

ACADEMIE DE TOULOUSE
UNIVERSITE TOULOUSE III
PAUL SABATIER

THESE

Présentée à l'Université Toulouse III – Paul Sabatier
Pour l'obtention du DIPLOME DE DOCTORAT

Spécialité : IMAGERIE MEDICALE

**Etude expérimentale du bruit en tomographie d'émission
monophotonique**

par



Marjolaine ENJALBERT FOURCADE



Soutenue le 26 Septembre 2001 devant le Jury composé de :

Dr. Bernard AUBERT	Rapporteur
Pr. Isabelle BERRY	Président
Pr. Yves BIZAIS	Rapporteur
Pr. Jacques DAR COURT	Rapporteur
Dr. Denis MARIANO-GOULART	Examineur
Pr. Michel ROSSI	Examineur
Pr. Michel ZANCA	Directeur de thèse

TABLE DES MATIERES

ACRONYMES.....	7
LISTE DES FIGURES.....	8
INTRODUCTION.....	13

Partie I

CHAPITRE I : LA TOMOGRAPHIE.....	16
I – Principe de la tomographie d’émission.....	16
I-1 La tomographie d’émission de positons.....	17
I-2 La tomographie d’émission monophotonique.....	17
II – La gamma-caméra.....	18
II-1 Principe général de la caméra d’Anger.....	18
II-2 Les collimateurs.....	19
II-3 De la caméra d’Anger aux caméras actuelles.....	22
III – La tomographie : nature du problème.....	23
III-1 Modélisation de l’acquisition tomographique.....	23
III-2 La reconstruction tomographique.....	26
CHAPITRE II : LES ALGORITHMES DE RECONSTRUCTION.....	27
I – Les méthodes analytiques.....	27
II - Modélisation des opérateurs projection/rétroprojection.....	29
II-1 Le modèle de la fonction delta.....	30
II-2 Le modèle de l’intensité uniforme.....	30
II-3 Le modèle du disque concave.....	31
III – Les techniques itératives.....	31
III-1 Principe.....	31
III-2 Les principaux algorithmes itératifs.....	34
III-2-1 ART (Algebraic Reconstruction Techniques).....	34
III-2-2 Les méthodes de type SIRT (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique).....	35
III-2-2-1 Le gradient conjugué.....	35
III-2-2-2 ML-EM.....	38
IV – Accélération des algorithmes itératifs.....	41
IV-1 Ordonnancement des projections : application à ART.....	42
IV-2 Techniques itératives par blocs : application à ART et ML-EM.....	45
IV-2-1 OSEM.....	46
IV-2-2 RAMLA et RBI-EM.....	48

Partie II

INTRODUCTION	50
CHAPITRE III : CARACTERISATION DU BRUIT EN TOMOGRAPHIE D'EMISSION MONOPHOTONIQUE : INFLUENCE DU BRUIT STATISTIQUE.....	53
I – Evaluation du bruit.....	53
I- 1 La variance	54
I- 2 Le rapport : σ / m	55
I- 3 Matrice de covariance.....	56
II – Caractérisation du bruit aléatoire contenu dans les projections.....	58
III – Influence du bruit statistique dans les reconstructions.....	60
III- 1 Evaluation du rapport σ / m	62
III-1-1 La rétroprojection.....	62
III-1-2 Le Gradient Conjugué Orthogonal.....	63
III-1-2-1 Matériel et Méthode.....	63
III-1-2-1-1 Fantôme numérique.....	63
III-1-2-1-2 Fantôme cylindrique.....	66
III-1-2-1-3 Fantôme de cerveau (Data Spectrum Hoffman Brain).....	66
III-1-2-2 Résultats.....	67
III-1-2-2-1 Etude du RMS% sur des reconstructions simulées.....	67
III-1-2-2-2 Etude du RMS% sur des reconstructions réelles.....	82
III-1-3 ML-EM.....	84
III-1-4 Les techniques itératives par blocs.....	89
III-1-5 Conclusion sur l'étude du RMS% pour les différents algorithmes étudiés.....	91
III – 2 Etude de la variance et de la covariance.....	92
III-2-1 Etude de la variance.....	92
III-2-2 Etude de la covariance.....	98
III-2-3 Etude de la variance et de la covariance dans les techniques itératives par blocs : OSEM et RBI-EM.....	103
CHAPITRE IV : CARACTERISATION DU BRUIT EN TOMOGRAPHIE D'EMISSION MONOPHOTONIQUE : INFLUENCE DU BRUIT ALGORITHMIQUE.....	105
I – Artefacts et bruit générés par la technique de reconstruction.....	108
I-1 Les artefacts d'épandage.....	108
I-2 Bruit et artefacts liés à l'ordre de reconstruction des fréquences.....	109
I-2-1 Densité spectrale de puissance (DSP) du bruit.....	109
I-2-2 Artefacts de contours.....	113
II – Evaluation du bruit algorithmique.....	114
II – 1 Evaluation du bruit algorithmique à partir d'acquisitions non bruitées....	114
II – 2 Influence du bruit algorithmique sur les autres sources de bruit.....	117
II-3- Comparaison de l'évolution du biais et de la DSP en fonction du nombre d'itérations.....	120

Partie III

INTRODUCTION	123
CHAPITRE V : LA REGULARISATION.....	125
I – Principe général.....	125
II – Modèle statistique d’informations à priori.....	127
II – 1 La probabilité de distribution à priori P(f)	129
II – 1 – 1 Distributions de Gibbs.....	130
II – 1 – 2 MAP-EM OSL.....	132
II – 1 – 3 MAP OSEM et RBI-MAP.....	134
II – 1 – 4 Choix des fonctions de potentiel.....	135
III – Difficultés liées à la présence de minima et maxima locaux.....	139
CHAPITRE VI : EFFETS DE LA REGULARISATION SUR LE BRUIT.....	140
I – Effet de la régularisation sur le bruit algorithmique.....	142
I – 1 Evolution du RMS%.....	146
I – 2 Caractéristiques fréquentielles.....	148
II – Effet de la régularisation sur le bruit statistique.....	149
II - 1 Evolution du RMS% en fonction du nombre d’itérations.....	149
II – 2 Caractéristiques fréquentielles.....	158
II – 3 Etude de la variance	161
II – 4 Effets de la régularisation sur les techniques itératives par blocs.....	164
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	166

Annexes

ANNEXE 1.....	168
ANNEXE 2A.....	170
ANNEXE 2B.....	171
ANNEXE 3.....	172
ANNEXE 4.....	173

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	174
---	------------

Résumé : Au cours d'un examen réalisé en tomographie d'émission monophotonique une gamma-caméra acquiert des projections sous différentes incidences en recueillant les photons émis par le patient. Plusieurs coupes d'organe sont alors reconstruites numériquement en tant que solution d'un problème inverse. La résolution de ce problème nécessite l'utilisation de méthodes spécifiques. On distingue deux familles de techniques de reconstruction : les méthodes analytiques et les méthodes itératives. Ces dernières ont été utilisées en vue d'améliorer la reconstruction tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif. Le gradient conjugué, ML-EM et OSEM font partie des techniques itératives les plus courantes. Cependant, les images reconstruites par ces algorithmes sont bruitées. Alors que les caractéristiques du bruit contenu dans les projections sont assez bien connues, il est plus délicat de déterminer la nature et la propagation du bruit généré dans les reconstructions.

L'objectif de cette thèse est de présenter une étude expérimentale des caractéristiques du bruit reconstruit en TEMP. Ce travail est composé de trois parties. La première est consacrée à la présentation des techniques courantes de reconstruction tomographiques. Dans la deuxième partie, nous avons étudié l'influence du bruit stochastique et algorithmique sur la qualité des coupes reconstruites. Ces travaux ont porté sur la détermination de l'amplitude du bruit contenu dans les reconstructions ainsi que sur les caractéristiques de texture de ce bruit. La dernière partie de ce travail présente les techniques de régularisation fréquemment utilisées dans les processus itératifs. La régularisation consiste à introduire des connaissances a priori sur la solution dans le processus de reconstruction. Après avoir déterminé le type de régularisation le plus approprié à la nature des objets à reconstruire, nous avons étudié l'influence de celle-ci sur le bruit stochastique et algorithmique. Nous nous sommes alors attachés à mettre en évidence l'efficacité des techniques régularisées sur la réduction du bruit (homogénéité, conservation des contours et quantification).

Mots-clé : TEMP, algorithmes itératifs, caractéristiques du bruit, régularisation.

Abstract : During a single photon emission computerized tomography exam, a Gamma camera acquires a set of projections according to different angles by detecting the emitted photons by the patient. Several slices of an organ can be numerically reconstructed. This reconstruction step is considered as a solution of an inverse problem. Solving this kind of problems requires specific methods that can be divided into two classes: the analytic methods and the iterative ones. Iterative algorithms have been applied to SPECT in order to improve the qualitative and quantitative aspects of images. The conjugate gradient, ML-EM and OSEM are the ones that are the most frequently used. However, the images reconstructed with these algorithms are noisy. While the features of the noise in the projections are fairly well known, the nature of the noise and its propagation in the reconstruction process is more difficult to identify.

The aim of this work is to provide an experimental study about the characteristics of the reconstructed noise in SPECT. This document can be divided into three parts. The first one deals with the techniques of reconstruction. Part two focuses on the study of the influence of the stochastic and algorithmic noise on the quality of the reconstructed images. We have specified the amplitude and the textural nature of the noise incorporated in these images. In the last part, the regularization techniques frequently used in the iterative process are described. These ones consist in introducing knowledge about the solution into the reconstruction process. After having defined the most suitable type of regularization depending on the reconstructed objects; we have studied the influence of this one on the stochastic and algorithmic noise. Finally we have demonstrated the efficiency of regularized techniques on the reduction of this noise (homogeneity, edge preservation and quantification).

Key words : SPECT, iterative algorithms, noise characteristics, regularization.