT provides contradictory results [9,10]. It is well known that the attenuation values of different subtypes of renal calculi may overlap on conventional CT.

Dual-energy CT (DECT) provided at 80 kVp and 140 kVp is a promising and widespread method for material decomposition. The differentiation of materials is based on their different X-ray attenuation at different photons energies linked to their atomic number [11]. This is due to the photoelectric effect, which increases with atomic number. Each stone is therefore expected to have its own attenuation profile or material density, which provides contrast between stone with light atoms versus heavy atoms. With a single

source DECT (SS DECT), the effective atomic number (Z_{eff}) can be obtained, in addition to monochromatic images allowing a more reliable measure of attenuation thanks to a reduced beam-hardening artifacts and morphological informations like conventional-CT [12,13]. To our knowledge only one study has been made in vivo with a SS DECT equipment with few patients [14].

The purpose of this study was to evaluate the accuracy of Z_{eff} to determine urinary stone composition in vivo using SS DECT.

METHODS

In vivo study

Patients and study design

Our institutional review board approved this retrospective current care study. The requirement for informed consent was waived. From December 2012 to September 2013, 54 patients received routinely a helical DECT at our institution to examine their urinary calculi disease before urologic treatment. Calculi were collected either in most cases after urologic procedure (ureteroscopy or percutaneous nephrolithotomy) or by patients. Stone composition was then performed by infrared spectrophotometry and polarizing microscopy. Only patients with verified stone composition were included in the study after questioning hospital medical information system. 30 patients were eventually elected to form the study cohort.

CT Protocol

All patients were examined with a single-source dual-energy CT system (Discovery CT 750 HD, GE Healthcare, Milwaukee, WI, USA). This system is based on fast kilovoltage switching between 140 kVp and 80 kVp with a 50 cm field-of-view. First a low radiation dose protocol was applied using the following parameters: tube potential of 120 kVp ; automated tube current modulation technique with a range of 30 mA to 100 mA ; section thickness, 1,25 mm ; gantry rotation time, 0,8 sec ; pitch, 1,375 ; noise index, 32 ; collimation 0,625 x 0,625 mm; detector configuration, 64 x 0,625 mm ;

Adaptative statistical iterative reconstruction (ASIR), 30%. The area covered extends from lung bases to the pubic symphysis. Secondly, when a urinary tract stone was detected, a dual-energy protocol was applied on either all of the abdomen and pelvic region (5 patients), or later on targeted covering the region of stone (25 patients) in an intent to reduce the radiation dose. The parameters of acquisition were the same as the polychromatic imaging except of: tube potential, 80 and 140 kV ; tube current, 375 mA ; gantry rotation, 0,7s.

Conventional helical CT was not always done if it had been recently obtained in another centre, however all patients underwent dual-energy imaging in order to ensure that the stone was still present before surgery or endoscopy.

Imaging processing

The data were processed on an Advantage workstation 4.6 (GE Healthcare, Buc, France) and the Gemstone Spectral Imaging software package was used for analysis. A set of monochromatic images from 40keV to 140keV and material density images were obtained. Quantitative estimation can be performed by calculating the effective Z number of a substance located in a selected region of interest (ROI). A histogram representing the distribution of pixels by Z eff in a ROI enables qualitative analysis.

Image analysis

All data were reviewed by one radiologist of 9 years of experience, for quantitative estimation and two radiologists of 9 (reader 1) and 5 (reader 2) years of experience in interpreting abdominal CT for qualitative analysis. The two radiologists were blinded to the results of IR spectroscopy, stone compositions, number of calculi by type of composition and their respective results. Stone location and size on axial planes were noted on conventional CT images. Calculi with a diameter of less than 3 mm were excluded from the analysis but none of the patients was concerned. If there were multiple calculi, the largest one was analysed. On the monochromatic 70 keV images from spectral CT acquisition a region of interest (ROI) was created manually for each stone. It was defined as the largest circle in the highest density area of the stone on the axial section avoiding surrounding structures using a bone- tissue window, so as to minimize partial volume effects.

First, a quantitative analysis permitted to obtain the estimated mean Z_{eff} from the ROI, after averaging the values of all pixels. Secondly, the two radiologists ranked the calculi thanks to histogram depending on whether they thought it was uric acid (UA), cystine (CYS), struvite (STR) or other . The aim was to compare the distribution of Z_{eff} of all the pixels of the ROI from mean Z_{eff} established *in vitro*. When a peak was obtained, i.e. the majority of pixels were focused on a value of Z , for inferring that it was probably the predominant composition, they compared it to the reference mean Z_{eff} to deduce its composition between UA, CYS, STR and others

(fig.1.). If the histogram showed instead dispersion values by Z eff, the mixed nature of the stone was deduced and the stone was classified as « other ».

In vitro study

Six stones of pure known composition (uric acid, cystine, struvite, whewellite, weddellite and carbapatite) from our biochemistry laboratory were hydrated in saline water for 1 hour and then were gently placed one after the other in kidneys of an anthropomorphic interventional 3D Abdominal Phantom (Model 57 : CIRS, Virginia, USA) (fig. 2). The same CT protocol as for *in vivo* study was applied. This phantom is representative of a small adult abdomen (12.5 x 28 x 20 cm) and simulates the abdomen from approximately the thorax vertebrae (T9-T10) to the lumbar vertebrae (L2-L3), with internal contrasting structures: liver, two partial kidneys, partial lung and spine. The point was to evaluate calculi composition in as much as possible physiological environment of renal stones. The trocar holes were filled with distilled water in order to have no air around calculi. Z eff for each stone was estimated and was used as reference values after integration in the database of GSI software.

Radiation Dose

For each patient, the dose-length product (DLP) was the product of the Computed Tomographic Dose Index (CTDI) by the length of the exposed volume. The total DLP was determined from the sum of the DLP of each scan performed (conventional-CT and spectral-CT) including the targeted-DECT DLP.

The effective dose was obtained by multiplying the total DLP by a weighting factor of 0.015 mSv/mGy.cm [15].

Stone chemical analysis

The composition of all stones was assessed with FTIR (Fourier- Transform Infra-red) spectroscopy after a first analysis by optical microscopy. The chemical analysis consists of mixing the stone material with potassium bromide to form a disc, which was then analysed by a spectrophotometer providing quantitative results [3,16]. Components of stones were given in percentages. A stone was defined as pure if consisting of more than 80 % of one component. Stones components were classified as follows: uric acid, cystine , struvite , whewellite, weddellite and carbapatite.

Statistical analysis

For the quantitative analysis a Fisher test was used with a significance level set at $p < 0.05$.

In qualitative analysis, the sensitivity, specificity, positive and negative predictive values of the classification in four categories (UA, CYS, STR, other) were determined. Infrared spectroscopy was used as standard reference from reader 1 data. Then, intra-observer variability was analysed using the K test.

RESULTS

Cohort study

Twenty men and 10 women formed the patient cohort. Mean age was 51.2 years (range, 19-84 years). Among the 30 patients, 25 underwent a targeted DECT. Our low dose conventional protocol was available for 18 patients. Calculi were located in the pelvi-calyceal system for 21 patients, in the ureter for 5 patients and in the bladder for 4 patients. The mean size was 13.06 mm (range, 3.13- 42.72 mm). At FTIR spectroscopy, 20 patients had pure and 10 patients mixed stones (fig 3-4). Among patients with mixed calculi, 6 had calcium-based stone and 4 had stone with struvite and carbapatite as the two main components. Among pure stones, we observed 4 patients with uric acid, 2 with cystine, 11 with whewellite or weddellite and 3 with carbapatite.

Quantitative analysis: stone composition assessment using mean Z eff

We were able to differentiate significantly UA stones (n =4) from non UA stones (n=26) by Z eff estimation with $p < 0.0001$ (table 1). Mean Z eff for UA stones was estimated at 7.7 [6.52-8.89] versus 12.4 [11.94-12.87] for non UA stones. It was not possible to differentiate the types of non UA calculi using means of Z eff (table 2). Mean Z eff for CYS was 10.9 but only two patients were concerned and their findings appeared to overlap with those from STR.

Qualitative analysis : stone composition assessment using histogram

First, we analysed reader 1 results. All UA and CYS stones were well recognized. One 5.5 mm calcified stone of 100% whewellite was falsely characterised as struvite. Sensitivity, specificity, positive and negative predictive value were 100 % for both UA and CYS, but respectively 25%(1 of 4), 96% (25 of 26), 50% (1 of 2) and 89,3% (25 of 28) for detection of STR ; and 95% (19 of 20), 70 % (7 of 10), 86,4% (19 of 22) and 87,5% (7 of 8) for detection of others.

Secondly, all readers' results were reviewed and interobserver agreement was achieved. The two readers correctly classified 4 out of 4 UA and 2 out of 2 CYS calculi by analysing the histogram. Inter-rater agreement was excellent to classify all stones in 4 different groups (AU vs CYS vs STR vs other) with $K = 0.958 \pm 0.043$ (table 3).

Radiation dose

The mean of total DLP was 573.31 ± 266.05 mGy.cm (range : 276.47-1143.28). This resulted in a mean effective dose of 8.6 mSv (range : 4.14-17.15). With targeted DECT for 25 patients of the cohort, the mean of total DLP was 539.02 ± 266.09 mGy.cm and the effective dose was 8.08 mSv. The mean DLP and effective dose for targeted dual-energy scan were respectively $158,48 \pm 48,83$ mGy.cm and 2.38 mSv. When our protocol was applied and combined with targeted helical CT, involving 18 patients, mean DLP was 435.82 ± 130.36 mGy.cm or 6.5 mSv.

DISCUSSION

Our study results demonstrate the feasibility of SS DECT to accurately differentiate in an in vivo trial uric acid-containing calculi and non uric acid-containing calculi using a quantitative value: mean Z eff. With a post processing reproducible method, we were able to differentiate among four sub groups of common urinary tract calculi: uric acid , cystine, struvite- and calcium-containing calculi.

Urinary stone disease is a growing public health problem in our society. Therapeutic strategy depends on several criteria like the location and size. The most crucial criterion is the stone composition, which might be known in the preoperative exploration to implement a prompt treatment and decrease the risk of recurrence and morbidity. It will be medical first with urine alkalinization for uric acid calculi [2,4]. SWL is the reference treatment in daily urological practice for most of other subgroups of stones [17]. However, the success rate of SWL is correlated with stone fragility, which is less for cystine and calcium-based stone, for which invasive surgical treatment (URS or PCNL) is preferred from the outset. Indeed SWL is not always a safer technique with a risk of renal injury correlated to the number of shocks which increase with hardness [5,18]. No non-invasive method is available for determining stone composition before treatment, to establish an adequate therapeutic strategy, unless the patient has a known lithogenesis. In particular uric acid containing calculi might be recognized prior to any treatment option.

Prior studies have been conducted in order to assess stone composition. Despite its high sensitivity (94%) and specificity (97%) to detect and acquire morphological parameters, single-energy CT failed to provide information about stone composition. Several studies were conducted trying to separate sub groups among non uric acid calculi with the attenuation values. These studies resulted in disappointing and inconsistent results [9,19,20]. Motley *et al.* showed a considerable overlap of attenuation values for different stones in an *in vivo* study [21]. In addition, Grosjean *et al.* demonstrated that CT attenuation values varied depending on CT models and CT parameters like kilovoltage [10]. Moreover it is also known that the beam hardening effect due to the presence of surrounding media could influence attenuation value with polychromatic CT [22].

Dual- energy technique raised a significant interest to assess urinary tract calculi in recent years. Currently, there are three types of systems capable of Dual-energy acquisition: a dual source DECT, a single source (SS) DECT with dual detector layers and a SS DECT with fast kilovoltage switching. Most studies were performed with a dual source CT. Primak *et al.* with the development of a Dual Energy ratio first obtained important accurate results *in vitro* to differentiate the UA from non-UA stone [23]. Few *in vivo* studies have managed to distinguish non uric acid stone types from others with dual source system [24]. In the current study we used a SS DECT system producing high and low kVp projections simultaneously at the same location hence minimizing the motion effect [25]. It is important to take this parameter into account as shown in an *in vitro* study by Grosjean *et al.* who proved motion influence on the measurement of attenuation value, and thus stone

discrimination, during image acquisition with sequential CT performed at 80 kV and 120 kV, problem solved by DECT imaging [26]. Thanks to this DECT system we can study the attenuation difference, as a specific energy dependent change, between images obtained at high and low energy which can help to characterize a material [27]. The spectral separation is in fact based on the differentiation between materials of different effective atomic number or Z_{eff} . SS DECT provides access to more effective features. First, virtual monochromatic spectral (VMS) images are generated for any photon energy level from 40 keV to 140 keV and provide morphological information equivalent to that obtainable from conventional CT but are independent of the imaging technique unlike polychromatic imaging. Indeed, they are less influenced by beam-hardening and permit more accurate CT number evaluation [28]. At 70 keV, Matsumoto *et al.* showed a higher contrast-to noise than at 120 kV and proposed to replace conventional CT by VMS [29]. Then, quantitative estimation by the effective atomic number Z_{eff} is also available after drawing a ROI within the stone, leading to improve material decomposition. Very few studies have been realised with a fast switching kilovoltage DECT and all but one were performed *in vitro* recently [30-33]. Kulkarni *et al.* differentiated uric acid versus non uric acid stones by effective atomic number assessment in 11 patients with an accuracy of respectively 100% and 83.3 % in comparison with *in vitro* established Z_{eff} [14]. However, neither cystine nor struvite cases were analysed in this *in vivo* study. Then, most stones were composed of more than 80% of one component except one; so mixed stones were not studied. These authors were not able to distinguish among subgroups of calcified stones. Joshi *et al.* could

separate four groups of stones : cystine, struvite, calcium oxalate monohydrate and uric acid with the combination of Z eff and attenuation measurement at 70 keV *in vitro* [33]. Nonetheless the exact methodology was not available and only pure calculi were included. No *in vivo* study using DECT could differentiate struvite among calculi or different sub groups of calcified stones [24,34-39].

To our knowledge, our analysis is the first largest *in vivo* study using SS DECT imaging for stones differentiation including both pure and mixed calculi study. The size and type of composition were representative of our daily practice and of that found in general population. In fact, the most common stone component is calcium oxalate which represents 70% of calculi, then calcium phosphate (20%) , uric acid (8%), struvite (4-6%) and cystine (2%) [1,40]. While calculi are considered to be rarely pure, the two-thirds of the patients in our study had pure stones. This could be explained by a high prevalence of pure whewellite in our cohort [1,16,41]. Stones less than 3 mm were excluded. With smaller stone, partial volume effect may alter quantitative measurement, so DECT is in this case less performing [23]. However stones less than 3 mm are usually spontaneously evacuated and can be analyzed afterwards. Using mean Z eff , uric acid and non uric acid calculi were significantly differentiated with 100% of sensibility, specificity, PPV and NPV. Only two patients had cystine stones, explaining the difficulty in statistically separating this group from others. Other subtypes of calculi were not distinguished from each other because of an overlap of their mean Z eff, particularly calcium based stones. This could be explained when pure, by the fact that Z eff of non uric acid stones have a wider range and are very close to each other compared to the uric acid effective

atomic number. Mean Z eff of whewellite, weddellite and carbapatite are known to be between 12 and 15 [42] and even when pure like whewellite, the different components could not be separated by their Z eff (table 2). Mixed character is causing a technical limitation: an average value cannot represent a variety of components. Mean Z eff is then altered and can fall falsely to another adjacent type. Accordingly, qualitative analysis was performed to take into account all pixels values displayed as a histogram. Amongst the most clinically relevant compositions uric acid and cystine were significantly distinguished with a high inter-observer agreement. All but one calcium containing stone were well classified as others by reader 1. A whewellite pure stone was misclassified as struvite probably because of its small size, which reduced the discriminatory capacity of this technique. However, we were not able to differentiate optimally struvite stones from other even with histogram analysis. One patient with mixed stone containing 20% of struvite has been well categorized in this subgroup, perhaps his staghorn morphology helped detection. Struvite stones are always associated with calcium components like carbapatite, which may explain their misclassification using Z eff. Indeed, our population included only 4 patients with struvite containing calculi in small percentages in three cases (20, 25, and 50%). Since mixed calculi management is based on prevalent stone type, we can therefore assume that these patients still require a non medical treatment, because of their calcified portion. Due to an adaptation of the protocol during the study, significant dose variations were found. With a low dose protocol associated with a focused DECT acquisition, the mean effective dose was estimated to be about 6.5 mSv, which is below the

maximum recommended dose for abdominal acquisition (12 mSv in France). We had higher dose than previous studies perhaps because of a different acquisition protocol, different size of the targeted area covered and patients BMI [14].

Kulkarni *et al.* documented a lower dose for the entire study with a larger section thickness of 5 mm and a larger percentage of iterative reconstruction (60%)[14].

We have recently changed our protocol by increasing the slice thickness to 2.5 mm, which is sufficient for the analysis of urinary stones greater than 3 mm. With additional spectral and relevant informations, dual-energy CT should quickly establish itself in the routine clinical evaluation of an acute renal colic instead of conventional CT without additional dose.

This study had several limitations. Our cohort was small and some subgroups included very small numbers of patients (especially for cystine because of its low prevalence). Brushite was not represented in our study because of its rare occurrence. Differentiation of calcium-based calculi was not achieved, especially pure whewellite despite a high prevalence in our population. A larger database might improve our method. Clinical evaluation of our results, particularly of our qualitative method is necessary, to determine the impact on the therapeutic strategy.

Conclusion

Single source Dual–energy CT allows an accurate in vivo differentiation between uric acid-containing and non uric acid containing calculi by mean effective atomic Z eff. It provides also in the same time morphological and relevant qualitative informations about chemical decomposition especially for uric acid and cystine stones. Further larger studies could improve these encouraging results and underline the clinical interest of this method.

References

1. Moe OW et al (2006) Kidney stones: pathophysiology and medical management *Lancet* 367(9507):333-344
2. Sakhaee K, Maalouf NM, Sinnott B (2012) Clinical review Kidney stones 2012: pathogenesis, diagnosis, and management *J Clin Endocrinol Metab* 97(6):1847-1860
3. Basiri A, Taheri M, Taheri F (2012) What is the state of the stone analysis techniques in urolithiasis? *Urol J* 9(2):445-454
4. Ngo TC, Assimos DG (2007) Uric Acid nephrolithiasis: recent progress and future directions *Rev Urol* 9(1):17-27
5. Matlaga BR, Lingeman JE (2009) Surgical management of stones: new technology *Adv Chronic Kidney Dis* 16(1):60-64
6. Mc Laughlin PD, Crush L, Maher MM, O'Connor OJ (2012) Recent developments in computed tomography for urolithiasis: diagnosis and characterization *Adv Urol* 2012:606754
7. Heidenreich A, Desgrandschamps F, Terrier F (2002) Modern approach of diagnosis and management of acute flank pain: review of all imaging modalities *Eur Urol* 41(4):351-362
8. Saw KC, McAteer JA, Monga AG, Chua GT, Lingeman JE, Williams JC (2000) Helical CT of Urinary Calculi *Am J Roentgenol* 175(2):329-332
9. Bellin M-F, Renard-Penna R, Conort P, Bissery A, Méric J-B, Daudon M, et al (2004) Helical CT evaluation of the chemical composition of urinary tract calculi with a discriminant analysis of CT-attenuation values and density *Eur Radiol* 14(11):2134-2140
10. Grosjean R, Daudon M, Chammas MF Jr, Claudon M, Eschwege P, Felblinger J, et al (2013) Pitfalls in urinary stone identification using CT attenuation values: are we getting the same information on different scanner models? *Eur J Radiol* 82(8):1201-1206
11. Coursey CA, Nelson RC, Boll DT, Paulson EK, Ho LM, Neville AM, et al (2010) Dual-energy multidetector CT: how does it work, what can it tell us, and when can we use it in abdominopelvic imaging? *Radiogr Rev Publ Radiol Soc N Am Inc* 30(4):1037-1055
12. Yu L, Leng S, McCollough CH (2012) Dual-energy CT-based monochromatic imaging *AJR Am J Roentgenol* 199(5 Suppl):S9-S15
13. Silva AC, Morse BG, Hara AK, Paden RG, Hongo N, Pavlicek W (2011) Dual-energy (spectral) CT: applications in abdominal imaging *Radiogr Rev Publ Radiol Soc N Am Inc* 31(4):1031-1046; discussion 1047-1050
14. Kulkarni NM, Eisner BH, Pinho DF, Joshi MC, Kambadakone AR, Sahani DV (2013) Determination of renal stone composition in phantom and patients using single-source dual-energy computed tomography *J Comput Assist Tomogr* 37(1):37-45

15. Brix G, Lechel U, Veit R, Truckenbrodt R, Stamm G, Coppentrath EM, et al (2004) Assessment of a theoretical formalism for dose estimation in CT: an anthropomorphic phantom study *Eur Radiol* 4(7):1275-1284
16. Schubert G (2006) Stone analysis *Urol Res* 2006;34(2):146-150
17. Preminger GM, Tiselius H-G, Assimos DG, Alken P, Buck AC, Gallucci M, et al (2007) Guideline for the management of ureteral calculi *Eur Urol* 52(6):1610-1631
18. Williams JC Jr, Saw KC, Paterson RF, Hatt EK, McAteer JA, Lingeman JE (2003) Variability of renal stone fragility in shock wave lithotripsy *Urology* 61(6):1092-1096; discussion 1097
19. El-Assmy A, Abou-el-Ghar ME, el-Nahas AR, Refaie HF, Sheir KZ (2011) Multidetector computed tomography: role in determination of urinary stones composition and disintegration with extracorporeal shock wave lithotripsy-an in vitro study *Urology* 77(2):286-290
20. Nakada SY, Hoff DG, Attai S, Heisey D, Blankenbaker D, Pozniak M (2000) Determination of stone composition by noncontrast spiral computed tomography in the clinical setting. *Urology* 55(6):816-819
21. Motley G, Dalrymple N, Keesling C, Fischer J, Harmon W (2001) Hounsfield unit density in the determination of urinary stone composition *Urology* 58(2):170-173
22. Grosjean R, Sauer B, Guerra R, Kermarrec I, Ponvianne Y, Winninger D, et al (2007) Determination of the chemical composition of human renal stones with MDCT: influence of the surrounding media,[cité 11 mai 2014]. p. 651120-651120-9. Disponible sur: <http://dx.doi.org/10.1117/12.707581>
23. Primak AN, Fletcher JG, Vrtiska TJ, Dzyubak OP, Lieske JC, Jackson ME, et al (2007) Noninvasive differentiation of uric acid versus non-uric acid kidney stones using dual-energy CT *Acad Radiol* 14(12):1441-1447
24. Thomas C, Heuschmid M, Schilling D, Ketelsen D, Tsiflikas I, Stenzl A, et al (2010) Urinary calculi composed of uric acid, cystine, and mineral salts: differentiation with dual-energy CT at a radiation dose comparable to that of intravenous pyelography *Radiology* 257(2):402-409
25. Zhang D, Li X, Liu B (2011) Objective characterization of GE discovery CT750 HD scanner: gemstone spectral imaging mode *Med Phys* 38(3):1178-1188
26. Grosjean R, Sauer B, Guerra RM, Daudon M, Blum A, Felblinger J, et al (2008) Characterization of human renal stones with MDCT: advantage of dual energy and limitations due to respiratory motion *AJR Am J Roentgenol* 190(3):720-728
27. Kaza RK, Platt JF, Cohan RH, Caoili EM, Al-Hawary MM, Wasnik A (2012) Dual-energy CT with single- and dual-source scanners: current applications in evaluating the genitourinary tract. *Radiogr Rev Publ Radiol Soc N Am Inc* 32(2):353-369
28. Wu X, Langan DA, Xu D, Benson TM, Pack JD, Schmitz AM, et al. Monochromatic CT image representation via fast switching dual kVp

29. Matsumoto K, Jinzaki M, Tanami Y, Ueno A, Yamada M, Kuribayashi S (2011) Virtual monochromatic spectral imaging with fast kilovoltage switching: improved image quality as compared with that obtained with conventional 120-kVp CT *Radiology* 259(1):257-262
30. Li X, Zhao R, Liu B, Yu Y (2013) Gemstone spectral imaging dual-energy computed tomography: a novel technique to determine urinary stone composition *Urology* 81(4):727-730
31. Li X-H, Zhao R, Liu B, Yu Y-Q (2013) Determination of urinary stone composition using dual-energy spectral CT: initial in vitro analysis *Clin Radiol* 68(7):e370-377
32. Wisenbaugh ES, Paden RG, Silva AC, Humphreys MR. Dual-energy vs Conventional Computed Tomography in Determining Stone Composition (2014) *Urology* 83(6):1243-7
33. Joshi M, Langan DA, Sahani DS, Kambadakone A, Aluri S, Procknow K, et al. Effective atomic number accuracy for kidney stone characterization using spectral CT. 2010 [cité 26 oct 2013]. p. 76223K-76223K-12. Disponible sur: <http://dx.doi.org/10.1117/12.844372>
34. Thomas C, Patschan O, Ketelsen D, Tsiflikas I, Reimann A, Brodoefel H, et al (2009) Dual-energy CT for the characterization of urinary calculi: In vitro and in vivo evaluation of a low-dose scanning protocol *Eur Radiol* 19(6):1553-1559
35. Ascenti G, Siragusa C, Racchiusa S, Ielo I, Privitera G, Midili F, et al (2010) Stone-targeted dual-energy CT: a new diagnostic approach to urinary calculosis *AJR Am J Roentgenol* 195(4):953-958
36. Stolzmann P, Kozomara M, Chuck N, Müntener M, Leschka S, Scheffel H, et al (2010) In vivo identification of uric acid stones with dual-energy CT: diagnostic performance evaluation in patients *Abdom Imaging* 35(5):629-635.
37. Manglaviti G, Tresoldi S, Guerrer CS, Di Leo G, Montanari E, Sardanelli F, et al (2011) In vivo evaluation of the chemical composition of urinary stones using dual-energy CT *AJR Am J Roentgenol* 197(1):W76-83
38. Qu M, Jaramillo-Alvarez G, Ramirez-Giraldo JC, Liu Y, Duan X, Wang J, et al (2013) Urinary stone differentiation in patients with large body size using dual-energy dual-source computed tomography *Eur Radiol* 23(5):1408-1414
39. Hidas G, Eliahou R, Duvdevani M, Coulon P, Lemaitre L, Gofrit ON, et al (2010) Determination of renal stone composition with dual-energy CT: in vivo analysis and comparison with x-ray diffraction *Radiology* 257(2):394-401
40. Eliahou R, Hidas G, Duvdevani M, Sosna J (2010) Determination of renal stone composition with dual-energy computed tomography: an emerging application *Semin Ultrasound CT MR* 31(4):315-320
41. Daudon M (2005) [Epidemiology of nephrolithiasis in France] *Ann Urol* 39(6):209-231
42. Murty RC (1965) Effective Atomic Numbers of Heterogeneous Materials *Nature* 207(4995):398-399

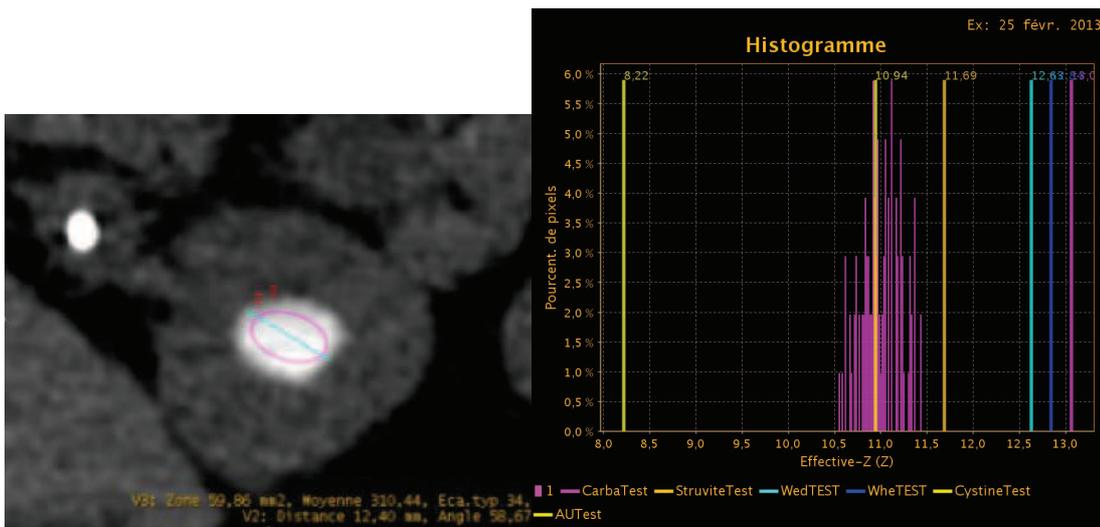


Figure 1: Positioning of the ROI (left panel) to obtain Z_{eff} and the histogram (right panel, histogram Z_{eff} vs. percentage of pixels) in a 58 year-old woman . From left to right are distinguished the peaks of uric acid (AUtest), cystine (cystine Test), struvite (struviteTest), weddellite (WedTest), whewellite (WheTest), and carbapatite (CarbaTest) components. The cystine composition of the stone was inferred visually from the histogram.

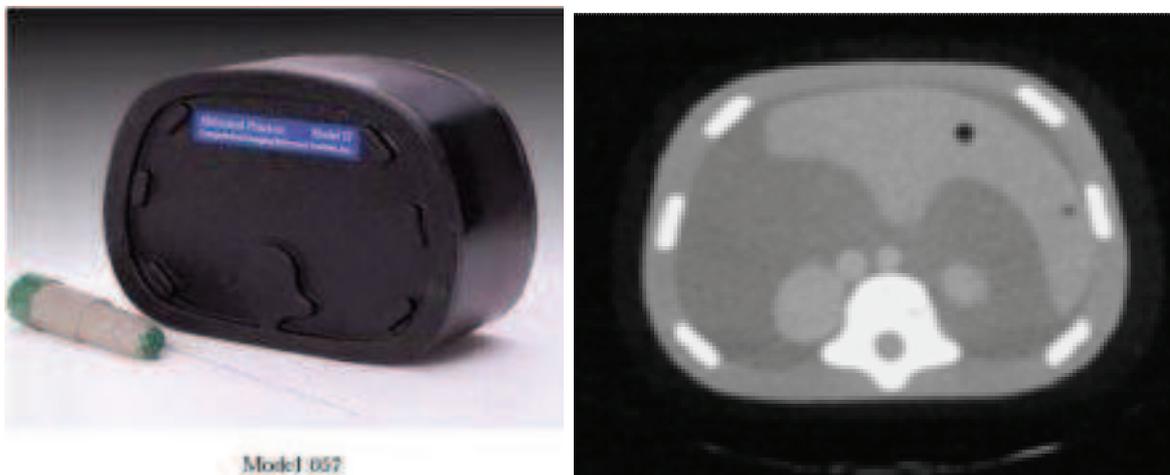


Figure 2 : Interventional Model 57 Abdominal Phantom used for *in vitro* study.

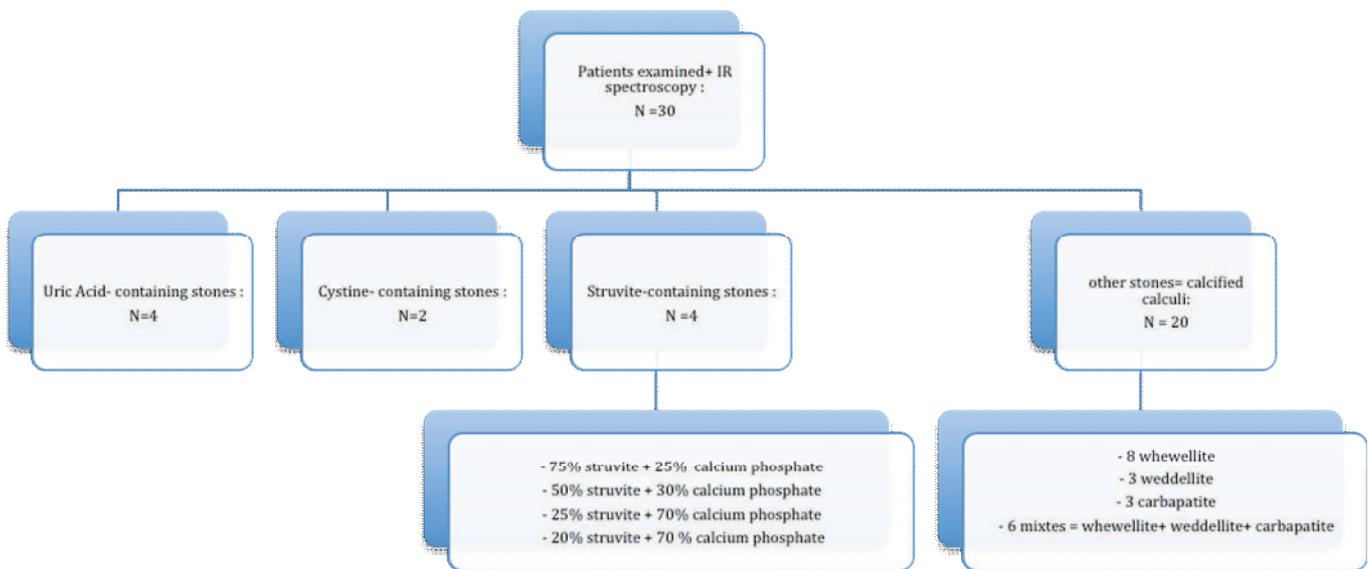


Figure 3 : Sub groups of the cohort according to stones.

Stone composition	Mean Z eff	95% CI bounds*	
		Lower	Upper
Uric acid	7.7070	6.5245	8.8895
Non uric acid	12.4100	11.9462	12.8738

Table 1 : Determination of mean Z eff for uric acid and non uric acid calculi and 95% CI Bounds in our study. There is a significant difference ($p < 0.0001$ F-test) between mean Z eff of uric acid versus non uric acid calculi.

* 95% CI = Confidence Interval

Stone composition	In vivo Z eff	In vitro Z eff	Calculated Effective Atomic Number [42]
Uric acid	7.7	7.8	6.91
Cystine	10.9	11.06	10.78
Struvite	X	11.86	12.17
Calcium oxalate dihydrate	13.5	12.85	12.99
Calcium oxalate monohydrate	12.9	12.74	13.45
Carbapatite	12.8	12.9	15.74

Table 2 : *In vivo*, *in vitro* Z eff and known calculated effective atomic number for 6 types of pure composition stones [42].

5 CONCLUSION

L'imagerie a une place fondamentale dans la prise en charge d'un patient ayant une maladie lithiasique en particulier dans le contexte aigu qu'est la colique néphrétique, son mode de découverte le plus fréquent.

Il est légitime de vouloir obtenir aux prémices de la prise en charge médico-chirurgicale du patient des informations optimisées d'un seul et même examen. La tomodensitométrie s'est rapidement imposée comme l'examen clé. Au delà de la détection directe du calcul et des informations sur sa topographie exacte et de sa taille, la possibilité d'étudier la composition chimique du calcul a fait l'objet de nombreuses recherches dans l'objectif d'adapter la stratégie thérapeutique à cet élément fondamental. L'analyse biochimique est réalisée à posteriori, une fois ce dernier évacué spontanément par le patient ou récupéré via un geste endourologique.

La tomodensitométrie double-énergie est une technique récente aux résultats prometteurs permettant de reconnaître significativement les calculs d'acide urique. Peu d'études ont été réalisées sur le système simple source General Electric. Notre étude est une des premières études sur ce sujet et la plus importante cohorte in vivo utilisant cette technologie novatrice. Nous avons démontré une distinction simple et reproductible des calculs d'acide urique, nécessitant une thérapeutique médicale de première intention. Nous avons aussi pu distinguer sans erreur les calculs de cystine, reconnus comme résistants à la lithotripsie extra corporelle, permettant d'opter d'emblée pour une technique urologique plus invasive.

Il est légitime de penser qu'un jour une seule hélice abdomino-pelvienne en double énergie par la pertinence de ses informations à la fois morphologiques et spectrales remplacera l'hélice polychromatique habituelle sans surcroît d'irradiation.

La recherche à venir devra compléter nos premiers résultats, en particulier la décomposition spectrale des calculs mixtes reste une des principales limites de cette nouvelle technique.

6 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Moe OW. Kidney stones: pathophysiology and medical management. *Lancet*. 28 janv 2006;367(9507):333-344.
2. Daudon M, Traxer O, Lechevallier E, Saussine C. [Epidemiology of urolithiasis]. *Prog En Urol J Assoc Fr Urol Société Fr Urol*. déc 2008;18(12):802-814.
3. Rosa M, Usai P, Miano R, Kim FJ, Finazzi Agrò E, Bove P, et al. Recent finding and new technologies in nephrolithiasis: a review of the recent literature. *BMC Urol*. 2013;13:10.
4. Daudon M. [Epidemiology of nephrolithiasis in France]. *Ann Urol*. déc 2005;39(6):209-231.
5. Bihl G, Meyers A. Recurrent renal stone disease-advances in pathogenesis and clinical management. *Lancet*. 25 août 2001;358(9282):651-656.
6. Daudon M, Jungers P, Traxer O. *Lithiase urinaire*. Lavoisier; 2012.
7. Daudon M, Traxer O, Lechevallier E, Saussine C. [Lithogenesis]. *Prog En Urol J Assoc Fr Urol Société Fr Urol*. déc 2008;18(12):815-827.
8. Traxer O, Lechevallier E, Saussine C. [Cystinuria: diagnosis and management]. *Prog En Urol J Assoc Fr Urol Société Fr Urol*. déc 2008;18(12):832-836.
9. Teichman JMH. Clinical practice. Acute renal colic from ureteral calculus. *N Engl J Med*. 12 févr 2004;350(7):684-693.
10. Heidenreich A, Desgrandschamps F, Terrier F. Modern approach of diagnosis and management of acute flank pain: review of all imaging modalities. *Eur Urol*. avr 2002;41(4):351-362.
11. Jin DH, Lamberton GR, Broome DR, Saaty HP, Bhattacharya S, Lindler TU, et al. Effect of reduced radiation CT protocols on the detection of renal calculi. *Radiology*. avr 2010;255(1):100-107.
12. Liu W, Esler SJ, Kenny BJ, Goh RH, Rainbow AJ, Stevenson GW. Low-dose nonenhanced helical CT of renal colic: assessment of ureteric stone detection and measurement of effective dose equivalent. *Radiology*. avr 2000;215(1):51-54.
13. Poletti P-A, Platon A, Rutschmann OT, Schmidlin FR, Iselin CE, Becker CD. Low-dose versus standard-dose CT protocol in patients with clinically suspected renal colic. *AJR Am J Roentgenol*. avr 2007;188(4):927-933.

14. Lee CH, Goo JM, Ye HJ, Ye S-J, Park CM, Chun EJ, et al. Radiation dose modulation techniques in the multidetector CT era: from basics to practice. *Radiogr Rev Publ Radiol Soc N Am Inc.* oct 2008;28(5):1451-1459.
15. Mulkens TH, Daineffe S, De Wijngaert R, Bellinck P, Leonard A, Smet G, et al. Urinary stone disease: comparison of standard-dose and low-dose with 4D MDCT tube current modulation. *AJR Am J Roentgenol.* févr 2007;188(2):553-562.
16. Chabannes É, Bensalah K, Carpentier X, Bringer J-P, Conort P, Denis É, et al. [Management of adult's renal and ureteral stones. Update of the Lithiasis Committee of the French association of urology (CLAFU). General considerations]. *Prog En Urol J Assoc Fr Urol Société Fr Urol.* déc 2013;23(16):1389-1399.
17. Mostafavi MR, Ernst RD, Saltzman B. Accurate determination of chemical composition of urinary calculi by spiral computerized tomography. *J Urol.* mars 1998;159(3):673-675.
18. Kuwahara M, Kageyama S, Kurosu S, Orikasa S. Computed tomography and composition of renal calculi. *Urol Res.* 1984;12(2):111-113.
19. Mitcheson HD, Zamenhof RG, Bankoff MS, Prien EL. Determination of the chemical composition of urinary calculi by computerized tomography. *J Urol.* oct 1983;130(4):814-819.
20. Newhouse JH, Prien EL, Amis ES, Dretler SP, Pfister RC. Computed tomographic analysis of urinary calculi. *AJR Am J Roentgenol.* mars 1984;142(3):545-548.
21. Nakada SY, Hoff DG, Attai S, Heisey D, Blankenbaker D, Pozniak M. Determination of stone composition by noncontrast spiral computed tomography in the clinical setting. *Urology.* juin 2000;55(6):816-819.
22. Bellin M-F, Renard-Penna R, Conort P, Bissery A, Méric J-B, Daudon M, et al. Helical CT evaluation of the chemical composition of urinary tract calculi with a discriminant analysis of CT-attenuation values and density. *Eur Radiol.* nov 2004;14(11):2134-2140.
23. El-Assmy A, Abou-el-Ghar ME, el-Nahas AR, Refaie HF, Sheir KZ. Multidetector computed tomography: role in determination of urinary stones composition and disintegration with extracorporeal shock wave lithotripsy--an in vitro study. *Urology.* févr 2011;77(2):286-290.
24. Grosjean R, Sauer B, Guerra R, Kermarrec I, Ponvianne Y, Winninger D, et al. Determination of the chemical composition of human renal stones with MDCT: influence of the surrounding media. *Proc. SPIE 6511, Medical Imaging 2007: Physiology, Function, and Structure from Medical Images, 65112O (March 29, 2007); doi:10.1117/12.707581.*

25. Grosjean R, Daudon M, Chammas MF Jr, Claudon M, Eschwege P, Felblinger J, et al. Pitfalls in urinary stone identification using CT attenuation values: are we getting the same information on different scanner models? *Eur J Radiol.* août 2013;82(8):1201-1206.
26. Motley G, Dalrymple N, Keesling C, Fischer J, Harmon W. Hounsfield unit density in the determination of urinary stone composition. *Urology.* août 2001;58(2):170-173.
27. Carpentier X, Meria P, Bensalah K, Chabannes E, Estrade V, Denis E, et al. [Update for the management of kidney stones in 2013. Stone group comity of the French Association of Urology]. *Prog En Urol J Assoc Fr Urol Société Fr Urol.* avr 2014;24(5):319-326.
28. Preminger GM, Tiselius H-G, Assimos DG, Alken P, Buck AC, Gallucci M, et al. Guideline for the management of ureteral calculi. *Eur Urol.* déc 2007;52(6):1610-1631.
29. Basiri A, Taheri M, Taheri F. What is the state of the stone analysis techniques in urolithiasis? *Urol J.* 2012;9(2):445-454.
30. El Khebir M, Fougeras O, Le Gall C, Santin A, Perrier C, Sureau C, et al. [2008 update of the 8th Consensus Development Conference of the Francophone Society of Medical Emergencies of 1999. The treatment of adult renal colic by the emergency services and in emergency rooms]. *Prog En Urol J Assoc Fr Urol Société Fr Urol.* juill 2009;19(7):462-473.
31. Madaan S, Joyce AD. Limitations of extracorporeal shock wave lithotripsy. *Curr Opin Urol.* mars 2007;17(2):109-113.
32. Augustin H. Prediction of stone-free rate after ESWL. *Eur Urol.* août 2007;52(2):318-320.
33. El-Nahas AR, El-Assmy AM, Mansour O, Sheir KZ. A Prospective Multivariate Analysis of Factors Predicting Stone Disintegration by Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy: The Value of High-Resolution Noncontrast Computed Tomography. *Eur Urol.* juin 2007;51(6):1688-1694.
34. Perks AE, Gotto G, Teichman JMH. Shock wave lithotripsy correlates with stone density on preoperative computerized tomography. *J Urol.* sept 2007;178(3 Pt 1):912-915.
35. Gupta NP, Ansari MS, Kesarvani P, Kapoor A, Mukhopadhyay S. Role of computed tomography with no contrast medium enhancement in predicting the outcome of extracorporeal shock wave lithotripsy for urinary calculi. *BJU Int.* juin 2005;95(9):1285-1288.

36. Kacker R, Zhao L, Macejko A, Thaxton CS, Stern J, Liu JJ, et al. Radiographic parameters on noncontrast computerized tomography predictive of shock wave lithotripsy success. *J Urol*. mai 2008;179(5):1866-1871.
37. Lechevallier E, Traxer O, Saussine C. [Extracorporeal shockwave lithotripsy for upper urinary tract stone]. *Prog En Urol J Assoc Fr Urol Société Fr Urol*. déc 2008;18(12):878-885.
38. Saidi A, Combes F, Delaporte V, Breton X, Traxer O, Lechevallier E. [Flexible ureteroscopy and holmium-Yag laser: material and technique]. *Prog En Urol J Assoc Fr Urol Société Fr Urol*. févr 2006;16(1):19-24.
39. Busby JE, Low RK. Ureteroscopic treatment of renal calculi. *Urol Clin North Am*. févr 2004;31(1):89-98.
40. Saussine C, Lechevallier E, Traxer O. [PCNL: technique, results and complications]. *Prog En Urol J Assoc Fr Urol Société Fr Urol*. déc 2008;18(12):886-890.
41. Carpentier X, Meria P, Bensalah K, Chabannes E, Estrade V, Denis E, et al. [Update for the management of kidney stones in 2013. Stone group comity of the French Association of Urology]. *Prog En Urol J Assoc Fr Urol Société Fr Urol*. avr 2014;24(5):319-326.
42. Ngo TC, Assimos DG. Uric Acid nephrolithiasis: recent progress and future directions. *Rev Urol*. 2007;9(1):17-27.
43. Traxer O. [Urolithiasis: metabolic evaluation and prevention]. *Prog En Urol J Assoc Fr Urol Société Fr Urol*. nov 2012;22(14):876-880.
44. Fornaro J, Leschka S, Hibbeln D, Butler A, Anderson N, Pache G, et al. Dual- and multi-energy CT: approach to functional imaging. *Insights Imaging*. avr 2011;2(2):149-159.
45. Johnson TRC, Kalender WA. Physical Background. In: Johnson T, Fink C, Schönberg SO, Reiser MF, éditeurs. *Dual Energy CT in Clinical Practice [Internet]*. Springer Berlin Heidelberg; 2011. p. 3-9.
46. Johnson TRC. Dual-energy CT: general principles. *AJR Am J Roentgenol*. nov 2012;199(5 Suppl):S3-8.
47. Zhang D, Li X, Liu B. Objective characterization of GE discovery CT750 HD scanner: gemstone spectral imaging mode. *Med Phys*. mars 2011;38(3):1178-1188.
48. Matsumoto K, Jinzaki M, Tanami Y, Ueno A, Yamada M, Kuribayashi S. Virtual monochromatic spectral imaging with fast kilovoltage switching: improved image quality as compared with that obtained with conventional 120-kVp CT. *Radiology*. avr 2011;259(1):257-262.

49. Kaza RK, Platt JF, Cohan RH, Caoili EM, Al-Hawary MM, Wasnik A. Dual-energy CT with single- and dual-source scanners: current applications in evaluating the genitourinary tract. *Radiogr Rev Publ Radiol Soc N Am Inc.* avr 2012;32(2):353-369.
50. Vrtiska TJ, Takahashi N, Fletcher JG, Hartman RP, Yu L, Kawashima A. Genitourinary applications of dual-energy CT. *AJR Am J Roentgenol.* juin 2010;194(6):1434-1442.
51. Silva AC, Morse BG, Hara AK, Paden RG, Hongo N, Pavlicek W. Dual-energy (spectral) CT: applications in abdominal imaging. *Radiogr Rev Publ Radiol Soc N Am Inc.* août 2011;31(4):1031-1046; discussion 1047-1050.
52. Chandra N, Langan DA. Gemstone Detector: Dual Energy Imaging via Fast kVp Switching. In: Johnson T, Fink C, Schönberg SO, Reiser MF, éditeurs. *Dual Energy CT in Clinical Practice.* Springer Berlin Heidelberg; 2011. p. 35-41.
53. Joshi M, Langan DA, Sahani DS, Kambadakone A, Aluri S, Procknow K, et al. Effective atomic number accuracy for kidney stone characterization using spectral CT. *Proc. SPIE 7622, Medical Imaging 2010: Physics of Medical Imaging, 76223K* (March 22, 2010); doi:10.1117/12.844372.
54. Kulkarni NM, Eisner BH, Pinho DF, Joshi MC, Kambadakone AR, Sahani DV. Determination of renal stone composition in phantom and patients using single-source dual-energy computed tomography. *J Comput Assist Tomogr.* févr 2013;37(1):37-45.
55. Primak AN, Fletcher JG, Vrtiska TJ, Dzyubak OP, Lieske JC, Jackson ME, et al. Noninvasive differentiation of uric acid versus non-uric acid kidney stones using dual-energy CT. *Acad Radiol.* déc 2007;14(12):1441-1447.
56. Matlaga BR, Kawamoto S, Fishman E. Dual source computed tomography: a novel technique to determine stone composition. *Urology.* nov 2008;72(5):1164-1168.
57. Stolzmann P, Kozomara M, Chuck N, Müntener M, Leschka S, Scheffel H, et al. In vivo identification of uric acid stones with dual-energy CT: diagnostic performance evaluation in patients. *Abdom Imaging.* oct 2010;35(5):629-635.
58. Stolzmann P, Scheffel H, Rentsch K, Schertler T, Frauenfelder T, Leschka S, et al. Dual-energy computed tomography for the differentiation of uric acid stones: ex vivo performance evaluation. *Urol Res.* août 2008;36(3-4):133-138.
59. Thomas C, Heuschmid M, Schilling D, Ketelsen D, Tsiflikas I, Stenzl A, et al. Urinary calculi composed of uric acid, cystine, and mineral salts: differentiation with dual-energy CT at a radiation dose comparable to that of intravenous pyelography. *Radiology.* nov 2010;257(2):402-409.
60. Thomas C, Patschan O, Ketelsen D, Tsiflikas I, Reimann A, Brodoefel H, et al. Dual-energy CT for the characterization of urinary calculi: In vitro and in vivo

evaluation of a low-dose scanning protocol. *Eur Radiol.* juin 2009;19(6):1553-1559.

61. Boll DT, Patil NA, Paulson EK, Merkle EM, Simmons WN, Pierre SA, et al. Renal stone assessment with dual-energy multidetector CT and advanced postprocessing techniques: improved characterization of renal stone composition--pilot study. *Radiology.* mars 2009;250(3):813-820.
62. Ascenti G, Siragusa C, Racchiusa S, Ielo I, Privitera G, Midili F, et al. Stone-targeted dual-energy CT: a new diagnostic approach to urinary calculosis. *AJR Am J Roentgenol.* oct 2010;195(4):953-958.
63. Manglaviti G, Tresoldi S, Guerrer CS, Di Leo G, Montanari E, Sardanelli F, et al. In vivo evaluation of the chemical composition of urinary stones using dual-energy CT. *AJR Am J Roentgenol.* juill 2011;197(1):W76-83.
64. Botsikas D, Hansen C, Stefanelli S, Becker CD, Montet X. Urinary stone detection and characterisation with dual-energy CT urography after furosemide intravenous injection: preliminary results. *Eur radiol.* 2014 Mar; 24(3) : 709-14.
65. Hidas G, Eliahou R, Duvdevani M, Coulon P, Lemaitre L, Gofrit ON, et al. Determination of renal stone composition with dual-energy CT: in vivo analysis and comparison with x-ray diffraction. *Radiology.* nov 2010;257(2):394-401.
66. Eiber M, Holzapfel K, Frimberger M, Straub M, Schneider H, Rummeny EJ, et al. Targeted dual-energy single-source CT for characterisation of urinary calculi: experimental and clinical experience. *Eur Radiol.* janv 2012;22(1):251-258.
67. Wisenbaugh ES, Paden RG, Silva AC, Humphreys MR. Dual-energy vs Conventional Computed Tomography in Determining Stone Composition. *Urology.* 2014 Jun;83(6):1243-7.
68. Li X-H, Zhao R, Liu B, Yu Y-Q. Determination of urinary stone composition using dual-energy spectral CT: initial in vitro analysis. *Clin Radiol.* juill 2013;68(7):e370-377.

7 ANNEXES

ANNEXE 1 :

Etude morpho constitutionnelle des calculs urinaires



Type Ia omphalique avec plaque de Randall

Figure 1 : Calcul de whewellite de type Ia dont l'origine est nutritionnelle par hyperoxalurie intermittente, souvent liée à une faible diurèse. Noter la présence de la plaque de Randall blanche, faite de carboxypapillite, qui correspond à une calcification papillaire préexistante et responsable de la nucléation du calcul. Noter également la couleur foncée de la whewellite qui traduit un processus de cristallisation lent.



Type Ic, bourgeonnant, de couleur claire

Figure 2 : Calcul de whewellite de type Ic, à surface bourgeonnante de couleur claire. Ce type de calcul doit faire rechercher systématiquement une hyperoxalurie primaire.



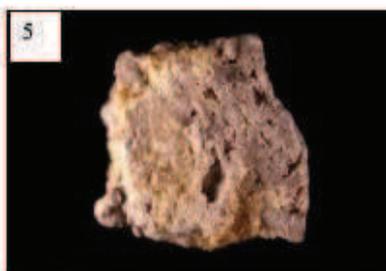
Type IIa : calcul de weddellite

Figure 3 : Calcul de weddellite de type IIa, dont la cause est une hypercalcémie.



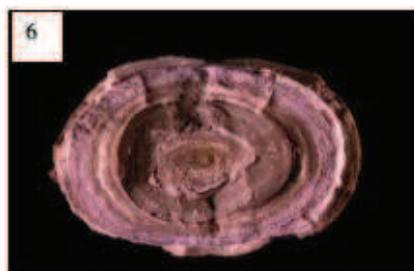
Type IIa avec gros cristaux de weddellite

Figure 4 : Calcul de weddellite de type IIa dont les cristaux sont volumineux (l'arête du cristal le plus gros mesure 3 mm). La présence de ces gros cristaux est généralement liée à des anomalies biochimiques urinaires multiples : hypercalcémie + hyperoxalurie + hypocitraturie.



Type IIIc (section) : urate d'ammonium

Figure 5 : Calcul d'urate d'ammonium de type IIIc. Noter l'aspect poreux et inorganisé de la section. Ce type de structure s'observe dans des contextes d'hyperurémie associée à un pH urinaire élevé (alcalinisation thérapeutique ou infection de l'arbre urinaire par germes uréasiques).



Type IIId (section) : urate d'ammonium

Figure 6 : Calcul d'urate d'ammonium de type IIId. Noter l'organisation en couches alternées plus ou moins irrégulières de couleurs et de textures différentes. Ces calculs s'observent dans des contextes d'hyperurémie associée à des pertes digestives de bases et d'électrolytes par diarrhées d'origine médicamenteuse (abus de laxatifs) ou infectieuse chez des sujets présentant une malnutrition avec carence relative en phosphore (anorexie mentale, enfants appartenant à des milieux sociaux défavorisés dans les pays en développement).



Type IVa : carboxypapillite

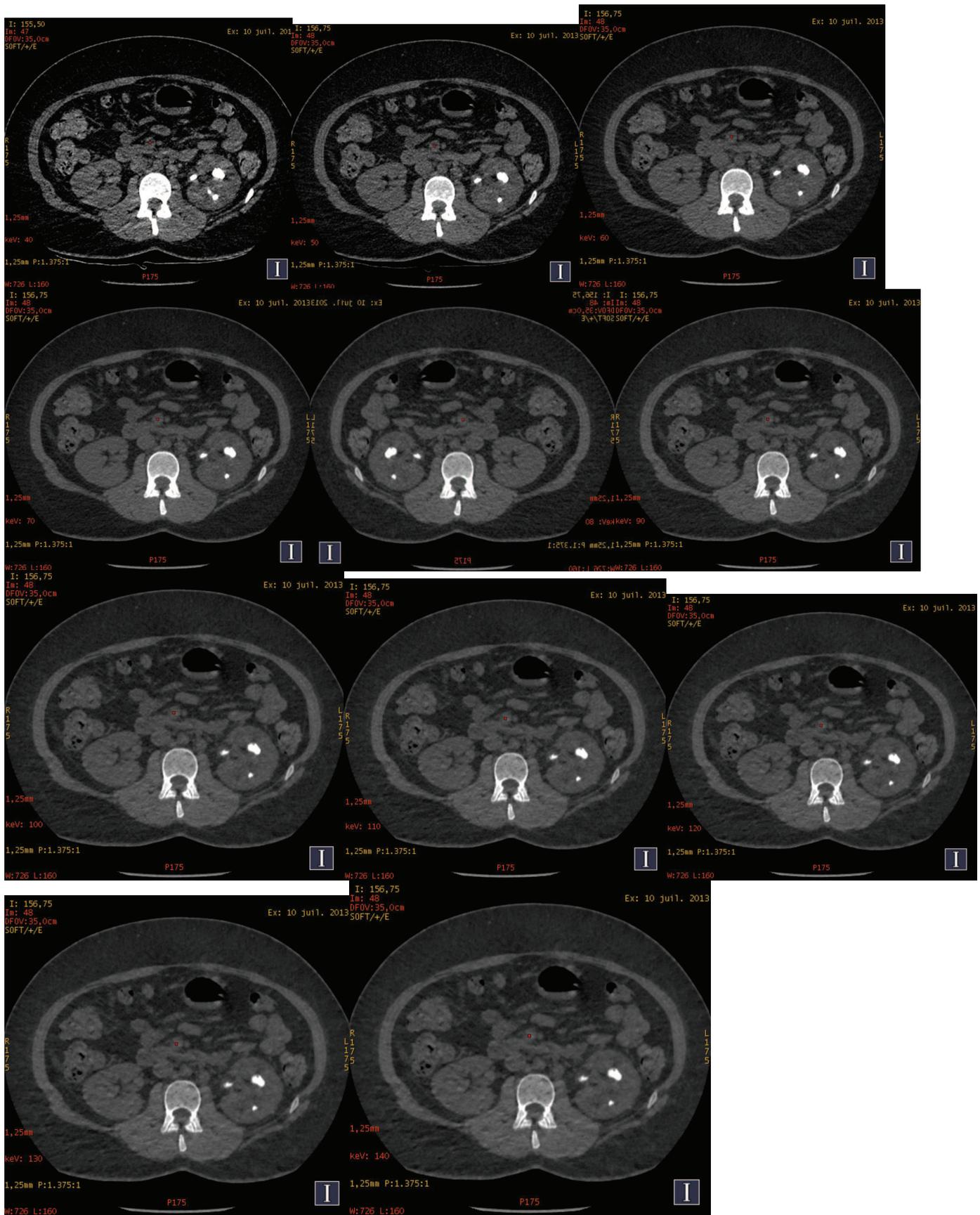
Figure 7 : Calcul de carboxypapillite de type IVa observé dans des contextes d'infection de l'arbre urinaire. Dans ce type de calcul, la carboxypapillite est généralement associée à d'autres phosphates (PACC, whitlockite, voire struvite) en proportion souvent importante.



Type IVa2 : carboxypapillite

Figure 8 : Calcul de carboxypapillite de type IVa2. La morphologie très particulière de ces calculs (surface bosselée et brillante, d'aspect vernis, avec, localement de fines craquelures dans le corps du calcul) est caractéristique des contextes d'acidose tubulaire distale innée ou acquise (syndrome de Gougerot-Sjögren, maladie de Cacchi-Ricci,...).

ANNEXE 2: GSI viewer : images monochromatiques de 40 keV à 140 keV



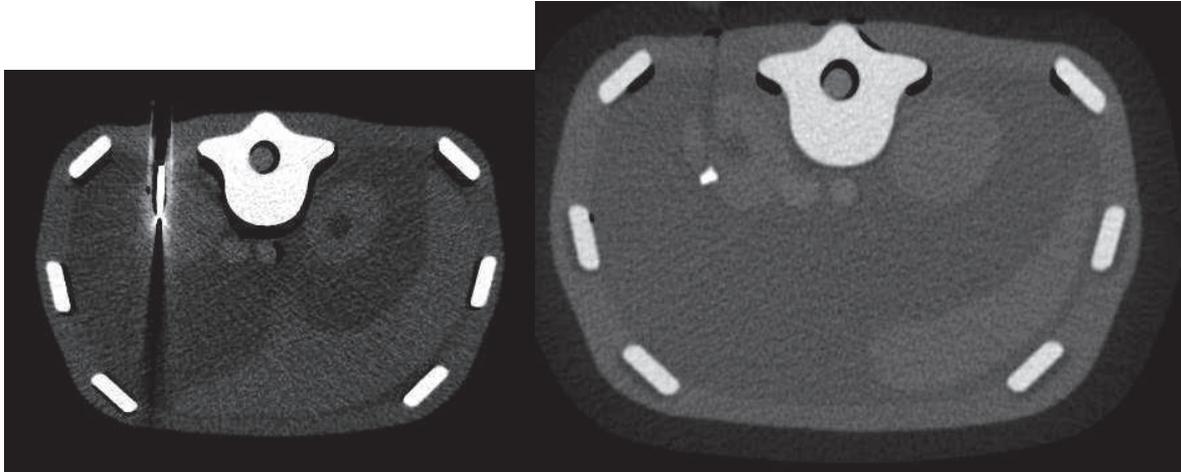
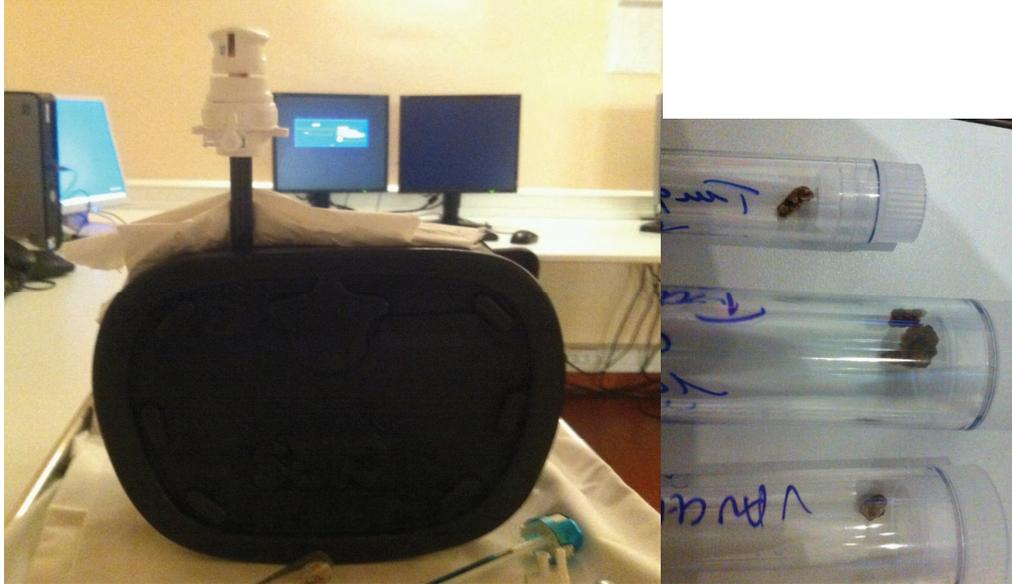
ANNEXE 3: Tableaux de l'analyse qualitative de calculs de 30 patients par deux radiologues (R1 de 9 ans et R2 de 5 ans d'expérience) en 4 Groupes avec l'histogramme via GSI viewer.

PATIENTS (R1)	CYSTINE	ACIDE URIQUE	STRUVITE	AUTRE	SPECTROPHOTOMETRIE
1				1	90% carbapatite 10% protéines
2				1	100% whewellite
3				1	80% carbapatite 15% struvite 5% protéines
4				1	75% struvite 25% carbapatite
5				1	70% whewellite 25% weddellite 5% carbapatite
6				1	90% carbapatite 5% whewellite 5% protéines
7				1	50% struvite 30% carbapatite 20 % urate d'Ammonium
8				1	85% weddellite 10% whewellite 5% carbapatite
9				1	40% whewellite 35% carbapatite 25% weddellite
10		1			Acide urique anhydre 100%
11				1	85% weddellite 10% carbapatite 5% protéines
12				1	75% weddellite 10% whewellite 10% carbapatite 5% protéines
13		1			Acide urique anhydre 100%
14			1		40% carbapatite 30% phosphate amorphe carbonaté 20% struvite 10% protéines
15	1				Cystine
16				1	100% whewellite
17				1	90% whewellite 10% weddellite
18				1	40% whewellite 20% carbapatite 40% weddellite
19				1	95% weddellite 5% carbapatite
20				1	100% whewellite
21	1				Cystine
22			1		100% whewellite
23				1	60% weddellite 30% whewellite 5% carbapatite 5% protéines
24		1			Acide urique anhydre 100%
25				1	100% whewellite
26				1	60% whewellite 20% weddellite 20% carbapatite
27				1	100% whewellite
28		1			Acide urique anhydre 100%
29				1	100% whewellite
30				1	70% carbapatite 25% struvite 5% protéines

PATIENTS (R2)	CYSTINE	ACIDE URIQUE	STRUVITE	AUTRE	SPECTROPHOTOMETRIE
1				1	90% carbapatite 10% protéines
2				1	100% whewellite
3				1	80% carbapatite 15% struvite 5% protéines
4				1	75% struvite 25% carbapatite
5				1	70% whewellite 25% weddellite 5% carbapatite
6				1	90% carbapatite 5% whewellite 5% protéines
7				1	50% struvite 30% carbapatite 20 % urate d'Ammonium
8				1	85% weddellite 10% whewellite 5% carbapatite
9				1	40% whewellite 35% carbapatite 25% weddellite
10		1			Acide urique anhydre 100%
11				1	85% weddellite 10% carbapatite 5% protéines
12				1	75% weddellite 10% whewellite 10% carbapatite 5% protéines
13		1			Acide urique anhydre 100%
14				1	40% carbapatite 30% phosphate ca amorphe carbonaté 20% struvite 10% protéines
15	1				Cystine
16				1	100% whewellite
17				1	90% whewellite 10% weddellite
18				1	40% whewellite 20% carbapatite 40% weddellite
19				1	95% weddellite 5% carbapatite
20				1	100% whewellite
21	1				Cystine
22				1	100% whewellite
23				1	60% weddellite 30% whewellite 5% carbapatite 5% protéines
24		1			Acide urique anhydre 100%
25				1	100% whewellite
26				1	60% whewellite 20% weddellite 20% carbapatite
27				1	100% whewellite
28		1			Acide urique anhydre 100%
29				1	100% whewellite
30				1	70% carbapatite 25% struvite 5% protéines

ANNEXE 4:

Etude in vitro menée au CHU de ROUEN avec un fantôme abdominal interventionnel (*anthropomorphic interventional 3D Abdominal Phantom Model 57 : CIRS, Virginia, USA*)



ANNEXE 5 : Analyse dosimétrique pour les 30 patients de notre étude in vivo.

Les patients ont soit fait partie du protocole standard pour le TDM conventionnel (120 kV et modulation de la charge) chez nous, soit n'ont pas eu ce protocole ou alors ont eu un TDM conventionnel hors CHU de Rouen. Les patients ont ensuite eu soit une hélice Double énergie abdomino pelvienne (« complete ») soit une hélice ciblée sur la zone du calcul (« targeted »).

PATIENTS	CT standard protocol : yes/no	DECT : targeted/complete	total DLP (mGy.cm)	targeted DECT DLP (mGy.cm)
1	y	<i>targeted</i>	420,37	206,48
2	y	<i>targeted</i>	409,54	174,21
3	y	<i>targeted</i>	550,11	125,81
4	y	<i>targeted</i>	396,36	139,25
5	y	<i>targeted</i>	355,17	125,81
6	n	complete	1054,08	
7	n	<i>targeted</i>	1105,67	175,55
8	n	complete	529,17	
9	y	<i>targeted</i>	356,12	139,25
10	n	<i>targeted</i>	976,51	242,78
11	y	<i>targeted</i>	615,59	112,36
12	y	<i>targeted</i>	276,47	105,64
13	y	<i>targeted</i>	370,01	135,22
14	y	<i>targeted</i>	404,9	168,83
15	n	<i>targeted</i>	654,17	125,81
16	y	<i>targeted</i>	802,6	171,52
17	n	complete	967,46	
18	n	<i>targeted</i>	999,06	277,74
19	y	<i>targeted</i>	368,23	101,6
20	n	complete	564,13	
21	n	<i>targeted</i>	634,96	115,7
22	n	<i>targeted</i>	1143,28	129,84
23	y	<i>targeted</i>	361,21	131,18
24	n	complete	513,04	
25	y	<i>targeted</i>	279,56	131,18
26	y	<i>targeted</i>	457,47	121,77
27	n	<i>targeted</i>	408,97	184,97
28	y	<i>targeted</i>	495,12	268,33
29	y	<i>targeted</i>	329,68	201,1
30	y	<i>targeted</i>	400,41	150,01
			Mean :	Mean :
			573,314	158,4776
			SD : 266,05	SD : 48,83

RESUME

Objectifs

Evaluer la performance du numéro atomique effectif (Z eff) obtenu en TDM double énergie simple source (TDM – DESS) pour déterminer la composition des calculs urinaires.

Méthodes

54 patients adressés pour le bilan de leur maladie lithiasique ont bénéficié d'une hélice de TDM en double énergie dans notre centre. La population étudiée était constituée rétrospectivement par trente patients dont les calculs ont été analysés par spectroscopie infrarouge. Dans un premier temps, le Z eff était estimé pour chaque patient. Puis, une étude qualitative consistant en l'analyse d'un histogramme obtenu via un logiciel dédié, a été réalisée. La distribution des Z eff des pixels de chaque calcul était comparée aux valeurs Z eff de référence mesurées in vitro. Deux radiologues ont ainsi classé les calculs dans quatre groupes (acide urique, cystine, struvite ou autre).

Résultats

Le Z eff moyen pour les calculs d'acide urique était significativement différent de celui des calculs d'autres compositions ($p < 0.0001$). L'analyse de l'histogramme a permis la détection de tous les calculs d'acide urique et de cystine par les deux radiologues. Tous les calculs étaient correctement classés dans chaque groupe avec un excellent accord inter-observateurs ($K=0.958$).

Conclusion

La TDM-DESS permet la caractérisation des calculs d'acide urique via l'évaluation du Z eff avec une excellente performance. De plus, les calculs d'acide urique et de cystine peuvent être détectés facilement et de façon reproductible avec une analyse qualitative du Z eff.

Mots clés

Calculs urinaires. TDM double énergie. TDM double énergie simple source. Numéro atomique effectif Z.