

## CLÔTURE DE LA CONFÉRENCE “STOCHASTIC NETWORKS & STOCHASTIC GEOMETRY”

François Baccelli, 14 janvier 2015

Ce discours de clôture comporte deux parties, l'une plus générale sur la relation directeur de thèse-doctorant, l'autre plus personnelle sur mon parcours.

La première partie a pour but de remercier mes anciens élèves, qui sont nombreux dans cette salle, et tout particulièrement ceux qui sont à l'origine, avec mon collègue Bartek Blaszczyszyn, de l'organisation de cette conférence. Ils savent que leur initiative me va droit au cœur. Ils m'avaient averti de leur idée que le programme devait être une surprise. Je pensais que ce programme serait une occasion d'entendre certains d'entre eux nous parler de leurs travaux de recherche actuels, mais, comme vous l'avez certainement remarqué, aucun d'entre eux n'a donné d'exposé.

À tous mes anciens élèves je veux dire que je crois me souvenir de chaque échange, de chaque idée forte, presque de chaque tableau noir, de la soutenance, du premier poste et que je mesure bien la chance que j'ai eue de les avoir rencontrés, en ayant été aux bons endroits au bon moment, à l'INRIA, à l'École Polytechnique (d'où viennent trois des organisateurs, Charles Bordenave, Marc Lelarge et Jean Mairesse), puis à l'ENS et enfin actuellement à UT Austin.

La relation maître-élève est en apparence fortement contrainte par la disymétrie entre celui qui est censé en savoir un peu plus et avoir le recul de l'expérience et celui qui est censé en savoir un peu moins, entre celui qui est supposé donner un sujet et celui qui est supposé l'accepter et le faire sien. Dans quasiment tous les cas que j'ai connus, cette disymétrie a été dépassée et la relation maître-élève a préfiguré la grande relation de création jointe liant deux chercheurs, relation où la force de création de la collaboration est bien plus grande que la somme des forces individuelles.

À mon sens, c'est l'une des grandes forces du monde académique que d'être fondé sur cette relation si singulière où la victoire est dans le dépassement du maître par l'élève plutôt que sur des relations de pouvoir classiques, du type de celles observées dans les administrations ou dans l'industrie.

J'aborde maintenant la partie plus personnelle de ce discours.

Mes premiers travaux étaient centrés sur la théorie des files d'attente et plus généralement sur ce qu'on appelle maintenant la théorie des réseaux stochastiques. Pour reprendre la belle expression de Guenter Last, mes héros de l'époque s'appelaient Frank Kelly, Leonard Kleinrock et Lajos Takacs. Parmi mes premiers collaborateurs dans ces domaines, je citerai Guy Fayolle, Armand Makowski et William Massey. Mes travaux dans ce domaine ont ensuite été fortement influencés par mes interactions avec la communauté “Stochastic Networks” animée notamment par Frank Kelly, Ruth Williams puis Kavita Ramanan. La théorie des files d'attente a aussi fourni les sujets de thèse de plusieurs de mes étudiants dont Thomas Bonald, Alain Jean-Marie et Alexandre Proutière.

Comme l'a dit Brigitte Plateau dans son discours d'ouverture, mes deux maîtres initiaux en théorie des files d'attente sont turcs. C'est la rencontre avec Hayri Korezlioglu, élève de Jean Ville, qui m'a décidé à me destiner à la recherche. C'est Hayri Korezlioglu qui m'a suggéré de faire ma thèse à l'IRIA, et recommandé auprès de celui qui allait devenir mon directeur de thèse, Erol Gelenbe. Ce dernier avait compris bien avant les autres l'absolue nécessité, dans ce domaine, de travailler aussi sur la modélisation stochastique de systèmes concrets venant de l'informatique et des communications, ce qui était fort singulier en France à la fin des années 70. Cette influence est restée très forte dans ma pratique de la recherche, et je mets mon point d'honneur à publier

régulièrement dans les conférences internationales de ces domaines (de Sigmetrics à Sigcomm en passant par Infocom ou ISIT) que je considère comme des tests de pertinence et de conscience de la réalité. De très belles collaborations ont résulté de cette approche concrète de la recherche, tant avec des pairs, comme Eitan Altman, Jean Bolot, David McDonald, Brigitte Plateau, Darryl Veitch et Jean Walrand, qu'avec des chercheurs qui étaient encore à l'époque de ces collaborations mes étudiants comme Augustin Chaintreau, Dohy Hong et Bruno Kauffmann.

Un événement majeur pour expliquer la suite de mon parcours a été ma rencontre fortuite avec Moshe Zakai, chez Hayri Korezlioglu. C'était peu après ma thèse, je crois, et Moshe Zakai, que je considérais comme un demi-dieu, m'a demandé au détour d'une conversation ce que je faisais comme type de recherche. Je me suis alors défini comme "queueing theorist" et Moshe Zakai m'a répondu d'une phrase que je n'ai jamais oubliée, que c'était là un bien étrange domaine, avec beaucoup de fleurs, mais aucun jardin pour les contenir. C'était très bien dit, à la fois plutôt vrai par comparaison avec la théorie du filtrage, que je connaissais par Hayri, et très perturbant pour moi. Depuis, et cela a été une autre constante, j'ai cherché avec acharnement *le* jardin, puis plus modestement un jardin ou des jardins, tout en continuant à travailler avec la même énergie sur les fleurs qui devaient s'y épanouir.

Le premier domaine que j'ai considéré comme *jardin au sens de Zakai* a été celui développé par l'école d'Allemagne de l'Est sous l'influence initiale de Boris Gnedenko. Avec un petit groupe formé de Pierre Brémaud, Guy Fayolle et Jacques Neveu, nous avons étudié de manière attentive les magnifiques travaux de cette école, et notamment ceux de Peter Franken, Klauss Matthes, Joseph Mecke et Dietrich Stoyan. C'est le *jardin stationnaire ergodique*, que nous avons ensuite essayé de continuer à développer avec Pierre Brémaud, auprès duquel j'ai beaucoup appris. Cette représentation des réseaux stochastiques comme fonctionnelles de processus ponctuels est à mon sens une des plus complètes réponses à la demande formulée par Moshe Zakai. Ce "jardin" est pour moi à l'origine d'interactions fortes avec l'école allemande (Volker Schmidt et ses étudiants) et avec l'école de Berkeley (Jean Walrand puis Venkat Anantharam, Nick Bambos, Takis Konstantopoulos et Gustavo de Veciana). Il a toujours été et continue à être au cœur de mes préoccupations, avec des recherches en cours avec Mir Omid Mirsadeghi sur les mesures de Palm (prolongeant nos travaux avec Charles Bordenave), avec Fabien Mathieu et Ilkka Norros sur le modèle des connexions aléatoires et avec Venkat Anantharam sur les processus ponctuels dans le régime de Shannon.

Le deuxième jardin a été l'aventure algébrique du max-plus, poursuivie à l'INRIA avec un groupe dont les autres membres initiaux étaient Guy Cohen et Jean-Pierre Quadrat. Se sont ensuite adjoints Geert-Jan Olsder, puis de nombreux collègues dont Serguei Foss et Volker Schmidt. Le max-plus a été la base de nombreux sujets de thèse: Bruno Gaujal, Dohy Hong, Marc Lelarge Zhen Liu et Jean Mairesse notamment. Si ces structures faisait déjà l'objet d'études en France (Michel Gondran et Michel Minoux), en Grande Bretagne (Raymond Cunningham-Green) et en Russie (Victor Maslov), Jean-Pierre Quadrat a le premier proposé de représenter les primitives de synchronisation des réseaux dans cette algèbre. Il s'est concentré sur le cas de dynamiques déterministes. Je me suis pour ma part intéressé au cas stochastique, qui convient mieux à la théorie des files d'attente comme indiqué dans son exposé par Philippe Bougerol. J'ai d'abord cherché à comprendre la structure algébrique des solutions proposées par R.M. Loynes dans son célèbre article de 62. Cette compréhension, l'extension de ces schémas au cas vectoriel et l'analyse des régions de stabilité en terme d'exposants de Lyapunov max-plus ont été dans mon esprit un triomphe de la mathématique sur la complexité de la dynamique des réseaux stochastiques. Cette approche algébrique de la théorie des réseaux a eu un impact sur le "network calculus" qui est fondé sur les min-convolutions, et qui a été développé par Cheng Shang Chang, puis Jean-Yves Le Boudec et Patrick Thiran, ainsi que des applications à l'analyse de systèmes concrets en productique, en informatique parallèle et dans le domaine des communications. Nos

travaux sur ce sujet ont aussi conduit à une réflexion collective avec Jean-Pierre Quadrat, Guy Cohen et Geert-Jan Olsder sur le max-plus dans le cadre d'un livre qui a été une expérience enthousiasmante. Ces structures algébriques ont aujourd'hui un impact sur des branches très diverses des mathématiques. La géométrie max-plus (dite tropicale) est par exemple devenue une branche très active de la géométrie algébrique. Cette ligne de pensée me passionne toujours autant, même si je ne la suis plus de manière aussi attentive que dans les années 90. Je travaille actuellement avec Ngoc Mai Tran sur une branche stochastique de la géométrie tropicale, et avec Serguei Foss sur des problèmes max-plus linéaires de dimension infinie en milieux aléatoires.

Le troisième jardin est celui de la géométrie stochastique pour les réseaux de communication. Nous avons développé des méthodes d'analyse d'architecture de réseaux filaires avec Maurice Klein et Serguei Zuyev dans les années 90 pour répondre à des questions de France Télécom qui cherchait à évaluer le coût de la couverture universelle offerte par son réseau. Influencé une fois encore par les outils de géométrie stochastique développés par D. Stoyan, dont j'avais vu les développements récents à Berlin-Est en 88, j'ai proposé cet axe de recherche à Serguei Zuyev à son arrivée en France. Comme il a évoqué ceci dans son exposé, je me concentrerai sur les travaux sur le sans-fil avec Bartek Blaszczyzyn. Nous nous sommes lancés dans ce grand chantier dès son arrivée à l'ENS à la fin des années 90. Le but était de représenter les réseaux radio comme des fonctionnelles de processus ponctuels dans le plan, généralisant le fait bien clair à nos yeux que la théorie des files d'attente consistait à représenter les réseaux classiques comme des fonctionnelles de processus ponctuels sur la droite réelle. Ce fut, comme l'a dit Venkat Anantharam dans son exposé, un effort conscient de structuration d'un nouveau domaine, avec l'espoir que ces techniques deviendraient à terme aussi ubiquitaires dans le domaine du sans-fil que la théorie des files d'attente pour le filaire. Le pari est peut-être en passe d'être gagné, quinze ans après l'article initial publié en 2001 avec Bartek Blaszczyzyn. De nombreux collègues et plusieurs groupes industriels un peu partout dans le monde s'intéressent aujourd'hui à cette approche. C'est le souhait de continuer le développement de cet axe de recherche qui m'a décidé à accepter la chaire Math+X que j'occupe actuellement à UT Austin, généreusement offerte dans ce but par Jim Simons.

Pour conclure, je remercie les organisateurs et les sponsors de cette très belle conférence qui a été une célébration à la fois de la science et de l'amitié. Je remercie plus généralement ceux qui ont soutenu mes projets de recherche, et tout particulièrement (I)I(N)RIA qui m'a beaucoup apporté et m'a permis de prendre de vrais risques scientifiques sur le long terme. J'espère que les jeunes générations continueront à bénéficier de la même bienveillance et de la même liberté.

Enfin, je remercie ma famille, qui est le vrai cœur de ma vie, et surtout mon épouse Béatrice sans laquelle rien de rien de ce qui nous rassemble aujourd'hui n'aurait été possible. Comme tous ceux qui font de la recherche le savent, ceci a demandé une très grande quantité de travail et donc de temps pris sur la vie familiale. Un peu trop sans doute.