



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Séance solennelle de l'Académie des sciences / 17 juin 2008
Réception sous la coupole de l'Institut de France des Membres élus en 2007

De la matière molle à la biologie
Jacques Prost

Je commence mes premiers pas au centre P. Pascal en refusant deux sujets de thèse ! En bonne logique on me somme de trouver mon propre sujet ce que je fais en décidant d'étudier la dynamique des cristaux liquides, sujet inconnu à cette époque à Bordeaux. Le directeur du laboratoire, A. Pacault, me met alors en garde : "ne savez-vous pas qu'un type génial a commencé à travailler sur le sujet depuis deux ans à Orsay ?" Il s'agit bien sûr de P.G. de Gennes ! Insouciance de jeunesse ou plutôt ignorance et obstination, je poursuis mon idée. Mais A. Pacault a le souci de ses chercheurs. Intelligemment, il réalise que la seule mesure pouvant me préserver de ma sottise est de convaincre P.G. de Gennes d'être mon parrain au CNRS ! Pierre-Gilles accepte, c'est pour moi une chance immense ! Je lui envoie les premières mesures jamais faites, de la viscosité de rotation dans les Nématiques ainsi que l'analyse théorique associée, puis quelque temps après une étude expérimentale et théorique complète de la dynamique de la transition Cholestérique-Nématique. Quelques années plus tôt, Pierre-Gilles avait traité la statique : j'ai la chance d'être pris au sérieux, de bénéficier de ses conseils et de ses recommandations...

Il serait fastidieux d'énumérer tous les résultats obtenus pendant cette période cristaux liquides. Je retiendrai tout de même les expériences montrant l'existence de la flexoélectricité, ainsi que l'analyse théorique montrant l'origine essentiellement quadripolaire de ce phénomène alors que toute la communauté vit sur une image dipolaire.

Je retiendrai aussi l'idée de smectique "frustré": je propose qu'un système formé d'un seul type de molécule puisse très bien avoir tendance à s'organiser en couches ayant simultanément deux épaisseurs incommensurables. De cette hypothèse résulte l'existence d'une demi-douzaine de nouvelles phases, toutes observées expérimentalement, de points multicritiques originaux dans des topologies totalement inattendues et d'une nouvelle classe de points critiques échappant à la théorie de Wilson. À cette occasion, je renforce substantiellement ma pratique théorique : j'avais suivi le magnifique cours qu'E. Brezin avait donné sur la renormalisation à Harvard, mais je n'avais jamais eu l'occasion de pratiquer ce type de théorie : les points critiques des systèmes en couches ont quelques

subtilités, par exemple deux opérateurs "redondants" qui rendent le problème techniquement difficile et très original ! Tout aussi important à mes yeux: certains copolymères suivent cette physique qui permet de comprendre un accident gênant d'extrusion de plastiques!

En fait c'est pour mon travail à l'interface entre la physique et la biologie que vous m'accueillez aujourd'hui.

De nombreux phénomènes de la vie cellulaire se produisent à des échelles d'espace, de temps et d'énergie très semblables à celles de la matière molle. La tentation de s'intéresser à la biologie est dans ces conditions évidemment très forte ! Il y a cependant une différence fondamentale avec les systèmes sur lesquels j'ai travaillé jusqu'alors : le vivant consomme en permanence de l'énergie ce qui change fondamentalement la physique. Au début des années quatre-vingt dix, seules existent des descriptions de systèmes passifs. Il faut construire une physique adaptée aux systèmes actifs que sont les systèmes vivants. Je m'intéresse à trois constituants majeurs de la cellule : les moteurs moléculaires, les membranes, le cytosquelette.

J'introduis successivement la première description cohérente de moteur moléculaire isotherme, prévois l'existence de transitions dynamiques dans les collections de moteurs ce qui conduit naturellement à la description d'oscillations musculaires, à la description des battements de flagelles et au concept de fonctionnement des cellules de l'oreille interne près d'un seuil d'oscillation. Cette dernière remarque permet de décrire dans un cadre unique six observations inexplicables dont certaines depuis plusieurs siècles. Elle suscite aussi un travail très technique sur la brisure du théorème fluctuation dissipation dans les oscillateurs couplés en dimension variable.

Dans le même temps, j'introduis la notion de membrane "active" puis celle de gels "actifs". Dans les deux cas, il s'agit de comprendre la physique nouvelle apportée dans ces systèmes par la présence de constituants consommant en permanence de l'énergie comme les pompes ioniques, les moteurs moléculaires ou les biopolymères en polymérisation-dépolymérisation permanente. Bien que les descriptions proposées soient génériques, elles ont un pouvoir prédictif ! Nous avons à l'heure actuelle des outils permettant de discuter la dynamique et la morphologie cellulaires. Ils présentent un double intérêt: d'une part ils apportent une nouvelle classe de problèmes au physicien, d'autre part ils se révèlent utiles pour décrire certaines situations physiologiques. Nous comprenons les mécanismes de propulsion de certaines bactéries, virus ou vésicules intracellulaires, nous comprenons les oscillations du cortex cellulaire et les caractéristiques essentielles des lamellipodes, nous comprenons comment les moteurs moléculaires tirent des nano-tubes phospholipidiques à l'intérieur des cellules. La mitose et les synapses apparaissent comme des modes typiques d'instabilité mécanique.

Ce que nous avons appris au niveau cellulaire ces quinze dernières années peut être maintenant étendu à l'étude de la dynamique des tissus. J'en ai donc initié une modélisation qui utilise des concepts comme celui de pression homéostatique dont la validité expérimentale reste à établir. Il explique une vieille hypothèse dite de "seed and soil" introduite, il y a plus d'une centaine d'années par Stephen Paget. Une prédiction supplémentaire est que la croissance d'un tissu dans un autre tissu, passe par une étape de nucléation: l'inefficacité métastatique observée expérimentalement se trouverait ainsi

expliquée. Ces réflexions appellent de nouveaux types d'expérience que nous initiions à l'heure actuelle.

Le parti pris de description générique que j'ai utilisé jusqu'à maintenant peut paraître naïf. Il est à mon sens essentiel pour comprendre le vivant. Je sais bien que la biologie et la médecine sont pour beaucoup spécifiques. Le défi est d'identifier les places respectives du générique et du spécifique. L'existence de nombreux comportements à seuil dans le vivant est de nature à réconcilier les deux approches: il y a encore beaucoup à faire et à apprendre !

Bien que j'ai utilisé la plupart du temps la première personne du singulier, ce travail n'aurait pas existé sans de nombreuses collaborations avec des collègues qui sont tous devenus des amis, ce dont je suis très fier. Je les remercie chaleureusement. Je pense en particulier à P. Barois, D. Roux, T.C. Lubensky, S. Ramaswamy, A. Ajdari, F. Jülicher, M. Bornens, D. Louvard, C. Petit.

Je remercie aussi mes parents qui m'ont transmis le plaisir d'apprendre. Et pourtant, mon père était retiré du collège à 15 ans pour remplacer le commis dans les champs de cyclamens et de chrysanthèmes. Il réussira le concours de l'école normale d'instituteur sans suivre un seul cours de l'année, mais son rêve de devenir chirurgien lui échappera faute de moyens financiers. Ma mère était placée apprentie coiffeuse après avoir été classée première de la ville au certificat d'études, devant les lycéennes ! Elle prendra sa retraite intendante d'un établissement scolaire agricole, complète autodidacte, et recevra son premier diplôme universitaire de Cambridge UK à 67 ans! Je leur suis profondément reconnaissant.

Je remercie enfin mes enfants et petits-enfants qui m'ont trop souvent vu derrière mon bureau et mon épouse qui sait détecter les jours de grande concentration et me soutenir affectueusement.