



**HAL**  
open science

# Intérêt de l'évaluation systématique de la micro-architecture osseuse par technique BMA<sup>TM</sup> en complément de la densitométrie osseuse dans une population de patients fracturés

Sarah Cheriet

## ► To cite this version:

Sarah Cheriet. Intérêt de l'évaluation systématique de la micro-architecture osseuse par technique BMA<sup>TM</sup> en complément de la densitométrie osseuse dans une population de patients fracturés. Médecine humaine et pathologie. 2012. dumas-00759298

**HAL Id: dumas-00759298**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00759298v1>**

Submitted on 30 Nov 2012

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

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

**FACULTE MIXTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE DE ROUEN**

ANNEE 2011-2012

**THESE POUR LE  
DOCTORAT EN MEDECINE**

Diplôme d'Etat

PAR

CHERIET Sarah

NEE le 19 /07/1983 MEFTAH (ALGERIE)

PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 10 OCTOBRE 2012

**Intérêt de l'évaluation systématique de la  
micro-architecture osseuse par technique  
BMA™ en complément de la densitométrie  
osseuse dans une population de patients  
fracturés**

PRESIDENT DE JURY : Pr Olivier VITTECOQ

DIRECTEUR DE THESE : Dr Alain DARAGON

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

## REMERCIEMENTS

A Monsieur le Docteur Alain Daragon, pour avoir accepté de diriger ma thèse. Merci de votre aide précieuse, votre disponibilité et de m'avoir transmis votre intérêt pour l'ostéoporose. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de ma profonde reconnaissance.

A Monsieur le Professeur Vittecoq, pour avoir accepté de présider mon jury de thèse et m'avoir permis d'apprendre cette belle spécialité qu'est la rhumatologie au sein de son service.

A Monsieur le Professeur Xavier Le Loet, pour m'avoir appris l'importance de la sémiologie clinique en rhumatologie. Merci de m'avoir transmis votre rigueur et votre sens du « mot juste ».

A Madame le Professeur Françoise Beuret-Blanquart, pour m'avoir permis de découvrir une nouvelle spécialité, où l'on comprend réellement le sens de notre profession. Merci de votre implication et pour l'intérêt que vous avez porté à mon avenir.

A Monsieur le Professeur Christian Marcelli, pour avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse. Merci d'avoir contribué à faire des journées DES, des moments d'apprentissage dans une ambiance conviviale.

A Monsieur le Docteur Yohann Delarue, pour m'avoir fait l'honneur de participer à mon jury de thèse. Tu m'as appris bien plus que tu ne l'imagines et c'est avec grand plaisir que je m'ajoute bientôt à la liste de tes collègues.

A Monsieur le Docteur Jean-François Ménard, pour votre disponibilité et vos éclaircissements dans un domaine souvent obscur pour les non-initiés.

Au Docteur Thibault Vandhuick, d'abord co-interne puis chef ! Merci de ta patience, de ton extrême disponibilité et de ton implication dans le service qui ont grandement permis que nos semestres de rhumatologie se déroulent sereinement. Bonne suite!

Au Docteur Mathieu Verdet, spécialiste dans l'exercice de la médecine de qualité dans la bonne humeur. Un semestre mémorable, apprécié de tous.

Au Docteur Julia Nicolau, qui m'a permis de faire avec émotion mes premières échographies ostéo-articulaires. Dieppe, c'est bien mais 7h30, c'est trop tôt !

Au Docteur Aurélia Bisson-Vaivre, médecin et musicienne. Merci de permettre à tout le monde de parler d'autre chose que d'infiltrations, de genoux et de fibromyalgie...

A mes co-internes Laure, Pauline, Gilles et Quentin : this is it !

Aux jeunes avec lesquels je n'ai pas eu l'occasion de travailler, Sandra, Axelle, Christopher, FX, Marie, Agathe, Julien et Victor : bon courage !

A Corinne, Christèle et Fabienne : les infirmières de choc qui ont réalisé l'ensemble des densitométries et BMA qui ont permis ce travail. Merci de votre disponibilité !

A l'ensemble des médecins du service, Monsieur le Professeur Thierry Lequerré, Monsieur le Docteur Vincent Goeb, Madame le Docteur Macha Kozyreff-Meurice, Madame le Docteur Sophie Pouplin qui contribuent à l'identité de ce service.

Au service de SSR de Bois-Guillaume, qui m'a permis de recruter sereinement la quasi-totalité des patients.

Aux 90 patients et patientes, qui ont accepté de répondre à mes questions et de réaliser les examens complémentaires sans trop de difficultés...

A l'ensemble de l'équipe paramédicale et du secrétariat du service de Rhumatologie de Bois-Guillaume.

Aux médecins qui ne sont plus à BG, Madame le Docteur Tassadit Ait-Abdesselam et Madame le Docteur Karine Lanfant-Weybel.

A la rhumatologie d'Elbeuf, Madame le Docteur Maud Gauthier-Prieur et Monsieur le Docteur Fernando Da Silva. Un semestre où j'ai énormément appris...Merci pour tout !

Aux docs de Dieppe, Jean-Marc, Stéphanie, Karole, Hélène, Séverine, JC, Vincent, Marc, Stéphane, Daphné et Roger, pour m'avoir permis de passer un dernier semestre sympathique au bord de la mer...

A Messieurs les Docteurs Zarnitsky et Alcaix, qui ont assisté à nos premiers pas en rhumatologie, dans une ville brumeuse qu'on appelle Le Havre.

A ceux qui ne sont plus là, mais qui restent quand même.

A mes parents et mon frère pour le soutien et bien plus encore.

A Julien : vacances !!!

**ANNEE UNIVERSITAIRE 2011 - 2012**  
**U.F.R. DE MEDECINE-PHARMACIE DE ROUEN**

-----

**DOYEN :** **Professeur Pierre FREGER**

**ASSESSEURS :** **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**

**I MEDECINE**

**PROFESSEURS**

M. Frédéric ANSELME	HCN	Cardiologie
M. Bruno BACHY	HCN	Chirurgie pédiatrique
M. Fabrice BAUER	HCN	Cardiologie
Mme Soumeya BEKRI	HCN	Biochimie et Biologie Moléculaire
M. Jacques BENICHOU	HCN	Biostatistiques et informatique médicale
M. Eric BERCOFF	HB	Médecine interne (gériatrie)
M. Jean-Paul BESSOU	HCN	Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire

Mme Françoise <b>BEURET-BLANQUART</b>	CRMPR	Médecine physique et de réadaptation
M. Guy <b>BONMARCHAND</b>	HCN	Réanimation médicale
M. Olivier <b>BOYER</b>	UFR	Immunologie
M. Jean-François <b>CAILLARD</b>	HCN	Médecine et santé au Travail
M. François <b>CARON</b>	HCN	Maladies infectieuses et tropicales
M. Philippe <b>CHASSAGNE</b>	HB	Médecine interne (Gériatrie)
M. Alain <b>CRIBIER (Surnombre)</b>	HCN	Cardiologie
M. Antoine <b>CUVELIER</b>	HB	Pneumologie
M. Pierre <b>CZERNICHOW</b>	HCH	Epidémiologie, économie de la santé
M. Jean - Nicolas <b>DACHER</b>	HCN	Radiologie et Imagerie Médicale
M. Stéfan <b>DARMONI</b>	HCN	Informatique Médicale/Techniques de communication
M. Pierre <b>DECHELOTTE</b>	HCN	Nutrition
Mme Danièle <b>DEHESDIN</b>	HCN	Oto-Rhino-Laryngologie
M. Philippe <b>DENIS (Surnombre)</b>	HCN	Physiologie
M. Jean <b>DOUCET</b>	HB	Thérapeutique/Médecine – Interne - Gériatrie.
M. Bernard <b>DUBRAY</b>	CB	Radiothérapie
M. Philippe <b>DUCROTTE</b>	HCN	Hépatologie – Gastro – Entérologie
M. Frank <b>DUJARDIN</b>	HCN	Chirurgie Orthopédique – Traumatologique
M. Fabrice <b>DUPARC</b>	HCN	Anatomie - Chirurgie Orthopédique et Traumatologique
M. Bertrand <b>DUREUIL</b>	HCN	Anesthésiologie et réanimation chirurgicale

Mle Hélène <b>ELTCHANINOFF</b>	HCN	Cardiologie
M. Thierry <b>FREBOURG</b>	UFR	Génétique
M. Pierre <b>FREGER</b>	HCN	Anatomie/Neurochirurgie
M. Jean François <b>GEHANNO</b>	HCN	Médecine et Santé au Travail
M. Emmanuel <b>GERARDIN</b>	HCN	Imagerie Médicale
Mme Priscille <b>GERARDIN</b>	HCN	Pédopsychiatrie
M. Michel <b>GODIN</b>	HB	Néphrologie
M. Philippe <b>GRISE</b>	HCN	Urologie
M. Didier <b>HANNEQUIN</b>	HCN	Neurologie
M. Fabrice <b>JARDIN</b>	CB	Hématologie
M. Luc-Marie <b>JOLY</b>	HCN	Médecine d'urgence
M. Pascal <b>JOLY</b>	HCN	Dermato - vénéréologie
M. Jean-Marc <b>KUHN</b>	HB	Endocrinologie et maladies métaboliques
Mme Annie <b>LAQUERRIERE</b>	HCN	Anatomie cytologie pathologiques
M. Vincent <b>LAUDENBACH</b>	HCN	Anesthésie et réanimation chirurgicale
M. Alain <b>LAVOINNE</b>	UFR	Biochimie et biologie moléculaire
M. Joël <b>LECHEVALLIER</b>	HCN	Chirurgie infantile
M. Hervé <b>LEFEBVRE</b>	HB	Endocrinologie et maladies métaboliques
M. Xavier <b>LE LOET</b>	HB	Rhumatologie
M. Eric <b>LEREBOURS</b>	HCN	Nutrition
Mle Anne-Marie <b>LEROI</b>	HCN	Physiologie
M. Hervé <b>LEVESQUE</b>	HB	Médecine interne
Mme Agnès <b>LIARD-ZMUDA</b>	HCN	Chirurgie Infantile
M. Bertrand <b>MACE</b>	HCN	Histologie, embryologie, cytogénétique
M. Eric <b>MALLET</b> ( <i>Surnombre</i> )	HCN	Pédiatrie
M. Christophe <b>MARGUET</b>	HCN	Pédiatrie
Mle Isabelle <b>MARIE</b>	HB	Médecine Interne



M. Jean-Paul <b>MARIE</b>	HCN	ORL
M. Loïc <b>MARPEAU</b>	HCN	Gynécologie - obstétrique
M. Stéphane <b>MARRET</b>	HCN	Pédiatrie
M. Pierre <b>MICHEL</b>	HCN	Hépatologie - Gastro – Entérologie
M. Francis <b>MICHOT</b>	HCN	Chirurgie digestive
M. Bruno <b>MIHOUT</b>	HCN	Neurologie
M. Pierre-Yves <b>MILLIEZ</b>	HCN	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique
M. Jean-François <b>MUIR</b>	HB	Pneumologie
M. Marc <b>MURAINÉ</b>	HCN	Ophtalmologie
M. Philippe <b>MUSETTE</b>	HCN	Dermatologie – Vénérologie
M. Christophe <b>PEILLON</b>	HCN	Chirurgie générale
M. Jean-Marc <b>PERON</b>	HCN	Stomatologie et chirurgie maxillo-faciale
M. Christian <b>PFISTER</b>	HCN	Urologie
M. Jean-Christophe <b>PLANTIER</b>	HCN	Bactériologie - Virologie
M. Didier <b>PLISSONNIER</b>	HCN	Chirurgie vasculaire
M. Bernard <b>PROUST</b>	HCN	Médecine légale
M. François <b>PROUST</b>	HCN	Neurochirurgie
Mme Nathalie <b>RIVES</b>	HCN	Biologie et méd. du dévelop. et de la reprod.
M. Jean-Christophe <b>RICHARD</b> ( <i>Mise en dispo</i> )	HCN	Réanimation Médicale, Médecine d'urgence
M. Horace <b>ROMAN</b>	HCN	Gynécologie Obstétrique
M. Jean-Christophe <b>SABOURIN</b>	HCN	Anatomie – Pathologie
M. Guillaume <b>SAVOYE</b>	HCN	Hépatologie - Gastro
M. Michel <b>SCOTTE</b>	HCN	Chirurgie digestive
Mme Fabienne <b>TAMION</b>	HCN	Thérapeutique
Mlle Florence <b>THIBAUT</b>	HCN	Psychiatrie d'adultes
M. Luc <b>THIBERVILLE</b>	HCN	Pneumologie
M. Christian <b>THUILLEZ</b>	HB	Pharmacologie
M. Hervé <b>TILLY</b>	CB	Hématologie et transfusion

M. François <b>TRON</b> ( <i>Surnombre</i> )	UFR	Immunologie
M. Jean-Jacques <b>TUECH</b>	HCN	Chirurgie digestive
M. Jean-Pierre <b>VANNIER</b>	HCN	Pédiatrie génétique
M. Benoît <b>VEBER</b>	HCN	Anesthésiologie Réanimation chirurgicale
M. Pierre <b>VERA</b>	C.B	Biophysique et traitement de l'image
M. Eric <b>VERSPYCK</b>	HCN	Gynécologie obstétrique
M. Olivier <b>VITTECOQ</b>	HB	Rhumatologie
M. Jacques <b>WEBER</b>	HCN	Physiologie

### MAITRES DE CONFERENCES

Mme Noëlle <b>BARBIER-FREBOURG</b>	HCN	Bactériologie – Virologie
M. Jeremy <b>BELLIEN</b>	HCN	Pharmacologie
Mme Carole <b>BRASSE LAGNEL</b>	HCN	Biochimie
Mme Mireille <b>CASTANET</b>	HCN	Pédiatrie
M. Gérard <b>BUCHONNET</b>	HCN	Hématologie
Mme Nathalie <b>CHASTAN</b>	HCN	Physiologie
Mme Sophie <b>CLAEYSSSENS</b>	HCN	Biochimie et biologie moléculaire
M. Moïse <b>COEFFIER</b>	HCN	Nutrition
M. Vincent <b>COMPERE</b> réanimation chirurgicale	HCN	Anesthésiologie et
M. Manuel <b>ETIENNE</b>	HCN	Maladies infectieuses et tropicales
M. Guillaume <b>GOURCEROL</b>	HCN	Physiologie
Mme Catherine <b>HAAS-HUBSCHER</b> chirurgicale	HCN	Anesthésie - Réanimation
M. Serge <b>JACQUOT</b>	UFR	Immunologie
M. Joël <b>LADNER</b>	HCN	Epidémiologie, économie de la santé
M. Jean-Baptiste <b>LATOUCHE</b>	UFR	Biologie Cellulaire
Mme Lucie <b>MARECHAL-GUYANT</b>	HCN	Neurologie

M. Jean-François <b>MENARD</b>	HCN	Biophysique
Mme Muriel <b>QUILLARD</b>	HCN	Biochimie et Biologie moléculaire
M. Vincent <b>RICHARD</b>	UFR	Pharmacologie
M. Francis <b>ROUSSEL</b>	HCN	Histologie, embryologie, cytogénétique
Mme Pascale <b>SAUGIER-VEBER</b>	HCN	Génétique
Mme Anne-Claire <b>TOBENAS-DUJARDIN</b>	HCN	Anatomie
M. Eric <b>VERIN</b>	HCN	Physiologie

### MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE A MI-TEMPS

M. Thierry <b>LEQUERRE</b>	HB	Rhumatologie
M. Fabien <b>DOGUET</b>	HCN	Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire

### PROFESSEUR AGREGE OU CERTIFIE

Mme Dominique <b>LANIEZ</b>	UFR	Anglais
Mme Michèle <b>GUIGOT</b>	UFR	Sciences humaines - Techniques d'expression

## II PHARMACIE

### PROFESSEURS

M. Thierry <b>BESSON</b>	Chimie Thérapeutique
M. Jean-Jacques <b>BONNET</b>	Pharmacologie
M. Roland <b>CAPRON</b> (PU-PH)	Biophysique
M. Jean <b>COSTENTIN</b> (PU-PH)	Pharmacologie
Mme Isabelle <b>DUBUS</b>	Biochimie
M. Loïc <b>FAVENNEC</b> (PU-PH)	Parasitologie
M. Michel <b>GUERBET</b>	Toxicologie
M. Olivier <b>LAFONT</b>	Chimie organique

Mme Isabelle <b>LEROUX</b>	Physiologie
Mme Elisabeth <b>SEGUIN</b>	Pharmacognosie
M. Marc <b>VASSE</b> (PU-PH)	Hématologie
M Jean-Marie <b>VAUGEOIS</b> (Délégation CNRS)	Pharmacologie
M. Philippe <b>VERITE</b>	Chimie analytique

### MAITRES DE CONFERENCES

Mle Cécile <b>BARBOT</b>	Chimie Générale et Minérale
Mme Dominique <b>BOUCHER</b>	Pharmacologie
M. Frédéric <b>BOUNOURE</b>	Pharmacie Galénique
Mme Martine <b>PESTEL-CARON</b>	Microbiologie
M. Abdeslam <b>CHAGRAOUI</b>	Physiologie
M. Jean <b>CHASTANG</b>	Biomathématiques
Mme Marie Catherine <b>CONCE-CHEMTOB</b>	Législation pharmaceutique et économie de la santé
Mme Elizabeth <b>CHOSSON</b>	Botanique
Mle Cécile <b>CORBIERE</b>	Biochimie
M. Eric <b>DITTMAR</b>	Biophysique
Mme Nathalie <b>DOURMAP</b>	Pharmacologie
Mle Isabelle <b>DUBUC</b>	Pharmacologie
Mme Roseline <b>DUCLOS</b>	Pharmacie Galénique
M. Abdelhakim <b>ELOMRI</b>	Pharmacognosie
M. François <b>ESTOUR</b>	Chimie Organique
M. Gilles <b>GARGALA</b> (MCU-PH)	Parasitologie
Mme Najla <b>GHARBI</b>	Chimie analytique
Mle Marie-Laure <b>GROULT</b>	Botanique
M. Hervé <b>HUE</b>	Biophysique et Mathématiques
Mme Hong <b>LU</b>	Biologie
Mme Sabine <b>MENAGER</b>	Chimie organique
Mme Christelle <b>MONTEIL</b>	Toxicologie
M. Paul <b>MULDER</b>	Sciences du médicament
M. Mohamed <b>SKIBA</b>	Pharmacie Galénique
Mme Malika <b>SKIBA</b>	Pharmacie Galénique

Mme Christine **THARASSE** Chimie thérapeutique  
M. Rémi **VARIN** (MCU-PH) Pharmacie Hospitalière  
M. Frédéric **ZIEGLER** Biochimie

### **PROFESSEUR ASSOCIE**

M. Jean-Pierre **GOULLE** Toxicologie

### **MAITRE DE CONFERENCE ASSOCIE**

Mme Sandrine **PANCHOU** Pharmacie Officinale

### **PROFESSEUR AGREGE OU CERTIFIE**

Mme Anne-Marie **ANZELLOTTI** Anglais

### **ATTACHE TEMPORAIRE D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE**

M. Bérénice **COQUEREL** Chimie Analytique  
M. Johann **PELTIER** Microbiologie

**CHEF DES SERVICES ADMINISTRATIFS** : Mme Véronique DELAFONTAINE

HCN - Hôpital Charles Nicolle HB - Hôpital de BOIS GUILLAUME  
CB - Centre HENRI BECQUEREL CHS - Centre Hospitalier Spécialisé du Rouvray  
CRMPR - Centre Régional de Médecine Physique et de Réadaptation

## **III MEDECINE GENERALE**

### **PROFESSEURS**

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

### **PROFESSEURS ASSOCIES A MI-TEMPS** :

M. Pierre **FAINSILBER** UFR Médecine générale

M. Alain <b>MERCIER</b>	UFR	Médecine générale
M. Philippe <b>NGUYEN THANH</b>	UFR	Médecine générale

**MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE A MI-TEMPS :**

M Emmanuel <b>LEFEBVRE</b>	UFR	Médecine générale
Mme Elisabeth <b>MAUVIARD</b>	UFR	Médecine générale
Mme Marie Thérèse <b>THUEUX</b>	UFR	Médecine générale

<p><b>LISTE DES RESPONSABLES DE DISCIPLINE</b></p>
--

Melle Cécile <b>BARBOT</b>	Chimie Générale et Minérale
M. Thierry <b>BESSON</b>	Chimie thérapeutique
M. Roland <b>CAPRON</b>	Biophysique
M Jean <b>CHASTANG</b>	Mathématiques
Mme Marie-Catherine <b>CONCE-CHEMTOB</b>	Législation, Economie de la Santé
Mle Elisabeth <b>CHOSSON</b>	Botanique
M. Jean <b>COSTENTIN</b>	Pharmacodynamie
Mme Isabelle <b>DUBUS</b>	Biochimie
M. Loïc <b>FAVENNEC</b>	Parasitologie
M. Michel <b>GUERBET</b>	Toxicologie
M. Olivier <b>LAFONT</b>	Chimie organique
M. Jean-Louis <b>PONS</b>	Microbiologie
Mme Elisabeth <b>SEGUIN</b>	Pharmacognosie
M. Mohamed <b>SKIBA</b>	Pharmacie Galénique
M. Marc <b>VASSE</b>	Hématologie
M. Philippe <b>VERITE</b>	Chimie analytique

## **ENSEIGNANTS MONO-APPARTENANTS**

### **MAITRES DE CONFERENCES**

M. Sahil <b>ADRIOUCH</b>	Biochimie et biologie moléculaire (Unité Inserm 905)
Mme Gaëlle <b>BOUGEARD-DENOYELLE</b>	Biochimie et biologie moléculaire (Unité Inserm 614)
M. Antoine <b>OUVRARD-PASCAUD</b>	Physiologie (Unité Inserm 644)

### **PROFESSEURS DES UNIVERSITES**

M. Mario <b>TOSI</b>	Biochimie et biologie moléculaire (Unité Inserm 614)
M. Serguei <b>FETISSOV</b>	Physiologie (Groupe ADEN)
Mme Su <b>RUAN</b>	

# Sommaire

I] GENERALITES .....	17
A) Ostéoporose : définition, conséquences, diagnostic, traitement .....	18
B) Evaluation de la micro-architecture du tissu osseux .....	21
1 - Histomorphométrie .....	21
2- Étude de la micro-architecture osseuse par technique d'imagerie .....	22
3- Outils de caractérisation de la micro-architecture osseuse .....	24
II] ETUDE.....	30
A) Matériel et méthodes .....	31
B) Résultats .....	34
1/ Corrélation entre les paramètres densitométriques et microarchitecturaux au col fémoral .....	37
2/Corrélation entre les paramètres densitométriques au col fémoral et les paramètres microarchitecturaux à l'avant-bras.....	39
3/ Corrélation entre les paramètres densitométriques et microarchitecturaux à l'avant-bras .....	40
4/ Corrélation entre paramètres densitométriques à l'avant-bras et microarchitecturaux au col fémoral.....	42
5/ Corrélations entre paramètres densitométriques au rachis lombaire et microarchitecturaux au col fémoral et à l'avant-bras.....	43
6/ Corrélation entre paramètres morphologiques, paramètres densitométriques et microarchitecturaux au col fémoral.....	44
7/ Corrélation entre paramètres morphologiques, paramètres densitométriques et microarchitecturaux à l'avant-bras .....	44
8/ Corrélation entre les paramètres microarchitecturaux au col fémoral et à l'avant-bras (tableau 12).....	45
9/ Corrélation entre le score FRAX et les paramètres microarchitecturaux .....	46



III] DISCUSSION .....	48
IV] CONCLUSION.....	64
V] ANNEXE .....	66
VI] REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	68

# **I] GENERALITES**

## ***A) Ostéoporose : définition, conséquences, diagnostic, traitement***

Selon la définition de l'Organisation Mondiale de la Santé datant de 1994 [1], l'ostéoporose se définit comme une « maladie diffuse touchant l'ensemble du squelette, associant une baisse de la masse osseuse et des altérations de la microarchitecture osseuse, l'ensemble conduisant à une fragilisation de l'os et à un risque élevé de fractures ». La douleur et l'augmentation de la morbi-mortalité engendrées par ces fractures font de l'ostéoporose l'une des maladies chroniques les plus coûteuses. Compte tenu du vieillissement de la population, on peut prédire une augmentation du nombre de fractures liées à l'ostéoporose en l'absence de modification de la stratégie préventive et thérapeutique. Il est donc important de développer de nouveaux moyens de dépistage de l'ostéoporose avant la survenue des complications fracturaires.

Le bilan à réaliser devant une suspicion d'ostéoporose est avant tout clinique, avec recherche de facteurs de risques d'ostéoporose comme des antécédents familiaux d'ostéoporose ou des circonstances pouvant engendrer une ostéoporose secondaire (corticothérapie prolongée, hyperthyroïdie etc), associée à la recherche des facteurs de risque de chutes. La deuxième étape consiste en un bilan biologique, à la recherche d'une ostéoporose secondaire, ou dans le cadre d'un bilan de fracture, d'une cause maligne à celle-ci. Enfin, l'examen actuel pratiqué posant le diagnostic d'ostéoporose est la densitométrie par absorptiométrie biphotonique ; le seuil retenu par l'Organisation Mondiale de la Santé signant une ostéoporose à risque fracturaire est un T-score inférieur à -2.5 déviations standard (DS), en comparaison à la valeur moyenne de la densité minérale osseuse (DMO) d'une population de référence jeune. Cette valeur représente un seuil diagnostique à intégrer au reste du tableau clinique pour la conduite à tenir thérapeutique.

De nouvelles recommandations françaises concernant le traitement de l'ostéoporose post-ménopausique sont parues en 2012 [2], sous l'égide de la section Os de la Société française de Rhumatologie et du Groupe de Recherche et d'Information sur les Ostéoporoses en collaboration avec des sociétés savantes (Collège National des Gynécologues et Obstétriciens Français, Groupe d'Etude de la Ménopause et du Vieillissement Hormonal, Société Française de Chirurgie Orthopédique, Société Française d'Endocrinologie, Société Française de Gériatrie et de Gériologie). Le groupe de travail, constitué de spécialistes prenant en charge l'ostéoporose, avait pour objectif d'actualiser les recommandations du traitement médicamenteux de l'ostéoporose post-ménopausique publiées en 2006 par la Haute Autorité de Santé. Outre la prise en compte de certaines fractures comme étant majeures ou sévères, il a été mis en évidence l'importance du dépistage de nouvelles fractures parfois asymptomatiques. Ces recommandations apportent en plus des modifications sur la stratégie thérapeutique. Ainsi, la survenue d'une fracture ostéoporotique dite sévère (extrémité supérieure et distale du fémur, humérus, vertèbres, pelvis, tibia proximal et trois côtes simultanées) incite fortement à l'instauration d'un traitement anti-ostéoporotique sans nécessiter la réalisation préalable d'une densitométrie osseuse. En cas de fracture ostéoporotique non sévère ou de facteurs de risques d'ostéoporose sans fracture, il est conseillé de réaliser une densitométrie osseuse, de traiter en cas de T-score inférieur à -3 DS ou de s'aider du calcul du score FRAX (score établi par l'OMS calculant une probabilité de fracture à 10 ans, au col fémoral et à des sites considérés fracturaires majeurs) dans le cas contraire.

Nous ne détaillerons pas ici les différents traitements anti-ostéoporotiques, mais il est important de rappeler leur efficacité, avec une diminution moyenne de la résorption vertébrale de 40% et une diminution de 15 à 30% du risque fracturaire sous bisphosphonates [3].

Jusqu'à présent, la mesure de la densité minérale osseuse représente le principal outil d'évaluation de la fragilité osseuse. La revue exhaustive de la littérature réalisée à l'occasion de la publication de ces nouvelles recommandations a permis de mettre en évidence le lien établi entre la diminution de la densité osseuse et le risque de survenue des fractures.

Cependant, on retrouve plusieurs travaux sur l'implication d'autres facteurs dans la survenue de fractures par insuffisance osseuse, montrant le caractère incomplet et obsolète de la définition de l'ostéoporose de 1994. La résistance osseuse, définie comme la capacité d'un os à ne pas se fracturer, dépend non seulement de la masse mais aussi de la qualité osseuse, paramètre non mesuré par la densitométrie osseuse. Parmi les autres éléments de la résistance osseuse, citons la masse osseuse et sa répartition, le diamètre de l'os, l'activité de remodelage osseux, la qualité du cristal ou du collagène, la macro et la micro-architecture osseuse. Différents arguments ont amené à s'y intéresser, notamment la microarchitecture osseuse impliquée dans 10 à 30% de la variabilité de la résistance osseuse, comme le rappellent Cortet et Marchandise dans leur revue de la littérature [4]. Tout d'abord, le risque fracturaire augmente après une fracture, quel que soit le site, et ce même après ajustement de la DMO [5]. Ensuite, plus de la moitié des fractures dites ostéoporotiques (y compris des fractures majeures) surviennent dans des populations de patientes ostéopéniques, soit ayant un T-score supérieur à -2.5 DS [6], avec souvent des altérations de la microarchitecture osseuse [7 ; 8]. Enfin, le gain de densité osseuse apporté par les bisphosphonates, bien que significatif, ne peut expliquer à lui seul la diminution marquée du nombre de fractures [9]. Le lien entre qualité osseuse et risque de fracture pourrait en partie expliquer la discordance fréquemment observée entre le niveau de la densité osseuse et l'incidence des fractures. Ceci souligne l'importance de la qualité osseuse, dont la microarchitecture osseuse, dans la résistance osseuse, dont l'évaluation pourrait permettre une définition plus complète de l'ostéoporose et à terme une prise en charge thérapeutique ciblée.

Quels sont les outils et les méthodes d'imagerie dont nous disposons actuellement afin d'évaluer l'architecture de l'os?

## ***B) Evaluation de la micro-architecture du tissu osseux [10]***

La microarchitecture osseuse peut s'étudier ex vivo, in vivo ou in vitro, sur des coupes anatomopathologiques ou sur des images en deux ou trois dimensions [11].

### **1 - Histomorphométrie**

Il s'agit de la méthode de référence pour l'évaluation de la micro-architecture osseuse, effectuée sur biopsie osseuse de l'aile iliaque. Celle-ci permet d'étudier directement les cellules osseuses et la matrice et d'appréhender à la fois la configuration osseuse et la connectivité des travées. L'étude dynamique du remodelage osseux à l'aide du double marquage à la tétracycline permet de préciser s'il existe un défaut de minéralisation osseuse (ostéomalacie). Les indications actuelles de cet examen sont limitées à des situations dont le diagnostic n'est pas évident comme la survenue de fractures inexplicables chez des hommes jeunes ou des femmes non ménopausées, ou dans des maladies chroniques ou rares pouvant engendrer des troubles de minéralisation osseuse (mastocytose, maladie de Gaucher etc). Cet examen comportant des risques inhérents à son caractère invasif ne peut plus être effectué en routine clinique comme auparavant : en effet, d'autres techniques ont été développées afin d'avoir ces mêmes informations, sans nécessiter de biopsie osseuse.

## **2- Étude de la micro-architecture osseuse par technique d'imagerie**

Les différentes techniques d'imagerie peuvent être séparées par mode d'acquisition de l'image (deux dimensions ou trois dimensions) et par leur emploi (in vivo, ex vivo ou in vitro). Les techniques in vitro visent en général à compléter les données de l'histomorphométrie, tandis que les techniques utilisables in vivo ont plutôt un rôle de dépistage des patients à risque.

### **a) Évaluation en deux dimensions (2D)**

L'évaluation in vitro peut se faire par imagerie optique, micro-radiographies ou scanner. L'absorptiométrie biphotonique à rayons X, dont les acquisitions peuvent être utilisées pour étudier la texture osseuse ( mesure du Trabecular Bone Score), peut être employée in vivo, tout comme la radiographie à haute résolution (200  $\mu\text{m}$ ) sur des structures périphériques (radius, calcanéum, fémur). Il s'agit de la technique employée dans cette étude, que nous allons détailler ci-après.

Ces techniques d'imagerie reprennent les paramètres utilisés classiquement pour caractériser la morphologie et la topologie du réseau trabéculaire. La caractérisation ne se fait alors pas sur le réseau proprement dit mais sur la projection de ce dernier. Les mesures obtenues sont alors dites "apparentes" et le calcul des paramètres topologiques se fait sur les directions privilégiées des travées osseuses. Un biais peut survenir en raison de l'étape initiale de binarisation de l'image.

## **b) Évaluation en trois dimensions (3D)**

L'analyse *in vitro* ou *ex vivo* peut se faire par IRM ou par imagerie optique (technique complexe), ou encore par micro-scanner (Fig. 1), employant un rayonnement X conventionnel ou synchrotron, ce dernier donnant une meilleure résolution d'image mais difficilement accessible. L'étude *in vivo* peut se faire par rayonnement X sur micro-scanner périphérique (technique irradiante), avec étude du réseau trabéculaire et de la connectivité osseuse, ou par IRM utilisant des champs à 3 teslas. A noter que cette dernière technique présente une résolution inférieure à celle du microscanner ainsi qu'une difficulté d'analyse du fait de la composition hydrique du squelette, expliquant sa moindre avancée par rapport à celles basées sur les rayons X, et ce malgré son caractère non irradiant.

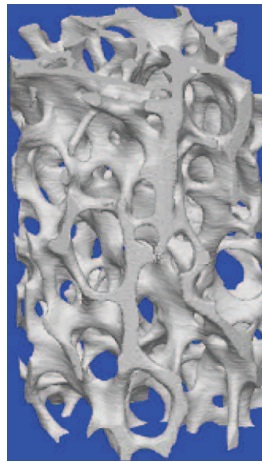


Fig 1 : image obtenue par microscanner sur carotte d'os sous-chondral humain de la tête fémorale (reconstruction de 400 coupes). *D'après Lespessailles et al "Imaging techniques for evaluating bone microarchitecture" Joint Bone Spine 2006; 73: 435-43*



### 3- Outils de caractérisation de la micro-architecture osseuse

Une fois les images acquises selon les techniques décrites précédemment, on dispose de différents outils d'analyse [4].

#### a) Analyse morphologique

Cette technique évalue la taille et l'espacement des travées, ainsi que la porosité de la structure. Le principal paramètre étudié est la fraction volumique de l'os (BV/TV), calculé par la méthode du MIL (Mean Intercept Length), permettant de quantifier les travées en rapportant le nombre d'intersections entre des lignes test et les interfaces os trabéculaire-moelle à la longueur de lignes test parallèles. Cette technique nécessite un seuillage de l'image effectué à partir d'un histogramme de niveaux de gris ou d'une calibration interne, étape critique dans ce type d'analyse.

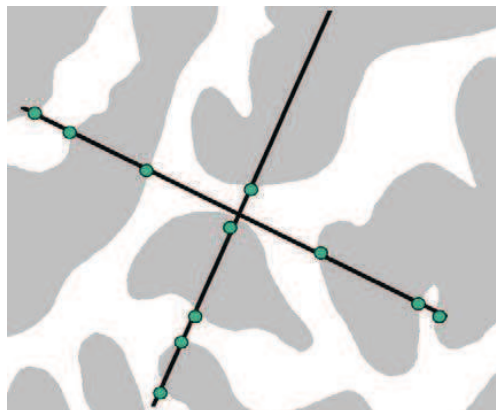


Fig.2 : Mesure des paramètres de Parfitt par la méthode du Mean Intercept length (MIL).  
*D'après Lespessailles et al "Imaging techniques for evaluating bone microarchitecture" Joint Bone Spine 2006; 73: 435-43*

## b) Analyse topologique

La caractérisation topologique est relative au dénombrement des amas de travées et des espaces médullaires ainsi qu'à l'interconnexion de ces amas. Après simplification de la structure osseuse (squelettisation) représentant l'ossature de départ, il est possible d'identifier le nombre de nœuds (correspondant aux anastomoses au sein du réseau osseux), d'extrémités libres (reflétant les travées osseuses déconnectées du reste du réseau), de distances (nœud à nœud, nœud à extrémité libre, extrémité libre à extrémité libre), reflétant la connectivité ou la discontinuité du réseau trabéculaire. Différents paramètres sont alors calculés, tels que le Star Volume, le Trabecular Bone Pattern Factor ou plus récemment, le Ridge Number Density.

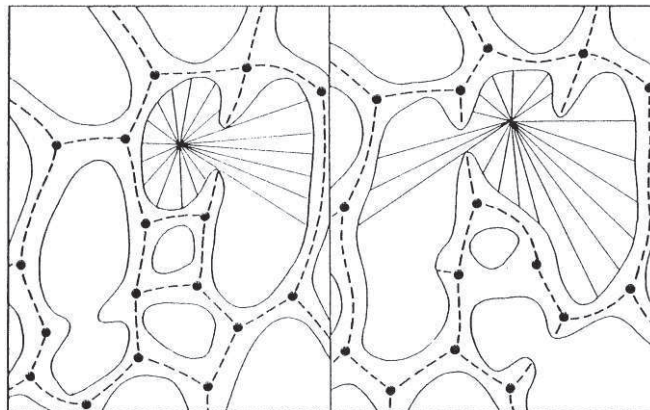


Fig. 3 : Détermination du Star Volume : la moins bonne connexion du réseau trabéculaire sur la partie droite de la figure est responsable d'une augmentation du Star Volume.  
*D'après Cortet B et al. "Bone microarchitecture and mechanical resistance". Joint Bone Spine 2001; 68: 297-305.*

### **c) Analyse de texture**

Les images texturées, qu'elles soient issues de coupes IRM, TDM ou de radiographies osseuses, peuvent se prêter à différentes techniques d'analyse de structure rendant compte de la microarchitecture osseuse de façon indirecte. Différentes techniques d'analyse sont utilisées :

- l'analyse structurelle de texture, reposant sur la caractérisation topologique de la projection du réseau trabéculaire, technique déjà décrite plus haut. Ces paramètres sont identiques à ceux appréhendés en histomorphométrie.
- L'analyse statistique, permettant à l'aide de matrices de co-occurrence ou de longueurs de plages, de décrire les caractéristiques différentielles de variation locales de niveaux de gris.
- L'analyse fractale, qui est une mesure non euclidienne évaluant la complexité et la rugosité de la texture en définissant un paramètre dit de dimension fractale (D) et pouvant être calculé par différentes méthodes à choisir selon le caractère binaire ou non de l'image à analyser (méthode des boîtes, maximum de vraisemblance à partir du mouvement brownien fractionnaire, variance selon Pentland, méthode de Fourier, ces dernières étant employées pour évaluer la texture de l'imagerie en projection). Le modèle fractal est basé sur un haut degré de complexité, avec répétition d'une unité de base, restant la même quel que soit le niveau d'étude. Le paramètre d'étude principal est H (Hurst), défini comme  $H = 2 - D$ . Plusieurs mesures de H effectuées dans des directions différentes permettent d'obtenir une valeur moyenne de H,  $H_{mean}$ . Plus  $H_{mean}$  est élevé, moins la structure est rugueuse, ceci traduisant un statut trabéculaire

meilleur. Les autres paramètres étudiés sont le paramètre RLE (Run Length Encoding) représentant un ensemble de pixels consécutifs ayant un même niveau de gris dans une direction donnée, et le paramètre de co-occurrence (coocc), matrice de calculs représentant un ensemble de valeurs possibles pour un couple ligne/colonne donné. La co-occurrence varie dans le même sens que H mean, tandis que le paramètre brut RLE varie dans le sens inverse. Cependant, pour des raisons pratiques, l'appareil d'analyse, type BMA™, calcule directement son opposé, faisant donc que ce paramètre varie également dans le même sens que les deux autres. Ces indicateurs d'analyse fractale peuvent être utilisés sur des coupes histologiques, ou des images obtenues par radiographies directement digitalisées (BMA™), scanner ou IRM.



Fig. 4 : Exemple de structure fractale : le cristal de neige est une structure auto-similaire, possédant la même structure, quelle que soit l'échelle d'agrandissement utilisée pour l'étudier.

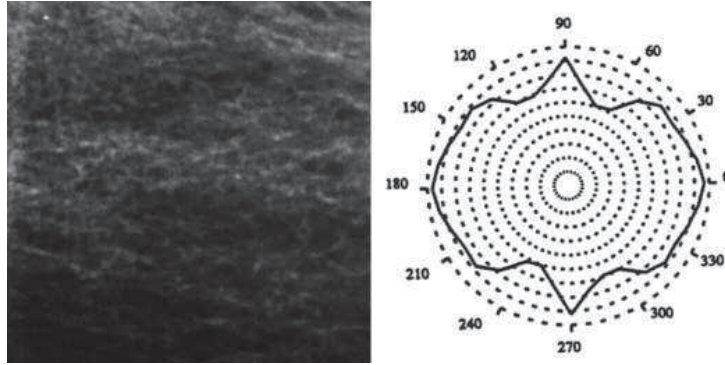


Fig. 5 : Radiographie de radius et diagramme polaire correspondant représentant la variation du paramètre H en fonction de l'angle d'analyse. D'après Souplet et al. "Analyse de textures osseuses".*Réflexions rhumatologiques* 2011;15: 7-9

L'analyse fractale est une méthode fiable et reproductible comme en témoignent diverses études : en 2007, une équipe [12] s'est intéressée à l'évaluation de la micro-architecture osseuse au calcaneum, le même jour avec repositionnement et une semaine après, chez des patients sains. La conclusion de cette étude était que cette méthode d'évaluation était reproductible, le coefficient de variation allant de 1.16% à 1.26%. Dans une autre étude datant de 2010 [13], on retrouvait des coefficients de variation faibles à différents sites pour le paramètre H mean, mesuré à plusieurs reprises chez 14 volontaires sains ; celui-ci était mesuré à trois reprises, au calcaneum, au radius et au tibia et était respectivement de 1.2%, 2.1% et 4.7%.

- L'analyse de l'anisotropie, basée sur la structure même de l'os, dont l'orientation des travées se fait en fonction des forces qui lui sont soumises. La mesure du nombre d'interfaces dans les trois directions de l'espace permet de reconstituer une ellipse dans un espace à deux dimensions. Le rapport entre l'axe le plus long et le plus court de cette ellipse constitue le degré d'anisotropie.

Cette revue des différentes techniques d'évaluation de la microarchitecture osseuse met en évidence un certain nombre d'informations qui ne sont pas données par la densitométrie osseuse à rayons X. L'étude du statut microarchitectural pourrait permettre de définir plus finement le risque de fracture. Notre étude a pour but d'évaluer l'intérêt de cette évaluation systématique en complément de l'ostéodensitométrie.

## **III] ETUDE**

## ***A) Matériel et méthodes***

Il s'agit d'une étude monocentrique prospective, observationnelle, non randomisée. 90 patients (69 femmes, 21 hommes) ont été initialement recrutés entre novembre 2011 et avril 2012, dans les services de soins de suite et de réadaptation et de rhumatologie du CHU de Rouen, site de Bois-Guillaume. Treize patients ont été exclus en raison de données manquantes, portant l'effectif total à 77 patients.

Tous les patients ont bénéficié dans le cadre du bilan d'ostéoporose d'un questionnaire portant entre autres sur les facteurs de risque d'ostéoporose ( annexe 1), d'une évaluation des apports calciques quotidiens à l'aide du questionnaire de Fardellone, d'un dosage plasmatique de la 25OH vitamine D3 et d'une ostéodensitométrie sur trois sites ( rachis lombaire, poignet et col fémoral) sur appareil Hologic Discovery, couplée à l'évaluation de la micro-architecture osseuse par la technique BMA™ (D3A Médical System) sur deux sites ( poignet et col fémoral). Il n'a été réalisé qu'une mesure de chaque paramètre par patient. Les résultats de densitométrie osseuse ont été comparés aux résultats moyens de densité minérale osseuse d'une population française de référence, fournie par le constructeur.

Concernant le positionnement des patients sur l'appareil de BMA™ (D3A Médical System), il a été effectué comme suit :

- Pour l'étude du radius distal, la main était positionnée à plat sur le capteur, doigts légèrement écartés, poignet et bras sur le positionneur, coude fléchi à 90°. L'étude se faisait sur le poignet gauche, sauf en cas d'antécédent ou de fracture récente sur celui-ci. Le faisceau était centré sur l'interligne radio-carpien (image 1). Les repères étaient



placés manuellement de part et d'autre du milieu de l'articulation du radius, avec une région d'intérêt de 256X180 pixels, définie afin de correspondre avec celle de l'Xtreme CT de Scanco Medical pour étudier la mesure de la relation entre microarchitecture 2D (BMA™) et 3D (tomodensitométrie périphérique tridimensionnelle haute résolution).

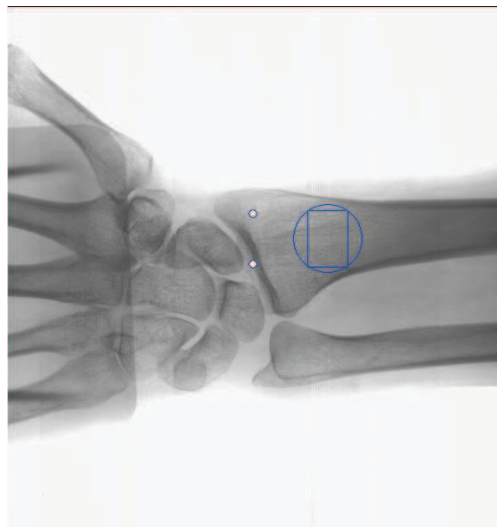


Image 1 : Repères anatomiques et région d'intérêt pour l'étude du radius distal avec BMA™

- Pour l'étude du fémur proximal, le patient était positionné en décubitus dorsal, bassin de face avec pied en rotation interne, à l'aide du positionneur DEXA. L'étude se faisait sur la hanche gauche, sauf en cas d'antécédent ou de fracture récente ou de matériel prothétique sur celle-ci. Le faisceau était centré quatre doigts en dessous de l'épine iliaque antéro-inférieure. Les repères étaient placés manuellement, sur la partie supérieure du petit trochanter et la partie supérieure et médiale du grand trochanter ; la taille de la région d'intérêt est de 256X256 pixels (image 2).

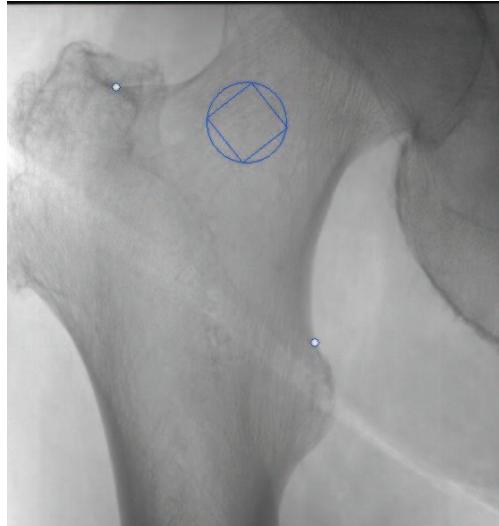


Image 2 : Repères anatomiques et région d'intérêt pour l'étude du col fémoral avec BMA™

Les images issues de cet appareil, possédant un capteur rayons X numérique haute résolution (8 pixels/mm), sont directement digitalisées, ce qui permet un gain de précision. Une fois les images acquises par le logiciel, la quantification de la microarchitecture de l'os trabéculaire se fait par analyse fractale de texture avec technique de contrôle d'acquisition.

Concernant la fiabilité des mesures, un contrôle avec fantôme était réalisé quotidiennement sur l'appareil d'ostéodensitométrie et trois fois par semaine sur l'appareil BMA™ (D3A Medical System), conformément aux recommandations du constructeur.

La dose efficace d'irradiation reçue par le patient, grandeur dosimétrique représentative du risque radiologique lié aux examens utilisant des rayonnements ionisants, est de 2.7  $\mu$ SV pour le poignet de face et de 0.79 mSV pour le col fémoral. La dose reçue lors de la densitométrie osseuse est de 10  $\mu$ SV en moyenne. En comparaison, l'irradiation reçue lors d'une radiographie thoracique est de l'ordre de 100  $\mu$ SV.

Les logiciels utilisés pour réaliser l'analyse statistique sont NCSS version 2007 et Start Xact Cytel. Les tests employés pour rechercher une corrélation entre les paramètres

densitométriques et microarchitecturaux sont le test de corrélation de Spearman et le test exact de Fisher pour l'analyse en sous-groupe (tertiles). Nous avons considéré comme significative une valeur de  $p < 0.05$ .

## ***B) Résultats***

L'analyse porte sur 77 patients (58 femmes, 19 hommes) ayant un âge médian de 81 ans et présentant une fracture d'allure ostéoporotique. Les critères d'inclusion étaient une fracture à basse cinétique, hors fracture du crâne, de la face ou des phalanges et un âge entre 50 et 85 ans. Les patients présentant un antécédent de cancer ou d'hémopathie ainsi que des troubles cognitifs sévères pouvant rendre la réalisation des examens complémentaires ou l'observance thérapeutique difficiles, étaient exclus.

47 patients sur 77 avaient au moins un facteur de risque d'ostéoporose, correspondant à au moins une réponse positive aux questions de la fiche de synthèse présentée en annexe 1. L'ensemble des caractéristiques de la population est rapporté dans le tableau 1 ; le détail des fractures est exposé dans le tableau 4.

Les différentes valeurs des paramètres densitométriques au rachis lombaire, au col fémoral et à l'avant-bras sont présentées dans le tableau 2 ; les valeurs de paramètres microarchitecturaux au col fémoral et à l'avant-bras sont exposées dans le tableau 3.

Tableau 1 : caractéristiques de la population étudiée ; médianes et extrêmes

N		77 (19 H, 58 F)
Age (années)		81 [50 ; 85]
Poids (kgs)		66 [40 ; 101]
Taille (cms)		158 [138 ; 177]
BMI		25 [15,6 ; 39]
Apports calciques quotidiens (mg)		848 [316 ; 2500]
25 OH vitamine D plasmatique (ng/mL)		30 [10 ; 123]
Antécédent fracturaire	Personnel	32*
	Familial	6*
Corticothérapie		9*
Intoxication alcoolique		6*
Tabagisme actif		4*
Ménopause précoce		8*
Polyarthrite rhumatoïde		4*
Traitement anti-ostéoporotique		12*
FRAX fracture majeure (%)		18 [4.2; 59]
FRAX fracture de hanche (%)		6.9 [0.2; 49]

\* valeur absolue

Tableau 2 : Valeurs de T-score et de la densité minérale osseuse (DMO) aux différents sites mesurés ; médianes et extrêmes

	T-score (DS)	DMO (g/cm <sup>2</sup> )
Col fémoral	-3 [-6 ; 0.2]	0.6 [0.3 ; 0.9]
Avant-bras	-3 [-5.9 ; 2.2]	0.46 [0.33 ; 0.77]
Rachis lombaire	-1.3 [-4.5 ; 4.5]	NC

DS= déviations standards ; NC : non calculé.

Tableau 3: valeurs des paramètres de microarchitecture mesurés au col fémoral (CF) et à l'avant-bras (AB) ; médianes et extrêmes.

	Valeurs
H mean CF	0.15 [0.11 ; 0.32]
RLE CF	1.38 [1.34 ; 1.49]
Co-oc CF	1.67 [1.64 ; 1.8]
H mean AB	0.40 [0.21 ; 0.5]
RLE AB	1.35 [1.16 ; 1.44]
Co-oc AB	1.68 [1.61 ; 1.75]

Tableau 4 : Sites fracturaires recensés et nombres de patients concernés ; N=77

Col fémoral	18
Trochanter	13
Vertèbre	22
Humérus	6
Bassin/cotyle/sacrum	5
Malléole	5
Poignet	2
Fémur	1
Fibula	1
Rotule	1
Humérus + col	1
Poignet + col	1
Poignet + bassin	1

## 1) Corrélation entre les paramètres densitométriques et microarchitecturaux au col fémoral

Les coefficients de corrélation entre le T-score au col fémoral et les trois paramètres de microarchitecture sont négatifs et compris entre  $-0,22$  et  $-0,26$  (tableau 5), avec une valeur de  $p$  inférieure à  $0,05$  pour le lien avec H mean et co-occurrence.

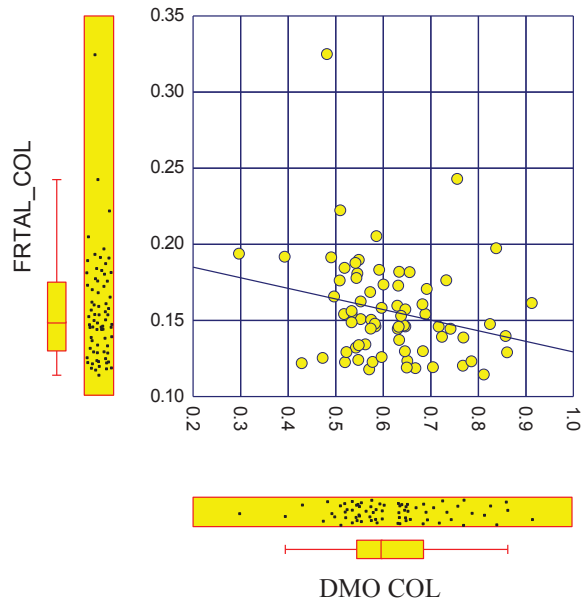
De la même manière, la valeur du coefficient de corrélation entre densité minérale osseuse et paramètres microarchitecturaux H mean et co-occurrence est négative, avec une valeur de  $p$  inférieure à  $0,05$  (tableau 5 ; figure 6a, 6b, 6c).

Tableau 5 : Valeur du coefficient de corrélation entre T-score, densité minérale osseuse (DMO) et paramètres de microarchitecture au col fémoral (CF).

	H mean CF	Co-occurrence CF	RLE CF
T-score CF	-0,25*	-0,25*	-0,22 (NS)
DMO CF	-0,26*	-0,26*	-0,22 (NS)

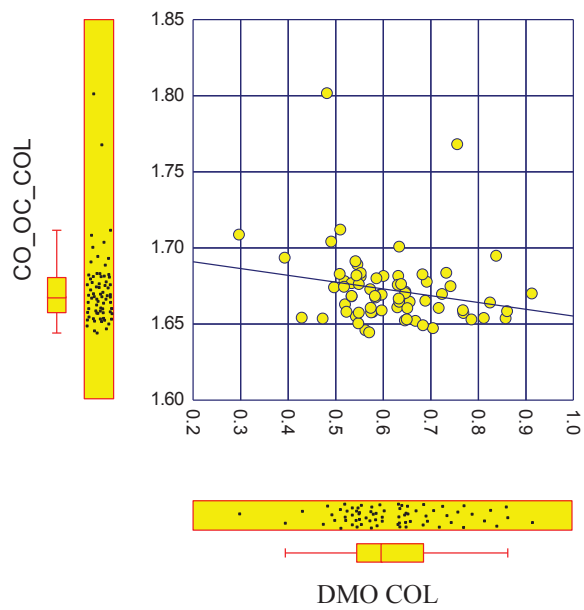
T-score en exprimé en déviations standards ; DMO exprimée en  $g/cm^2$

\*  $p < 0,05$  ; NS= non significatif



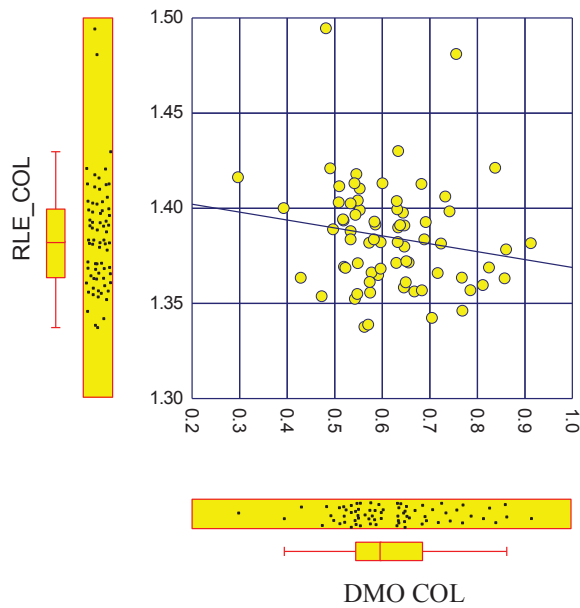
$r = -0.26 ; p < 0.05$

Figure 6a : corrélation entre densité minérale osseuse (DMO) et H mean (Fractal) au col fémoral.



$r = -0.26 ; p < 0.05$

Figure 6b : corrélation entre densité minérale osseuse (DMO) et co-occurrence au col fémoral



$r = -0.22$  ; NS (non significatif)

Figure 6c : corrélation entre RLE et densité minérale osseuse (DMO) au col fémoral

L'analyse en sous-groupe (tertiles), à l'aide du test de Fischer n'a permis de mettre en évidence qu'un lien significatif entre H mean et la densité osseuse, avec de nouveau une corrélation inverse entre ces deux paramètres.

## 2)Corrélation entre les paramètres densitométriques au col fémoral et les paramètres microarchitecturaux à l'avant-bras

Les valeurs du coefficient de corrélation entre paramètres densitométriques au col fémoral et paramètres microarchitecturaux à l'avant-bras s'échelonnent entre 0,25 et 0,35, avec une valeur de p inférieure à 0,05 (tableau 6).



Tableau 6 : Valeurs du coefficient de corrélation entre T-score et densité minérale osseuse (DMO) au col fémoral (CF) et paramètres microarchitecturaux à l'avant-bras (AB).

	H mean AB	Co-occurrence AB	RLE AB
T-score CF	0,25*	0,35*	0,26*
DMO CF	0,31*	0,37*	0,28*

T-score en déviations standards, DMO en g/cm<sup>2</sup>

\* p< 0.05 ; NS= non significatif

### 3) Corrélation entre les paramètres densitométriques et microarchitecturaux à l'avant-bras

Le coefficient de corrélation entre T-score et paramètres microarchitecturaux est positif, allant de 0,32 à 0,37 (tableau 7), avec une valeur de p inférieure à 0.05.

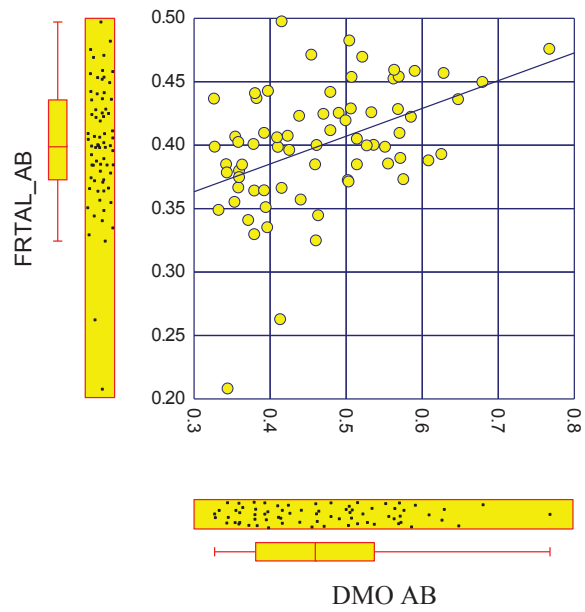
De façon similaire, le coefficient de corrélation entre densité minérale osseuse et paramètres microarchitecturaux est positif, p étant inférieur à 0.05 (tableau 7, figure 7a, 7b, 7c).

Tableau 7 : Valeur du coefficient de corrélation entre T-score, densité minérale osseuse (DMO) et paramètres de microarchitecture à l'avant-bras (AB).

	H mean AB	Co-occurrence AB	RLE AB
T-score AB	0,35*	0,37*	0,32*
DMO AB	0,45*	0,36*	0,28*

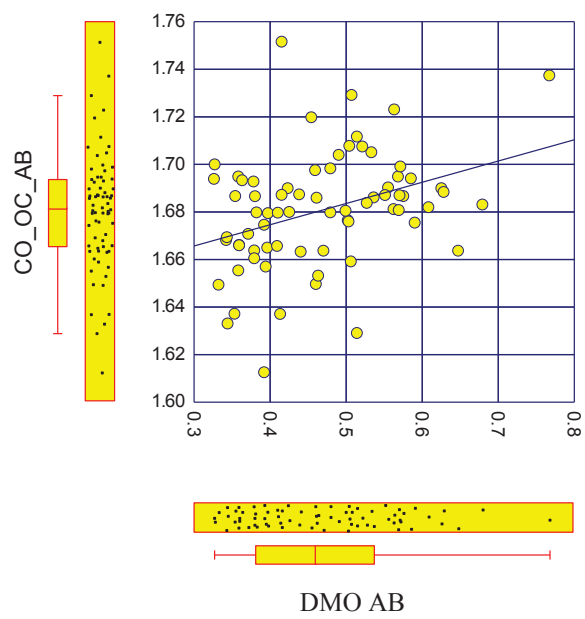
T-score en déviations standards, DMO en g/cm<sup>2</sup>

\* p< 0.05 ; NS= non significatif



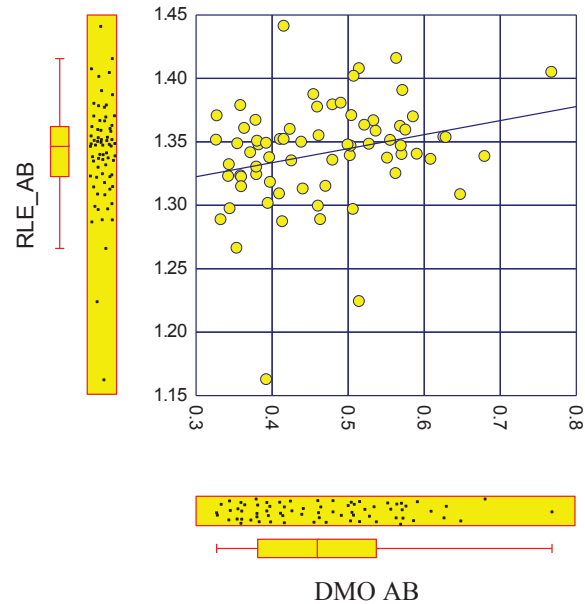
$r = 0.45 ; p < 0.05$

Figure 7a : corrélation entre H mean (Fractal) et densité minérale osseuse (DMO) à l'avant-bras.



$r = 0.36 ; p < 0.05$

Figure 7b : corrélation entre co-occurrence et densité minérale osseuse (DMO) à l'avant-bras.  
(AB)



$r = 0.28$  ;  $p < 0.05$

Figure 7c : corrélation entre RLE et densité osseuse (DMO) à l'avant-bras (AB).

Nous aboutissons au même résultat avec le test exact de Fischer sur l'analyse en sous-groupe par tertiles : on retrouve une corrélation positive et significative entre les paramètres densitométriques et microarchitecturaux.

#### 4) Corrélation entre paramètres densitométriques à l'avant-bras et microarchitecturaux au col fémoral

Les valeurs du coefficient de corrélation varient de  $-0,25$  à  $-0,19$ , la valeur de  $p$  étant inférieure à  $0.05$  uniquement avec le paramètre fractal (tableau 8).

Nous n'avons pas retrouvé de corrélation significative entre la densité osseuse à l'avant-bras et les paramètres microarchitecturaux au col fémoral (tableau 8).

Tableau 8 : Valeur du coefficient de corrélation entre T-score et densité minérale osseuse (DMO) à l'avant-bras (AB) et paramètres de microarchitecture au col fémoral (CF).

	H mean CF	Co-occurrence CF	RLE CF
T-score AB	-0,25*	-0,23(NS)	-0,19 (NS)
DMO AB	-0,21(NS)	-0,16(NS)	-0,11(NS)

T-score en déviations standards, DMO en g/cm<sup>2</sup>

\* p<0.05 ; NS = non significatif

### 5) Corrélations entre paramètres densitométriques au rachis lombaire et microarchitecturaux au col fémoral et à l'avant-bras

Nous n'avons pas mis en évidence de corrélation significative entre les paramètres densitométriques au rachis lombaire et les paramètres microarchitecturaux au col fémoral et à l'avant-bras (tableau 9).

Tableau 9 : Valeur du coefficient de corrélation entre T-score au rachis lombaire (RL) et paramètres de microarchitecture au col fémoral (CF) et à l'avant-bras (AB)

	Hmean CF	Cooc CF	RLE CF	Hmean AB	Cooc AB	RLE AB
T-score RL	-0.16 (NS)	-0.11 (NS)	-0.04 (NS)	0.19 (NS)	0.23 (NS)	0.13 (NS)

T-score en déviations standards ; NS = non significatif

## 6) Corrélation entre paramètres morphologiques, paramètres densitométriques et microarchitecturaux au col fémoral

On retrouve un coefficient de corrélation positif et proche de 0.5, avec une valeur de  $p < 0.05$ , entre paramètres densitométriques au col fémoral et morphologiques (tableau 10). Par contre, ce coefficient est négatif entre paramètres morphologiques et microarchitecturaux au col fémoral.

Tableau 10 : Valeur du coefficient de corrélation entre les paramètres morphologiques, densitométriques et microarchitecturaux au col fémoral.

	DMO	T-score	Hmean	Co-oc	RLE
IMC(kg/m <sup>2</sup> )	0,49*	0,44*	-0,5*	-0,39*	-0,34*
Poids (kgs)	0.52*	0.44*	-0.4*	-0.33*	-0.28*

\*  $p < 0.05$  ; NS = non significatif

## 7) Corrélation entre paramètres morphologiques, paramètres densitométriques et microarchitecturaux à l'avant-bras

La seule corrélation trouvée est entre le T-score et les paramètres morphologiques d'une part (coefficient de corrélation allant de 0.24 à 0.31), et la DMO et le poids d'autre part (coefficient de corrélation à 0.42). Nous n'avons pas retrouvé de corrélation significative entre les paramètres morphologiques et microarchitecturaux.

Tableau 11 : Valeur du coefficient de corrélation entre les paramètres morphologiques, densitométriques et microarchitecturaux à l'avant-bras.

	DMO AB	T-score AB	H mean AB	Co-oc AB	RLE AB
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	0.22 (NS)	0.24*	0.05 (NS)	0.18 (NS)	0.11 (NS)
Poids (kgs)	0.42*	0.31*	0.21 (NS)	0.18 (NS)	0.07 (NS)

\* p<0.05 ; NS = non significatif

### 8) Corrélation entre les paramètres microarchitecturaux au col fémoral et à l'avant-bras (tableau 12)

On retrouve un coefficient de corrélation positif et supérieur à 0.5 entre les trois paramètres microarchitecturaux au col fémoral. On retrouve un lien positif et significatif entre les paramètres de microarchitecture à l'avant-bras. Par contre on ne met pas en évidence de lien significatif entre les paramètres microarchitecturaux du col fémoral et de l'avant-bras.

Tableau 12 : Valeur du coefficient de corrélation entre les paramètres microarchitecturaux au col fémoral (CF) et à l'avant-bras (AB).

	Co-oc CF	RLE CF	H mean AB	Co-oc AB	RLE AB
H mean CF	0.88*	0.79*	0.05 (NS)	-0.17 (NS)	-0.13 (NS)
Co-oc CF	/	0.94*	0.01 (NS)	-0.17 (NS)	-0.12 (NS)
RLE CF	0.94*	/	-0.06 (NS)	-0.22 (NS)	-0.16 (NS)
H mean AB	0.01 (NS)	-0.06 (NS)	/	0.6*	0.48*
Co-oc AB	-0.17 (NS)	-0.22 (NS)	0.6*	/	0.94*

\* p<0.05 ; NS = non significatif

## 9) Corrélation entre le score FRAX et les paramètres microarchitecturaux

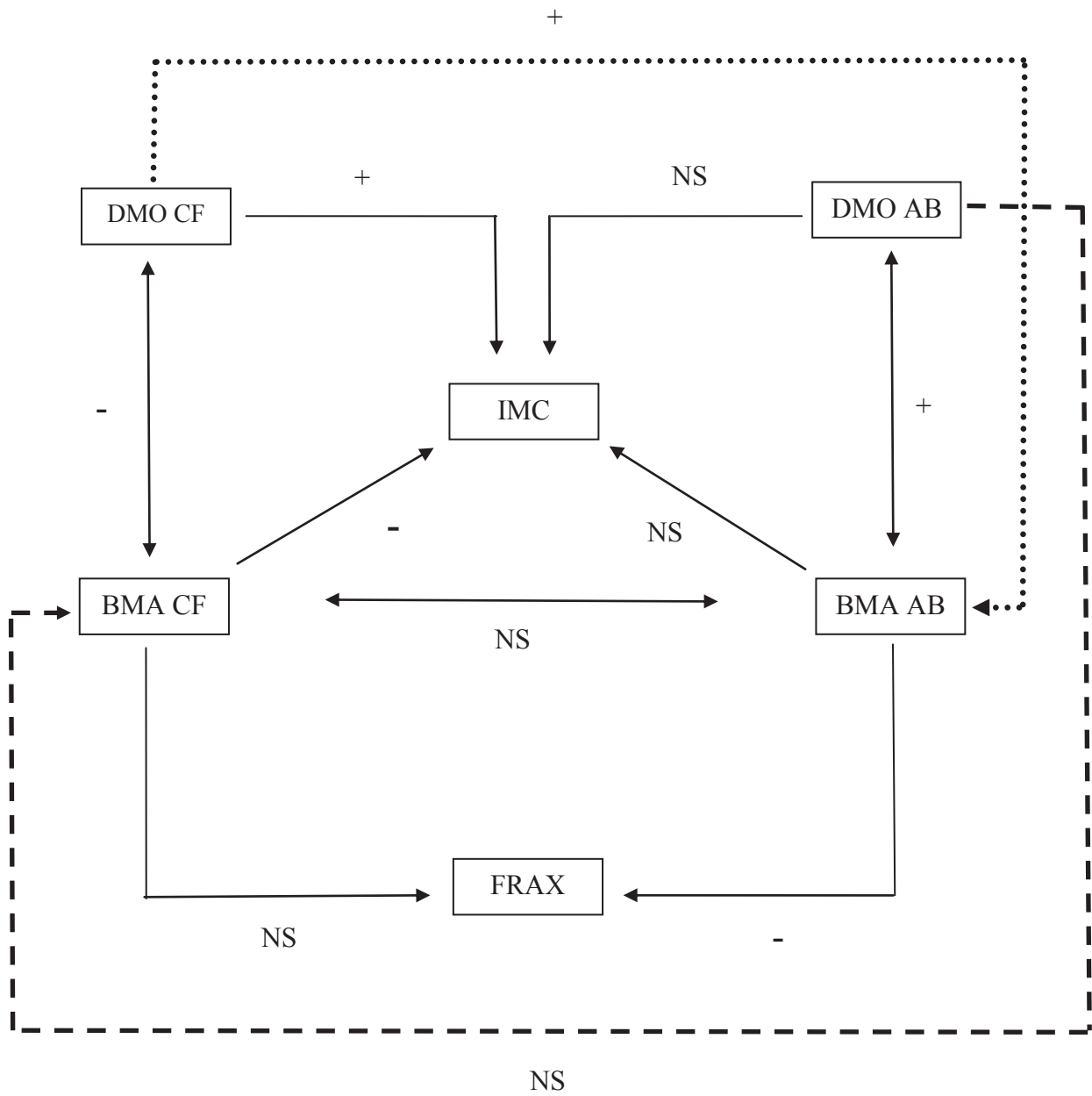
Notre étude met en évidence un lien négatif mais significatif entre les paramètres microarchitecturaux à l'avant-bras et le score FRAX pour les fractures majeures et pour les fractures du col fémoral, avec une valeur du coefficient de corrélation variant entre -0.33 et -0.21. Nous ne mettons pas en évidence de corrélation entre score FRAX et paramètres microarchitecturaux du col fémoral.

Tableau 13 : Valeur du coefficient de corrélation entre le score FRAX pour les fractures majeures (FRAX maj.) et pour les fractures de hanche (FRAX hanche) et les paramètres microarchitecturaux au col fémoral (CF) et à l'avant-bras (AB)

	H mean CF	Co-oc CF	RLE CF	H mean AB	Co-oc AB	RLE AB
FRAX maj (%)	0.131 (NS)	0.07 (NS)	0.07 (NS)	-0.31*	-0.27*	-0.21*
FRAX hanche (%)	0.22 (NS)	0.19 (NS)	0.19 (NS)	-0.29*	-0.33*	-0.25*

\*  $p < 0.05$  ; NS = non significatif

L'ensemble des résultats de l'étude est schématisé sur la figure 8.



+ = corrélation significative positive  
 - = corrélation significative négative  
 NS = pas de corrélation significative

Fig.8 : Schéma récapitulatif des résultats des corrélations calculées dans l'étude.



## **III] DISCUSSION**

Notre étude porte sur une population fracturée que l'on peut considérer comme ayant une ostéoporose sévère, la médiane de la valeur de T-score au col fémoral étant à -3 (tableau 2) et le score FRAX pour les fractures majeures à 18% (tableau 1).

Rappelons les corrélations mises en évidence dans cette étude :

- Corrélation significative, faible et négative entre paramètres densitométriques et microarchitecturaux (H mean et co-occurrence) au col fémoral, retrouvée uniquement entre H mean et densité minérale osseuse lors de l'analyse en sous-groupes.
- Corrélation significative, faible et positive entre paramètres densitométriques et microarchitecturaux à l'avant-bras, retrouvée également sur l'analyse en sous-groupes. La corrélation entre H mean et DMO est la plus forte, le coefficient s'approchant de 0.5.
- Corrélation significative, faible et positive entre paramètres densitométriques au col fémoral et microarchitecturaux à l'avant-bras.
- Corrélation significative, faible et négative entre H mean au col fémoral et T-score à l'avant-bras ; pas de corrélation significative mise en évidence avec les autres paramètres de microarchitecture osseuse ou avec la densité minérale osseuse.
- Absence de corrélation mise en évidence entre paramètres densitométriques au rachis lombaire et microarchitecturaux aux deux sites de mesure.
- Corrélation significative et négative entre paramètres microarchitecturaux au col fémoral et paramètres morphologiques, forte entre H mean et IMC. Corrélation significative et positive entre paramètres densitométriques au col fémoral et paramètres morphologiques, plus forte avec la densité minérale osseuse qu'avec le T-score.

- Pas de corrélation mise en évidence entre paramètres microarchitecturaux à l'avant-bras et paramètres morphologiques. Corrélation significative, faible et positive entre T-score à l'avant-bras et poids et IMC.
- Corrélation significative, forte et positive entre paramètres microarchitecturaux sur un même site ; absence de corrélation mise en évidence entre paramètres microarchitecturaux des deux sites.
- Corrélation significative, faible et négative entre paramètres microarchitecturaux de l'avant-bras et score FRAX ; pas de corrélation retrouvée entre paramètres microarchitecturaux du col fémoral et score FRAX.

La corrélation négative mise en évidence entre les paramètres densitométriques et microarchitecturaux au col fémoral est étonnante : l'augmentation de la valeur des paramètres de microarchitecture, traduisant un meilleur statut trabéculaire, s'accompagne d'une diminution des paramètres densitométriques, donc d'un moins bon statut densitométrique. On aurait pu s'attendre, comme dans d'autres études, à voir varier les deux types de paramètres dans le même sens. C'est le cas dans une étude datant de 1998 [14] portant sur 43 calcanéums obtenus post-mortem et retrouvant une corrélation positive entre paramètres fractaux (mesurés sur radiographies standards) et densitométriques. En 2002, Lespessailles [15] et al avaient employé l'analyse fractale sur des radiographies standards effectuées sur le calcanéum de 537 patientes non fracturées, associée à la mesure de la densité minérale osseuse à la hanche et au rachis lombaire et avaient trouvé également une corrélation faible et positive entre paramètres densitométriques et H mean au col fémoral. L'étude de Lin [16] aboutissait à la même conclusion à partir de l'analyse fractale de radiographies standards réalisées sur 51 fémurs et de la densité minérale osseuse obtenue par microscanner aux mêmes sites; il est à noter que cette corrélation était le plus souvent positive, mais que sur une région d'intérêt bien précise,

elle s'est avérée négative, avec une valeur de  $r$  comparable à celle retrouvée dans notre étude. Des études *ex vivo* ont également retrouvé une corrélation positive entre paramètres densitométriques et microarchitecturaux, comme l'étude de Le Coroller et al [17] menée sur 21 fémurs avec analyse fractale par appareil BMA™ (D3A Medical Systems) ou celle de Kolta et al [18], basée aussi sur l'analyse fractale obtenue par BMA™.

Certaines études ne mettent pas en évidence de corrélation comme celles de Lespessailles et al. [7] en 2008 portant sur 93 patientes ménopausées fracturées appariées à 93 témoins ayant eu une densitométrie osseuse au col fémoral, à l'extrémité supérieure du fémur et au rachis lombaire ainsi qu'une étude de la microarchitecture au calcaneum par BMA™. La même équipe avait déjà évalué la microarchitecture osseuse par analyse fractale au calcaneum et était parvenue à la même conclusion [12], en comparant les paramètres de texture aux paramètres densitométriques au col fémoral ou l'étude de Vokes [19] où il n'a pas été mis en évidence de corrélation entre les deux types de paramètres.

Nous n'expliquons pas totalement cette corrélation négative, mais il est possible qu'elle nous aide à comprendre la survenue des fractures chez des personnes en surpoids ou obèses, ayant théoriquement de meilleurs paramètres densitométriques [20] : l'augmentation des contraintes mécaniques liées au poids pourrait améliorer le statut cortical et expliquer un meilleur statut densitométrique ( l'ostéodensitométrie mesurant à la fois le secteur cortical et trabéculaire) , mais il pourrait exister de manière indépendante une moins bonne microarchitecture osseuse, mise en évidence par des paramètres fractaux plus bas. Ceci vient renforcer l'intérêt de réaliser ces deux examens complémentaires pour une évaluation complète du statut osseux au col fémoral. Nous reviendrons sur cette notion un peu plus loin.

La mise en évidence d'une corrélation positive entre paramètres densitométriques et microarchitecturaux à l'avant-bras paraît « plus logique » et nous permet de penser qu'il n'y a pas d'informations supplémentaires apportées par la mesure fractale de la microarchitecture à

l'avant-bras. On obtiendrait le même type d'informations à ce site de mesure ; cependant, dans la mesure où les fractures de l'avant-bras sont le plus souvent des fractures trabéculaires, il est pertinent d'avoir une évaluation du statut microarchitectural en complément de l'ostéodensitométrie qui évalue à la fois le secteur cortical et trabéculaire. On retrouve peu d'études portant sur la microarchitecture osseuse à l'avant-bras : citons simplement une étude datant de 2005 [21] n'ayant pas retrouvé de corrélation entre paramètres densitométriques et microarchitecturaux (obtenus par microIRM) à l'avant-bras.

De la même façon, le coefficient de corrélation positif entre paramètres densitométriques au col fémoral et microarchitecturaux à l'avant-bras ne nous permet pas de conclure à l'apport d'informations supplémentaires sur le statut densitométrique au col fémoral sur la base des résultats fractaux à l'avant-bras. Nous retrouvons un travail datant de 2000 [22], concluant à une corrélation négative entre paramètres fractaux mesurés sur radiographies du radius distal et paramètres densitométriques à la hanche, effectué chez des patients fracturés et non fracturés à la hanche, avec une différence significative entre les deux groupes.

A l'inverse, nous ne retrouvons pas de corrélation significative entre paramètres densitométriques à l'avant-bras et microarchitecturaux au col fémoral, ce qui nous permet de supposer que l'évaluation fractale de la microarchitecture fémorale apporterait des informations supplémentaires quant au statut densitométrique à l'avant-bras.

Nous n'avons pas mis en évidence de corrélation significative entre paramètres densitométriques au rachis lombaire et les paramètres fractaux au col fémoral et à l'avant-bras. Toutefois, ces résultats sont à prendre avec précaution dans la mesure où l'étude densitométrique du rachis lombaire est souvent artefactée en raison de l'arthrose lombaire et des calcifications vasculaires, surtout chez des patients âgés. Cette absence de corrélation a déjà été retrouvée dans quatre études [7 ; 12 ; 15 ; 19].

Nous mettons en évidence une corrélation positive entre les paramètres densitométriques au col fémoral et les paramètres morphologiques, et négative entre ceux-ci et les paramètres microarchitecturaux au col fémoral. L'augmentation du poids s'accompagne donc de meilleurs paramètres densitométriques au col fémoral mais de moins bons paramètres microarchitecturaux au col fémoral. Ceci rejoint ce que nous avons supposé plus haut : l'altération de l'architecture osseuse pourrait être une clé pour comprendre les fractures chez des personnes obèses ou en surpoids. Ces patients ont habituellement un statut densitométrique meilleur [20] : une étude datant de 2012 [23] s'est intéressée à la relation entre l'IMC et l'existence de fractures sur différents sites. Les auteurs ont recensé le nombre de fractures sur une population de plus de 800000 femmes âgées de 50 ans ou plus, recrutées à l'aide de base de données de l'assurance-maladie et avaient retrouvé une prévalence significativement moins importante de fractures du col fémoral et du bassin dans la population en surpoids (IMC entre 25 et 30) ou obèse (IMC>30), la survenue de ce type de fracture dans ce groupe concernant des patientes plus jeunes que celles présentant les mêmes fractures mais ayant un IMC <25. Par contre, ce groupe de patientes présentait une prévalence significativement plus importante de fracture de l'extrémité proximale de l'humérus, cette fois chez des patientes plus âgées. D'autres sites fracturaires, incluant le poignet, ne différaient pas de manière significative entre les deux groupes. Les auteurs concluaient à un effet « protecteur » de l'obésité pour les fractures du col fémoral ou du bassin, avec un risque moindre de 20 à 40%, l'expliquant entre autres par un capital graisseux protégeant mécaniquement l'os lors d'une chute, en diminuant l'impact. Ces résultats étaient concordants avec ceux d'autres études [24,25]. En tenant compte des résultats de ces études et des nôtres, nous pouvons supposer qu'il existerait un meilleur statut cortical au col fémoral, peut être lié à l'augmentation des contraintes mécaniques, se traduisant par des résultats de densitométrie osseuse peu altérés et une prévalence moindre de fractures du col fémoral, et que la survenue

de fractures au col fémoral ou à d'autres sites, notamment humérales, pourrait être liée à la détérioration de l'architecture osseuse chez des patients obèses ou en surpoids. Dans notre étude, les coefficients de corrélation ne diffèrent pas, que l'on considère le BMI ou le poids, à la différence d'un autre travail [26] ayant mis en évidence un meilleur coefficient de corrélation avec le poids, probablement dû au fait que la variation de la DMO se fait surtout en fonction de la quantité de masse maigre. Rappelons toutefois que dans le cadre de notre étude, il ne s'agit que de suppositions, dans la mesure où l'IMC médian des patients est à 25, donc une population ayant un IMC dans les normes.

Malgré tout, certaines études n'ont pas trouvé cet « effet protecteur » de l'obésité sur le risque fracturaire : un travail datant de 2010 [20] a mis en évidence une prévalence élevée de patients obèses dans le groupe fracturé, comme dans d'autres études [27-28] où était mise en évidence une association entre obésité et fractures de la cheville, du tibia ou des vertèbres. Il s'agissait le plus souvent d'études à effectifs limités ou transversales.

Nous n'avons pas mis en évidence de corrélation significative entre le score FRAX pour les fractures majeures et fractures de hanche et la microarchitecture au col fémoral : celle-ci semble donc apporter une information complémentaire à celles déjà données par le score FRAX, permettant possiblement une meilleure évaluation du risque fracturaire. Ce résultat est d'autant plus intéressant que le score FRAX inclut dans son calcul les paramètres densitométriques au col fémoral. Nous retrouvons par contre une corrélation négative entre microarchitecture osseuse à l'avant-bras et score FRAX, corrélation semblant logique : le risque fracturaire augmente chez des patients présentant une microarchitecture à l'avant-bras altérée. La présence de corrélation entre ces divers paramètres peut éventuellement être expliquée par le fait que les altérations microarchitecturales reflétées par les variations des paramètres de texture osseuse sont peut-être déjà partiellement et indirectement évaluées par la mesure de la densité minérale osseuse à l'avant-bras, structure essentiellement trabéculaire,

mais qu'au col fémoral, on obtient des informations complémentaires en raison d'un statut cortical plus important.

Enfin, nous mettons en évidence une corrélation entre les trois paramètres microarchitecturaux sur un même site de mesure, corrélation retrouvée également dans l'étude de Le Coroller et al. [17] ; par contre, nous ne retrouvons pas de corrélation entre les paramètres microarchitecturaux sur deux sites différents. Nous pouvons donc l'interpréter comme une complémentarité de la mesure sur deux sites différents, celle-ci étant nécessaire pour donner une information complète sur le statut osseux. Ces résultats sont concordants avec ceux de l'étude de Vokes [19].

D'autres études visent à démontrer l'apport de la microarchitecture dans l'évaluation du risque fracturaire ainsi que les capacités discriminantes de la microarchitecture osseuse pour différencier les populations fracturées des non fracturées. Notre étude ne comportant pas de groupe témoin, nous n'avons pu mener d'analyses en ce sens mais citons simplement quelques uns de ces travaux.

En 1998, Pothuau et al [29] ont comparé 39 patientes ménopausées présentant une fracture vertébrale à 39 témoins non fracturés et retrouvé des différences statistiquement significatives de valeurs de H mean (calculées par analyse fractale sur radiographies standards du calcaneum) plus basses dans la population ostéoporotique (moyenne à 0.69 versus 0.74 dans le groupe contrôle), et que la séparation des patientes à l'aide de ce paramètre était plus marquée et plus fiable de manière significative que celle obtenue avec la DMO du col fémoral ou intertrochantérienne seule (aire sous la courbe ROC à 0.82 versus 0,63 pour le col fémoral). Le paramètre fractal permettait ainsi de différencier les patientes fracturées des non



fracturées. Dans cette étude, le seuil de H mean calculé en dessous duquel il n'y avait que des fractures ostéoporotiques était de 0.69. Le meilleur compromis entre sensibilité et spécificité se situait à une valeur de H mean à 0.725. Les auteurs rappellent que d'autres équipes se sont intéressées au pouvoir discriminant de la microarchitecture à d'autres sites de mesure, notamment au rachis lombaire comme Buckland-Wright et al. [30] et Caligiuri et al. [31], où l'on retrouvait une meilleure caractérisation des populations fracturées et non fracturées à l'aide des paramètres de microarchitecture ; des études ont été également menées au radius, comme celle de Khosrovi et al [32], où, encore une fois, on retrouvait un meilleur pouvoir discriminant des paramètres de microarchitecture osseuse. Ces différents travaux mettaient également en évidence un lien avec les propriétés biomécaniques de l'os, comme nous allons le décrire plus loin.

En 2001, Benhamou et al avaient réalisé une étude monocentrique contrôlée portant sur 107 patientes ménopausées fracturées versus 197 patientes ménopausées non fracturées [33]. L'analyse fractale était réalisée sur des radiographies conventionnelles du calcaneum et la densité minérale osseuse était mesurée par ostéodensitométrie à la hanche et au rachis lombaire. H mean était significativement plus bas dans le groupe fracturé, et ce même après ajustement de la DMO lombaire et de la DMO à la hanche ; cette différence était observée dans le groupe présentant une fracture vertébrale ou de hanche, mais pas chez les patients porteurs d'une fracture du poignet. L'odd ratio pour le risque de fracture était calculé à 1.6 en cas de H mean bas, et la combinaison à une DMO basse à la hanche et au rachis lombaire le faisait passer respectivement de 5.6 à 8.1 et de 6.1 à 9. Les auteurs concluaient donc à une discrimination rendue possible de la population fracturée sur la base des données microarchitecturales, celles-ci restant indépendantes et complémentaires des données densitométriques.

En 2006, Vokes et al. [19] retrouvaient des résultats similaires en comparant des valeurs obtenues chez 170 patientes ménopausées, dont 42 avaient une fracture vertébrale, diagnostiquées par VFA (Vertebral Fracture Assessment). Les mesures densitométriques étaient réalisées au rachis lombaire, au col fémoral et au calcaneum, tandis que les mesures fractales étaient faites sur des images réalisées au calcaneum et obtenues sur un densitomètre périphérique, constituant alors la première étude de ce type. Les résultats mettaient en évidence un bon pouvoir discriminant de l'analyse de texture pour différencier les populations fracturées et non fracturées, parfois meilleur que celui de la densité minérale osseuse, notamment au col fémoral.

En 2007, Sornay-Rendu et al. analysaient les patientes issues de la cohorte OFELY (cohorte prospective visant à évaluer les déterminants de la perte osseuse) [8]: 101 patientes fracturées étaient comparées à un groupe contrôle non fracturé, avec mesure de la DMO à la hanche et au radius et mesure de la microarchitecture osseuse établie par micro-scanner périphérique au radius et au tibia. Les paramètres microarchitecturaux étaient significativement plus bas dans le groupe de patientes fracturées, différence persistant après ajustement pour la DMO et allant de pair avec une augmentation du risque fracturaire. Les auteurs supposaient que cet apport de l'évaluation microarchitecturale se faisait surtout en raison de l'absence de différenciation du secteur trabéculaire et cortical par l'ostéodensitométrie qui ne permet pas non plus de mesure volumique de la densité minérale osseuse.

Dans l'étude multicentrique cas-témoins menée par Lespessailles et al. [7] portant sur 93 patientes ménopausées fracturées (poignet, col fémoral, vertèbre) et 93 témoins, appariés par âge et poids (influence possible sur la graisse médullaire, facteur confondant), une densitométrie osseuse au col fémoral, à l'extrémité supérieure du fémur et au rachis lombaire ainsi qu'une étude de la microarchitecture au calcaneum était effectuée par BMA™, technique développée par cette équipe. Après avoir rappelé que 12% à 43% des fractures non

vertébrales étaient constatées chez des patients ostéopéniques ou ayant une DMO normale (étude de Rotterdam, [34]), l'analyse statistique a retrouvé une baisse significative des trois paramètres fractaux dans la population fracturée, et ce, même après ajustement pour l'âge et la DMO au col fémoral. La prise en compte de ces paramètres permettait donc de séparer les patients fracturés des témoins, même après ajustement des paramètres densitométriques. Dans la population contrôle, les paramètres de texture étaient inversement associés à l'ancienneté de la ménopause et à l'âge. La prise en compte des deux types de paramètres améliorait l'odds-ratio (OR) du risque fracturaire ; l'existence d'un H mean bas associé à une valeur de T-score lombaire  $< -2.5$  DS faisait passer l'OR de 3.79 à 7.23. Ainsi, les auteurs concluaient à l'indépendance et la complémentarité des paramètres de densitométrie osseuse et des paramètres fractaux, dans l'évaluation de la fragilité osseuse.

Des études ex vivo ont également été menées dans ce sens. Le Coroller et al [17] ont mesuré les paramètres densitométriques et fractaux sur 21 fémurs prélevés post-mortem et ont réalisé des tests de compression osseuse. Il en ressort, après deux mesures sur chaque appareil afin de tester la reproductibilité, que les paramètres de texture, mesurés sur appareil BMA™ (D3A Medical Systems), et la DMO aux mêmes sites sont corrélés significativement et que l'utilisation conjointe des deux méthodes est plus performante pour appréhender le risque fracturaire, le coefficient de corrélation ajusté  $r^2$  passant de 0.74 à 0.82.

Une autre étude [18], datant également de 2012, menée par Kolta et al, s'est intéressée aux paramètres densitométriques et fractaux obtenus par BMA™ (D3A Medical Systems), sur 12 fémurs prélevés sur cadavres, soumis ensuite à des tests de charge jusqu'à survenue d'une fissure ou d'une fracture. L'analyse univariée ne retrouvait qu'une corrélation significative entre paramètres densitométriques et tests de charge. Après analyse multivariée des résultats, le coefficient  $r^2$  passait de 0.67 à 0.84, indiquant une meilleure évaluation du risque fracturaire en tenant compte des paramètres de microarchitecture. Les auteurs rappellent les

résultats concordants de l'étude de Lespessailles [14], menée au calcaneum : il est supposé que le fait d'effectuer les mesures à différents sites permettrait de gagner en information, simplement en augmentant le nombre de sites examinés.

Dans l'optique de déterminer le rôle de la microarchitecture osseuse dans le risque fracturaire, des travaux ont été menés afin de déterminer les relations entre propriétés biomécaniques et paramètres densitométriques et microarchitecturaux.

Un travail datant de 1997 [35] avait trouvé des corrélations significatives entre paramètres densitométriques et microarchitecturaux (obtenus par microscanner) mesurés sur 11 rachis dorso-lombaires récupérés sur cadavres, et résultats biomécaniques obtenus après tests de compression osseuse ; la prise en compte des deux types de paramètres améliorerait la corrélation avec ceux-ci. Ces résultats sont concordants avec ceux de l'étude in vitro de Hansen réalisée sur 31 fémurs [36].

Dans l'étude de Lespessailles et al [14], les liens entre propriétés biomécaniques, densité minérale osseuse mesurée par DEXA et analyse fractale de la microarchitecture osseuse effectuée sur radiographies standards de 43 calcaneums obtenus post-mortem étaient étudiés. Les auteurs avaient alors fait le choix de ce site pour sa facilité d'accès, après avoir considéré qu'il s'agissait d'un site assez étudié en termes de densité osseuse pouvant refléter le risque fracturaire. Les résultats mettaient en évidence une corrélation entre paramètres fractaux, densitométriques et propriétés mécaniques, ces deux derniers étant plus fortement corrélés entre eux.  $H_{mean}$  diminuait significativement avec l'âge. Dans cette étude, d'autres résultats étaient rappelés, mettant en évidence une diminution de  $H_{mean}$  chez des patients ostéoporotiques [37], reflétant une augmentation du degré de complexité du réseau

trabéculaire par augmentation des perforations locales, des déconnexions trabéculaires et raréfaction trabéculaire [38].

Une étude datant de 1999, menée par Lin et al [16] a conjointement analysé les données issues de l'analyse fractale de radiographies standards réalisées sur 51 fémurs, et la densité minérale osseuse obtenue par microscanner. Les auteurs ont également réalisé des tests de compression afin de mesurer la résistance osseuse. Les paramètres densitométriques et microarchitecturaux étaient corrélés aux paramètres de résistance osseuse, avec une conjonction des deux premiers améliorant la corrélation avec les propriétés biomécaniques osseuses.

Dans notre étude, nous avons fait le choix d'étudier la microarchitecture osseuse par analyse fractale à l'aide du BMA™. On retrouve quelques études ayant eu pour objectif d'établir le lien entre microarchitecture osseuse évaluée par analyse fractale et par techniques 3D. Bien que certaines techniques comme le microscanner périphérique haute résolution ( HR-pQCT) ou la micro-IRM utilisées in vivo permettent d'obtenir directement des paramètres de microarchitecture en trois dimensions et aient montré sur des effectifs limités leur apport à l'évaluation du risque fracturaire [39-45], celles-ci ne peuvent être utilisées en routine pour l'évaluation du risque fracturaire en complément de l'ostéodensitométrie, principalement pour des raisons de coût, de temps d'examen long, d'irradiation ou de disponibilité. Il a donc fallu au préalable s'assurer que l'analyse de texture par des techniques telles que l'analyse fractale, basée sur des paramètres 2D, reflétait réellement la microarchitecture osseuse comme le permet l'histomorphométrie ou les techniques d'imagerie 3D.

Dans une étude parue en 1998 [46], Lespessailles et al. ont comparé les données obtenues par l'histomorphométrie et par analyse fractale, sur 38 calcanéums récupérés sur cadavres. Les

auteurs ont pu mettre en évidence un lien entre  $H_{mean}$  et les paramètres d'histomorphométrie, dont  $BV/TV$ , en comparant les résultats obtenus après analyse fractale pratiquée sur radiographies du calcaneum avant réalisation d'une carotte biopsique. La dimension fractale apportait une caractérisation partielle de la micro-architecture par méthode non invasive. En cas d'ostéoporose, d'augmentation de l'espace intertrabéculaire ou de diminution de la résistance osseuse,  $H_{mean}$  diminuait. Ceci a été retrouvé également dans une étude animale, menée par Chappard et al. [47], faite sur 20 veaux, dont l'analyse fractale et histomorphométrique (condyles fémoraux) étaient hautement corrélées.

Dans une autre étude menée par Pothuau et al. [48] en 2000, les auteurs ont démontré une relation entre porosité, connectivité et paramètres fractaux, en comparant les données obtenues après analyse de l'os trabéculaire de têtes fémorales excisées pour pose de prothèse totale de hanche. Une simulation était utilisée pour transformer la structure trabéculaire 3D obtenue par IRM en projection 2D, puis des altérations ont été appliquées (dilatation de l'espace intertrabéculaire, raréfaction trabéculaire) ; à nouveau, des relations significatives ont été retrouvées entre la dimension fractale ( $D_f$ ) et la micro-architecture, notamment la connectivité, avec augmentation de  $D_f$  en cas d'altération de cette dernière. Ceci était en accord avec de précédentes études [14, 29] ayant retrouvé une augmentation de  $D_f$  en cas d'ostéoporose densitométrique, d'augmentation de l'âge, du statut ménopausé ou de la diminution de la résistance osseuse. Ceci pourrait être en lien avec une désorganisation trabéculaire et une perte de connectivité.

Une autre étude menée par Guggenbuhl et al en 2006 [49] a comparé les résultats obtenus entre paramètres 3D obtenus par micro-scanner sur des fragments d'os iliaque et paramètres 2D obtenus par différentes techniques dont l'analyse fractale : il n'était pas retrouvé de corrélation entre ceux-ci lorsqu'il n'y avait pas de différenciation entre le statut trabéculaire et

cortical, par contre lorsque le statut trabéculaire était évalué spécifiquement, on retrouvait une corrélation entre paramètres 2D et 3D. Il était noté une augmentation de la dimension fractale (donc une diminution de H mean) en cas de diminution de l'épaisseur trabéculaire. Les auteurs expliquaient que la prise en compte du secteur cortical en même temps que le secteur trabéculaire pourrait gêner l'évaluation, ce qui expliquerait l'absence de corrélation retrouvée.

Dans une autre étude datant de 2010, une association modérée mais significative entre paramètres 3D obtenus par HR-pQCT et paramètre fractal est retrouvée chez 77 patients insuffisants rénaux, avec des mesures effectuées au calcaneum, au tibia et au radius [13]. Partant de ces résultats, les auteurs rappellent que H mean a été développé dans l'optique d'être un reflet de la microarchitecture trabéculaire 3D, paramètre non mesuré par l'ostéodensitométrie. Ils supposent alors que H mean, tout en étant corrélé à la densité osseuse et la microarchitecture trabéculaire obtenues par HR-pQCT, reste un paramètre indépendant des résultats obtenus par ostéodensitométrie.

Dans une dernière étude datant de 2012, Le Coroller et al [50] ont démontré l'existence d'une corrélation entre H mean, paramètres 3D et propriétés biomécaniques après analyse fractale par BMA™ et microscanner de 31 échantillons issus de huit têtes fémorales, soumis ensuite à des test de compression, confirmant de nouveau que l'analyse de texture radiographique constituait une bonne approche de la microarchitecture trabéculaire osseuse.

Notre étude comporte quelques limites : l'effectif modéré, l'absence de groupe contrôle constitué de patients non fracturés, ne nous permettant pas de conclure quant à l'implication de modifications microarchitecturales pour des patients fracturés et non fracturés ayant une même densité minérale osseuse, la réalisation d'un examen unique par patient, sans repositionnement entre deux mesures, principalement en raison de patients âgés, douloureux ayant des difficultés de mobilisation, et l'absence d'évaluation spécifique de l'os cortical par

la technique du BMA<sup>TM</sup>, impliqué dans la fragilité osseuse. L'absence de corrélation retrouvée à plusieurs reprises peut être interprétée comme l'apport de données complémentaires, mais on ne peut exclure la responsabilité d'un manque de puissance.

Malgré tout, nous obtenons quelques résultats intéressants, parfois surprenants. Il s'agit à notre connaissance de la première étude ayant évalué la corrélation entre paramètres densitométriques et microarchitecturaux in vivo sur un même site de mesure, ainsi qu'avec des paramètres morphologiques, à l'aide du BMA<sup>TM</sup>. Cet appareil donnant des images directement digitalisées permet de gagner en précision par rapport à des images numérisées secondairement. Enfin, les études réalisées jusqu'ici comparant souvent des paramètres densitométriques et microarchitecturaux à différents sites, notamment le calcaneum, nous avons fait le choix d'effectuer les mesures microarchitecturales au col fémoral et à l'avant-bras, plutôt qu'au calcaneum, site n'étant pas habituellement siège de fracture ostéoporotique et soumis à des contraintes mécaniques répétées pouvant altérer ses caractéristiques microarchitecturales. Nous pensons ainsi être au plus près de la réalité clinique et donc gagner en pertinence.



## **IV] CONCLUSION**

Dans notre étude, la mesure de la microarchitecture osseuse par technique BMA™ a montré des résultats intéressants et complémentaires à ceux de l'ostéodensitométrie. Il est possible qu'il s'agisse d'une technique à l'aide de laquelle nous pourrions mieux évaluer le risque fracturaire chez des patients dont les résultats densitométriques sont peu altérés, notamment les patients en surpoids ou obèses. Ces résultats sont prometteurs mais restent à confirmer dans des études contrôlées comparant des patients fracturés et non fracturés. Des cohortes prospectives sont également nécessaires afin de déterminer si l'analyse de texture osseuse permet de prédire le risque fracturaire indépendamment de la mesure de la densité minérale osseuse. Un autre apport de l'évaluation de la texture osseuse pourrait être de mieux préciser l'action des médicaments ostéoprotecteurs, supposés modifier l'architecture osseuse.

## **V] ANNEXE**

## Annexe 1

### **FICHE DE SYNTHÈSE : CONSULTATION INITIALE**

NOM : POIDS :  
PRENOM : TAILLE :  
DDN : / / BMI :  
SEXE :  M  F  
Adresse :  
Tél :  
MT :  
MS :

Date :

Site de la fracture :

FRAX :

- Antécédent personnel de fracture (préciser) :
- Antécédent parental de fracture de l'ESF
  - père  mère
- Tabagisme actif si oui, nombre de PA :
- Traitement par glucocorticoïdes (ancien ou actuel ; >5mg/J et >3mois)
- PR
- Présence d'une ostéoporose secondaire : Autres trts
  - Diabète de type 1
  - Ostéogénèse imparfaite Ca- Vit D
  - Hyperthyroïdie non traitée Anti ostéoporose
  - Hypogonadisme
  - Ménopause précoce < 45 ans
  - Malnutrition/ Malabsorption
  - Maladies chroniques du foie
- Consommation d'au moins 3 unités d'alcool (10 gX3) par jour

FDR complémentaires d'ostéoporose : Immobilisation prolongée   
Aménorrhée primaire ou secondaire

Questionnaire calcique (mg/j) :

Biologie : 25 OH vitamine D3 (nmol/L ou ng/mL):

- MDV :  Domicile personnel (maison/appartement)  
 RPA  
 EHPAD

**VI] REFERENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] OMS. Evaluation du risque de fracture et son application au dépistage de l'ostéoporose post-ménopausique. 1994.
- [2] Briot K, Cortet B, Thomas T et al. Actualisation 2012 des recommandations françaises du traitement médicamenteux de l'ostéoporose post-ménopausique. *Rev Rhum* 2012; 79 : 264-74.
- [3] Benhamou C-L. Effets des traitements de l'ostéoporose sur la qualité osseuse. *Rev Rhum* 2007; 74 : 43-51.
- [4] Cortet B, Marchandise M. Bone microarchitecture and mechanical resistance. *Joint Bone Spine* 2001; 68: 297-305.
- [5] Kanis JA, Johnell O, De Laet C et al. A meta-analysis of previous fracture and subsequent fracture risk. *Bone* 2004; 35: 375-82.
- [6] Siris ES, Chen YT, Abbott TA et al. Bone mineral density thresholds for pharmacological intervention to prevent fractures. *Arch Intern Med* 2004; 164:1108–12.
- [7] Lespessailles E, Gadois C, Kousignan I et al. Clinical interest of bone texture analysis in osteoporosis: a case control multicenter study. *Osteoporosis Int* 2008; 19: 1019-28.
- [8] Sornay-Rendu E, Boutroy S, Munoz F et al. Alterations of cortical and trabecular architecture are associated with fractures in postmenopausal women, partially independent of decreased BMD measured by DXA: the OFELY study. *J Bone Miner Res* 2007; 22: 425-33.
- [9] Cummings SR, Karpf DB, Harris F et al. Improvement in spine bone density and reduction in risk of vertebral fractures during treatment with antiresorptive drugs. *Am J Med* 2002; 112 :281-9.
- [10] Lespessailles E, Chappard C, Bonnet N et al. Imaging techniques for evaluating bone microarchitecture. *Joint Bone Spine* 2006; 73: 435-43.

[11] Chappard D, Baslé MF, Legrand E, Audran M. New laboratory tools in the assessment of bone quality. *Osteoporosis Int* 2011; 22:2225-40.

[12] Lespessailles E., Gadois C., Lemineur G. et al. Bone texture analysis on direct digital radiographic images: precision study and relationship with bone mineral density at the os calcis. *Calcif Tissue Int* 2007; 80:97-102.

[13] Bacchetta J, Boutroy S, Vilayphiou N et al. Assessment of bone microarchitecture in chronic kidney disease: a comparison of 2D bone texture analysis and High-Resolution Peripheral Quantitative Computed Tomography at the radius and tibia. *Calcif Tissue Int* 2010; 87:385–91.

[14] Lespessailles E, Jullien A, Eynard E et al. Biomechanical properties of human os calcanei: relationships with bone density and fractal evaluation of bone microarchitecture. *J Biomech* 1998 ; 31:817-24.

[15] Lespessailles E, Poupon S, Niamane R et al. Fractal analysis of trabecular bone texture on calcaneus radiographs: effects of age, time since menopause and hormone replacement therapy. *Osteoporosis Int* 2002; 13:366-72.

[16] Lin JC, Grampp S, Link T et al. Fractal analysis of proximal femurs radiographs: correlation with biomechanical properties and bone mineral density. *Osteoporosis Int* 1999; 9:516-24.

[17] Le Coroller T, Halgrin J, Pithioux M et al. Combination of texture analysis and bone mineral density improves the prediction of fracture load in human femurs. *Osteoporosis Int* 2012; 23:163-69.

[18] Kolta S, Paratte S, Amphoux T et al. Bone texture analysis of human femurs using a new device (BMA™) improves failure load prediction. *Osteoporosis Int* 2012 ; 23 : 1311-16

- [19] Vokes TJ, Giger ML, Chinander R et al. Radiographic texture analysis of densitometer-generated calcaneus images differentiates postmenopausal women with and without fractures. *Osteoporosis Int* 2006; 17:1472-82.
- [20] Premaor MO, Pilbrow L, Tonkin C et al. Obesity and fractures in postmenopausal women. *J Bone Miner Res* 2010; 25: 292-7.
- [21] Hudelmaier M, Kollstedt A, Lochmuller EM. Gender differences in trabecular bone architecture of the distal radius assessed with magnetic resonance imaging and implications for mechanical competence. *Osteoporosis Int* 2005; 16: 1124–33
- [22] Majumdar S, Link TM, Millard J et al. In vivo assessment of trabecular bone structure using fractal analysis of distal radius radiographs. *Med Phys* 2000; 27: 2594-9.
- [23] Prieto-Alhambra D, Premaor MO, Alviles FF et al. The association between fracture and obesity is site-dependant: a population-based study in postmenopausal women. *J Bone Miner Res* 2012; 27: 294-300.
- [24] Gnudi S, Sitta E, Lisi L. Relationship of body mass index with main limb fragility fractures in postmenopausal women. *J Bone Miner Metab* 2009; 27: 479-84.
- [25] Beck TJ, Petit MJ, Wu G et al. Does obesity really make the femur stronger? BMD, geometry and fracture incidence in women's health initiative-observational study. *J Bone Miner Res* 2009; 24: 1369-1379.
- [26] Robbins J, Schott AM, Azari R, Kronmal R. Body mass index is not a good predictor of bone density : results from WHI, CHS and EPIDOS. *J Clin Densitom.* 2006; 9:329-34.
- [27] Compston JE, Watts N, Chapurlat R et al. Obesity is not protective against fracture in postmenopausal women: GLOW. *Am J Med* 2011; 24: 1043-50
- [28] Pirro M, Fabbri G, Leli C et al. High weight or body mass index increase the risk of vertebral fractures in postmenopausal osteoporotic women. *J Bone Miner Metab* 2010; 28: 88-93.



- [29] Pothuaud L, Lespessailles E, Harba R et al. Fractal analysis of trabecular bone texture on radiographs: discriminant value in postmenopausal osteoporosis. *Osteoporosis Int* 1998 ;8: 618-25.
- [30] Buckland-Wright JC, Lynch JA, Rima J et al. Fractal signature analysis of microradiographs measures trabecular organization in lumbar vertebrae of postmenopausal women. *Calcif Tissue Issue* 1994; 54:106-12.
- [31] Caligiuri P, Giger ML, Favus M. Multifractal radiographic analysis of osteoporosis. *Med Phys* 1994; 21:503-8.
- [32] Khosrovi PM, Kahn AJ, Genant HK et al. Characterization of trabecular bone structure from radiographs using fractal analysis [abstract]. *J Bone Miner Res.* 1994; 9: S156
- [33] Benhamou CL, Poupon S, Lespessailles E et al. Fractal analysis of radiographic trabecular bone texture and bone mineral density: two complementary parameters related to osteoporotic fractures. *J Bone Miner Res* 2001; 16:697-704.
- [34] Schuit SC, Van der klift M, Weel AE et al. Fracture incidence and association with bone mineral density in elderly men and women: the Rotterdam Study. *Bone* 2004; 34: 195-202.
- [35] Link TM, Majumdar S, Konermann W et al. Texture analysis of direct magnification radiographs of vertebral specimens: correlation with bone mineral density and biomechanical properties. *Acad Radiol* 1997 ; 4 :167-76.
- [36] Hansen S, Beck Jensen JE, Ahrberg F et al. The Combination of Structural Parameters and Areal Bone Mineral Density Improves Relation to Proximal Femur Strength: An In Vitro Study with High-Resolution Peripheral Quantitative Computed Tomography. *Calcif Tissue Int* 2011; 89:335–46.
- [37] Benhamou CL, Lespessailles E, Jacquet G et al. Fractal organization of trabecular bone images on calcaneus radiographs [abstract]. *J Bone Miner Res* 1994; 9:1909-18.
- [38] Parfitt AM. Implications of architecture for the pathogenesis and prevention of vertebral fracture. *Bone* 1992; 13 Supl: 41-7.

- [39] Wehrli FW, Hwang SN, Ma J et al. Cancellous bone volume and structure in the forearm: noninvasive assessment with MR microimaging and image processing. *Radiology* 1998 ;206:347-57.
- [40] Majumdar S, Link TM, Augat P et al. Trabecular bone architecture in the distal radius using magnetic resonance imaging in subjects with fractures of the proximal femur. *Osteoporos Int* 1999 ; 10:231–39.
- [41] Laib A, Nevitt DC, Lu Y et al. 2002 New model independent measures of trabecular bone structure applied to in vivo high-resolutionMRimages. *Osteoporos Int* 2002; 13:130–36.
- [42] Link TM, Majumdar S, Augat P, et al. In vivo high resolution MRI of the calcaneus: Differences in trabecular structure in osteoporosis patients. *J Bone Miner Res* 1997 ; 13:1175–82.
- [43] Ouyang X, Selby K, Lang P et al. High resolution magnetic resonance imaging of the calcaneus: Age related changes in trabecular structure and comparison with dual X-ray absorptiometry measurements. *Calcif Tissue Int* 1998; 60:139–47.
- [44] Gordon CL, Lang TF, Augat P et al. Image-based assessment of spinal trabecular bone structure from high-resolution CT images. *Osteoporos Int.* 1998;8 :317-25.
- [45] Ito M, Ikeda K, Nishiguchi M et al. Multi-detector row CT imaging of vertebral microstructure for evaluation of fracture risk. *J Bone Miner Res.* 2005 ;20 :1828-36.
- [46] Lespessailles E, Roux J.-P, Benhamou C.-L et al. Fractal analysis of bone texture on os calcis radiographs compared with trabecular microarchitecture analysed by histomorphometry. *Calcif Tissue Int* 1998; 63: 121-25.
- [47] Chappard D, Guggenbuhl P, Legrand E et al. Texture analysis of X-ray radiographs is correlated with bone histomorphometry. *J Bone Miner Metab* 2005; 23:24–9.
- [48] Pothuaud L, Benhamou CL, Porion P et al. Fractal dimension of trabecular bone projection is related to three-dimensional microarchitecture. *J Bone Miner Res* 2000; 15:691-99.

[49] Guggenbuhl P, Bodic F, Hamel L et al. Texture analysis of X-ray radiographs of iliac bone is correlated with bone micro-CT. *Osteoporosis Int* 2006; 17:447-54.

[50] Le Corroller T, Pithioux M, Chaari F et al. Bone texture analysis is correlated with three-dimensional microarchitecture and mechanical properties of trabecular bone in osteoporotic femurs. *J Bone Miner Metab* 2012 ( ahead of publication).

## RESUME

Introduction: L'ostéoporose est une maladie diffuse du squelette associant baisse de la densité minérale osseuse et altérations microarchitecturales. L'ostéodensitométrie, examen de référence pour le diagnostic d'ostéoporose n'évalue pas spécifiquement ces altérations. De nouveaux outils d'imagerie sont développés afin de les étudier de manière non invasive, parmi lesquels le BMA™, technique basée sur l'analyse fractale.

Matériel et méthodes : 77 patients fracturés ont répondu à un questionnaire évaluant les facteurs de risques d'ostéoporose et bénéficié d'une ostéodensitométrie au rachis lombaire, col fémoral et avant-bras et d'une mesure de la microarchitecture osseuse par BMA™ (D3A Medical Systems) au col fémoral et à l'avant-bras.

Résultats : Nous retrouvons un lien entre paramètres densitométriques et microarchitecturaux aux deux sites de mesure, avec une corrélation négative au col fémoral. Il existe une corrélation positive entre paramètres densitométriques au col fémoral et microarchitecturaux à l'avant-bras. Nous retrouvons une corrélation entre les trois paramètres microarchitecturaux sur un même site, mais pas entre paramètres de deux sites différents. Nous mettons en évidence une corrélation positive entre paramètres densitométriques aux deux sites et paramètres morphologiques, et négative entre ceux-ci et les paramètres microarchitecturaux au col fémoral. Enfin, nous ne retrouvons pas de corrélation entre paramètres microarchitecturaux au col fémoral et score FRAX.

Conclusion : L'évaluation de la microarchitecture osseuse par BMA™ à deux sites de mesure permet d'apporter des informations complémentaires à l'ostéodensitométrie, notamment chez des patients en surpoids ou obèses pour lesquels les paramètres densitométriques seuls ne reflètent souvent pas complètement le risque fracturaire.

Mots-clés : microarchitecture osseuse- analyse fractale- ostéodensitométrie- ostéoporose- fracture



