

UNIVERSITÉ P. et M. CURIE

10. MAR 2009

DOCTORAT/HDR

SPECIALITE

.....Physique.....

RAPPORT

De

M...Yves...Pomeau.....

.....

Qualité Membre correspondant de l'Académie des

sciences.....

Lieu

d'exercice.....

.....

Sur les travaux présentés par

M.....Grebenkov.....

.....

**Ce document, une fois daté et signé, doit être transmis directement
à la Commission des Hdr**

Le document présenté par M. Grebenkov a pour titre "Surveying diffusion in complex geometries".

Les travaux et idées exposés concernent une question assez précise, celle de la mesure des propriétés de divers systèmes, surtout biologiques, à partir de la diffusion moléculaire de traceurs. Un exemple est celui de la diffusion de traceurs dans le poumon et la façon dont la mesure de ce phénomène par RMN pourrait permettre d'affiner le diagnostic d'emphysème. De façon moins détaillée sont évoquées des applications au placenta, à des échangeurs industriels. etc. Le thème sous-jacent est que dans ces situations on a des structures géométriques complexes sinon fractales rendant pertinents divers raffinements des approches habituelles de la théorie de la diffusion. Comme le reconnaît l'auteur, les approches fondamentales ne peuvent, dans ces applications, que servir à donner des idées générales sur une représentation simplifiée qui servira à modéliser le problème réel sans prendre en compte toute la complexité de sa géométrie.

Ce texte commence par un assez long développement sur la diffusion en géométrie fractale, un sujet très classique, qui est présenté ici en liaison avec les questions

numériques concrètes.

Suivant l'auteur, on trouve essentiellement deux méthodes numériques pour étudier la diffusion dans une géométrie donnée, la méthode de Monte-Carlo et l'approche spectrale. Dans la section 2 il revoit la méthode de Monte-Carlo, en introduisant la possibilité d'une condition aux limites mixtes (dite de Robin ici, une terminologie que je découvre. En mécanique des fluides c'est la condition de Navier pour les équations de Navier Stokes et, plus généralement, de Maxwell pour des flux diffusifs). Pour le cas de la RMN, sur lequel quelques explications supplémentaires auraient été bienvenues, on utilise une équation dite de Bloch-Torrey pour décrire la diffusion de la polarisation induite par une impulsion radio fréquence. La question des conditions aux limites pour ces équations auraient sans doute mérité développement.

L'auteur examine un problème commun à beaucoup de domaines, celui de l'optimisation d'une surface d'échange : si cette surface est lisse, toutes ses parties sont accessibles au processus de diffusion, mais son aire est faible comme l'est le rendement du processus d'échange. Au contraire, une surface très contournée (fractale) aura beaucoup d'aire mais avec de nombreux golfes et fjords peu accessibles de l'extérieur par diffusion. Il doit donc exister un compromis. On aurait aimé que l'auteur, une fois posé ce joli problème d'optimisation en dise davantage sur sa solution ! J'aurais tendance à croire que la sélection naturelle a donné la solution optimale pour la biologie réelle (placenta, poumons, reins...) ce qui pourrait peut-être se vérifier. Les sections 2.2.3-4 présentent aussi d'intéressantes considérations sur le fait que la dimension fractale n'est pas tout, puisque par exemple les processus de diffusion distinguent les deux cotés d'une courbe fractale, deux cotés qui ont évidemment la même dimension fractale.

La décomposition spectrale quant à elle conduit à des expressions relativement compactes des quantités physiquement significatives, mais il reste à estimer des éléments de matrice dépendant des fonctions propres de l'opérateur de diffusion qui sont fort difficiles à connaître pour une situation complexe réelle, l'information qu'elles enferment étant, en quelque sorte, inutilement riche en général pour le problème posé. Les résultats que j'ai trouvés les plus intéressants de ce mémoire concernent la représentation de fonction de mémoire de l'écho RMN dans un modèle de poumon normal et un modèle de poumon emphysémateux. On voit bien que, dans ce dernier cas, la diffusion effective est accélérée par les connections nouvelles dans le réseau pulmonaire. Je me demande quand même si cette accélération serait suffisamment marquée pour ne pas se confondre avec une variabilité normale qui pourrait être grande. Mais à mon avis cette piste mérite d'être suivie.

D'une façon générale, les notions mathématiques sont bien expliquées dans ce mémoire, peut être un peu moins bien les notions physiques. Ainsi j'ai essayé de comprendre ce qu'était le champ B qui apparaît dans la formule de Bloch-Torrey. Il ne semble pas être un vecteur, puisque au-dessus de l'équation (1.4) B est qualifié de champ externe scalaire alors que plus loin il semble devenir plutôt un champ magnétique (par exemple dans le paragraphe 1.5 : Larmor frequency

$B(r, t)$ which is proportional to the magnetic field $B(r, t)$) ! Du point de vue des applications, j'aurais aussi aimé voir discutés les effets possibles de la convection. J'imagine que dans la circulation d'air dans les poumons le nombre de Peclet n'est pas si petit, au moins aux plus grandes échelles. Il en est aussi sûrement ainsi dans de nombreuses applications industrielles où il y a échange. Ceci aurait mérité au moins une brève mention.

Les projets de recherche, présentés à la fin de la section 3 du mémoire, concernent diverses questions reliées à la même thématique, reliées surtout aux applications biomédicales et au programme d'ANR « Dyoptry » actuellement financé si j'ai bien compris.

Je trouve ce mémoire clairement écrit, ouvrant d'intéressantes perspectives

d'application à des domaines variés. Son auteur mérite donc de soutenir son habilitation à diriger des recherches.

Azières, le 6 mars 2009



Yves Pomeau