



SÉANCE PLÉNIÈRE - MERCREDI 14 AVRIL 2021

VisioTeams - 08h30-16h00

08h30-10h00 - Rencontre-débat

François Bayrou, Haut-Commissaire au Plan sur le thème « *Le Haut Commissariat : son rôle et ses premières actions* »

10h00-11h45 - Séance interne

- 10:00-10:20 Informations générales, **Pascal Viginier et Edwige Bonnevie**
- 10:20-11:00 Présentation du document « *Covid-19 : modélisations et données pour la gestion de crise multifactorielle* », **Albert Benveniste**
- 11:00-11:10 Présentation de l'Avis du Comité de la qualité, **Jean Frêne**
- 11:10-11:45 Campagne de recrutement de nouveaux membres : vote de nouveaux groupes de compétences et lancement de l'appel à candidatures, **Dominique Vernay**

14h00-16h00 - Séance thématique

La modélisation à l'épreuve des grands événements sanitaires, sociaux et environnementaux

Séance organisée et animée par **Alain Pavé**, académicien

14:00-14:10 Introduction - **Alain Pavé**

14:10-14:40 **Écotoxicologie : modéliser pour mieux évaluer** - **Sandrine Charles**, professeur à l'Université Claude Bernard Lyon (Laboratoire de biométrie et de biologie évolutive, UMR CNRS 5558)

L'écotoxicologie est une discipline récente située à la confluence de l'écologie, de la chimie et de la toxicologie. Ce terme apparaît pour la première fois en 1969 sous la plume du toxicologue français René Truhaut (1975). Les objets d'étude de l'écotoxicologie sont le comportement et les effets d'agents polluants sur les écosystèmes, qu'il s'agisse d'agents d'origine artificielle (médicaments, perturbateurs endocriniens...) ou d'agents naturels, dont l'homme modifie la répartition et/ou les cycles dans les différents compartiments de la biosphère (l'eau, le sol et l'air) [2], ou encore émis spontanément (cas des émissions volcaniques). Pour identifier et évaluer au mieux les risques liés à ces facteurs, des études de terrain sont menées, ainsi que des expériences en laboratoire, couplées à la modélisation des dynamiques des contaminants, en bout de chaîne des normes et des règles peuvent être élaborées et appliquées. Notre exposé illustrera la démarche de modélisation dans ce contexte, le cadre général est celui des modèles à compartiments et des méthodes d'estimation des paramètres de ces modèles à partir de données de terrain ou de laboratoire, et d'élaborer un logiciel intégrant toutes les fonctionnalités nécessaires.

14:40-15:10 **Modélisation qualitative vs quantitative : autour de la crise de la Covid19** - **Juliette Rouchier**, directrice de recherches au CNRS, Université de Paris Dauphine, Laboratoire d'Analyse et de Modélisation d'Aide à la Décision, UMR CNRS 7243

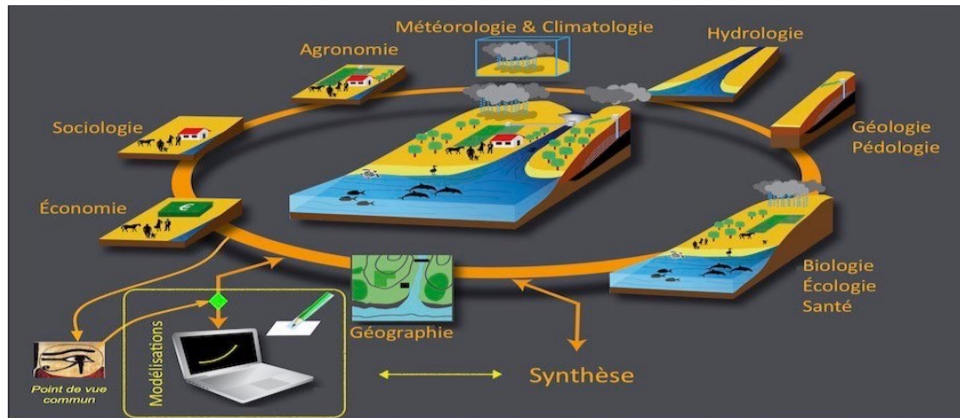
La période de la Covid a permis la mise en visibilité de la simulation agents : c'est ce type de modèle qui a été à l'origine des prévisions très pessimistes émises par l'Imperial College de Londres, et qui a généré la mise en place de gestions politiques inédites de crise sanitaire. Néanmoins, dès le début de la crise, la critique a été forte à l'encontre des prévisions quantitatives à partir de modèles agents, en particulier dans un contexte de forte incertitude sur les données. Nous décrirons certaines critiques posées sur cet usage quantitatif à visée prédictive. Nous proposerons ensuite, après en avoir expliqué la logique démonstrative, des exemples de modélisation qualitative telles qu'elles ont été développées pendant la crise et comment elles peuvent aider à penser un problème grâce à des explications de phénomènes émergents, mais aussi une réflexion sur l'articulation entre méthodes de mesure et de modélisation.

15:10-15:40 **Modélisation multi-agents de l'effet de la ségrégation du quotidien sur les comportements de santé** (modèle collectivement élaboré avec C. Cottineau, J. Perret, R. Reuillon et S. Rey-Coyrehourq) **Julie Vallée**, directrice de recherche CNRS (Géographie - Cités UMR 8504)

Cette présentation discutera des motivations et des résultats liés à la construction d'un modèle multi-agents pour étudier les effets de la ségrégation sur la dynamique des inégalités sociales dans les comportements alimentaires. Nous partons du constat que l'espace urbain est ségrégué socialement à la fois lorsqu'on l'observe à partir des lieux de résidence ou des lieux du quotidien. La mobilité quotidienne des uns et l'immobilité des autres impliquent que tous les mécanismes expliquant les inégalités sociales de santé doivent être envisagés dans le temps et dans l'espace. A partir d'une population synthétique de 8 millions d'agents correspondant à celle de l'Île-de-France, des lieux et heures des déplacements quotidiens tels qu'observés par l'Enquête Globale Transport (2010) et des changements de comportement alimentaires observés entre les Baromètres Santé Nutrition de 2002 et de 2008, nous montrons que la ségrégation au cours de la journée renforce l'effet de la ségrégation à la résidence et accroît l'ampleur des inégalités sociales des comportements alimentaires.

15:40-16:00 Conclusion - **Alain Pavé**

La modélisation à l'épreuve des événements sanitaires, sociaux et environnementaux



Synopsis

Presque toutes les disciplines scientifiques sont mobilisées pour attaquer les divers problèmes sanitaires, sociaux et environnementaux. La modélisation est une méthodologie maintenant largement partagée, mais aussi discutée. Cependant, au-delà des apparences et de l'utilisation même du terme, les pratiques diffèrent selon les objectifs, les disciplines et les modes de représentation utilisés :

- D'une part, dans les secteurs où les connaissances sont très formalisées et où des lois sont écrites avec des formules mathématiques et dont les modèles, s'appliquant à des cas particuliers, sont des instanciations de ces formules, la modélisation suit peu ou prou un schéma déductif, mais qui reste limité pour aborder certaines situations, par exemple des comportements, même simples d'individus ou de groupes sociaux. La variabilité est supposée soit d'origine instrumentale, soit d'origine environnementale, mais aussi propre aux processus endogènes (ex. chaos dit déterministe, depuis 1960, mais pressenti par Poincaré dès 1912). L'incertitude résultante est liée à la combinaison de ces aléas.
- D'autre part, Dans les sciences de la vie et dans les sciences sociales, il existe une diversité de modèles formalisés parfois avec des expressions mathématiques, mais aussi avec des représentations plus adaptées à la nature des problèmes (par exemple, des modèles de la théorie des langages pour la morphogenèse d'organismes vivants, ou les systèmes multi-agents pour les dynamiques sociales et spatiales et les processus les combinant). En fait, presque toute les disciplines y font appel. Pour prendre en compte la grande diversité des situations, le recours à des listes de modèles reste possible (par exemple, pour représenter la croissance d'un organisme, une dizaine de modèles sont habituellement utilisés). Néanmoins, la principale théorie des sciences de la vie, celle de l'évolution, n'est pas formalisée, sauf pour la représentation phylogénétique ; d'autres, comme la génétique quantitative, le sont largement. Du côté des sciences sociales, l'économie est très mathématisée, mais l'utilisation irréfléchie de ses modèles a conduit à bien des erreurs, d'autres approches plus réalistes sont néanmoins possibles. Dans ces secteurs, le schéma de modélisation est plutôt inductif. La variabilité est aussi d'origine instrumentale, environnementale, ou propre aux processus endogènes ; dans certains cas, elle peut être modulée, par exemple accélérée pour augmenter la vitesse d'évolution d'une population. La variabilité résultante, parfois très grande, est un handicap pour le modélisateur, mais est souvent un élément constitutif des processus en cause, parfois nécessaire, parce que favorable au maintien, à l'adaptation et à l'évolution de beaucoup de systèmes vivants et sociaux. L'incertitude résultante est liée à cette variabilité, mais aussi au choix du modèle. Dans ces cas « ce qui est invariant, c'est la variabilité ».
- Les termes modélisation et modèle sont utilisés dans beaucoup d'autres contextes, par exemple les modèles numériques de terrain ou les modèles, jumeaux numériques d'objets naturels ou technologiques.

Le modèle ne doit pas servir d'argument d'autorité et la démarche éclaire plutôt que « brouiller les pistes », l'humilité reste de mise. L'évolution de la structure d'un modèle, grâce à la comparaison constante avec le réel, est un élément d'analyse de ce système, analyse et modélisation sont en fait souvent imbriquées. Dans le cas d'utilisations normatives, par exemple à des fins prédictives, le modèle doit être identifié et validé.

Toutes précautions prises par ailleurs, l'étude de systèmes complexes implique souvent des disciplines différentes. La modélisation peut faciliter une approche interdisciplinaire et conduire à une représentation synthétique, permettant de mieux comprendre ces systèmes complexes et ainsi de les gérer plus efficacement. À ce sujet, les sciences de l'ingénieur nous ont beaucoup appris. La modélisation traverse les disciplines en tant que méthode, mais aussi par le partage de modèles communs, comme ceux issus de la théorie des langages, éléments clés en informatique, pour les études morphogénétiques (L-systèmes).

Enfin, la modélisation, jusqu'alors activité discrète et peu médiatisée a été mise au premier plan, parfois maladroitement, avec la pandémie de la COVID-19. On voit aussi ressurgir la hiérarchie des disciplines. Par exemple, on s'étonne de la méconnaissance en mathématiques de beaucoup de biologistes, alors que l'ignorance en sciences de la vie et en sciences sociales de la plupart des collègues des sciences physiques ne surprend guère. La hiérarchie comtienne reste omniprésente. Discuter de la modélisation est une excellente occasion de réviser nos habitudes et nos structures de pensée. Cette méthodologie est un « bien commun » scientifique à ménager et à développer collectivement, afin qu'elle éclaire les discours (plutôt que de semer la confusion), qu'elle permette l'élaboration de procédés et d'outils efficaces et la conception de « stratégies opératives » face aux enjeux actuels.

Une anecdote : modélisation et analyse des dynamiques intracellulaires d'ARN.

Fin des années 1970, la dynamique intracellulaire de macromolécules, notamment des ARN, aujourd'hui au premier plan de l'actualité, a été représentée par un modèle issu de l'écologie théorique, le modèle de Volterra-Kostitzin (VK), démarche non standard d'appliquer à la biologie moléculaire triomphante un modèle de l'écologie plutôt méprisée à l'époque. Une autre solution aurait été d'élaborer un modèle *de novo* à partir de modèles élémentaires de la biochimie, mais aurait bien plus gros et compliqué ; en fait il aurait été inexploitable. L'utilisation du modèle VK pour analyser les données expérimentales obtenues sur les cellules de la glande séricigène du ver à soie (*Bombyx mori*), matériel bien adapté à ces études, a montré que cette dynamique est principalement pilotée par les processus de dégradation et non par la synthèse, hypothèse jusqu'alors privilégiée ; ce résultat a été aussi obtenu sur d'autres systèmes cellulaires. Il a aussi été montré que la sélection variétale jouait sur « l'affinité » des enzymes de dégradation pour les ARN, plutôt que sur leur quantité. Enfin, les progrès méthodologiques ont non seulement concerné le choix du modèle mais, sa nature, une équation intégral-différentielle sans solution explicite, a nécessité l'utilisation et l'adaptation de méthodes d'identification (i.e. estimations des paramètres) originales. Les comparaisons entre estimations provenant de dynamiques différentes ont été basées sur des modèles statistiques habituellement utilisés en agronomie, en biomédecine ou en écologie, en gros sur le fonds de commerce des biométriciens. Enfin, le modèle VK pourrait être à nouveau utilisé pour décrire la démographie humaine avec les prévisions de diminution de cette démographie encore hypothétique mais vraisemblable.

Références

Introduction et conclusion - Alain Pavé

1. Écotoxicologie : modéliser pour mieux évaluer - Sandrine Charles, professeure à l'Université Claude Bernard Lyon (Laboratoire de biométrie et de biologie évolutive, UMR CNRS 5558)

Références :

Truhaut R. (1975) Ecotoxicology—A New Branch of Toxicology: A General Survey of its Aims Methods, and Prospects. In: McIntyre A.D., Mills C.F. (eds) *Ecological Toxicology Research*. Springer, Boston, MA.

Gillet P (2018) Histoire de l'écotoxicologie. *SMETox Journal* 1:1-4.

Baudrot V, Charles S. (2019). Recommendations to address uncertainties in environmental risk assessment using toxicokinetics-toxicodynamics models. *Sci. Reports, natureresearch*.9:11432.

Baudrot V, Veber P, Gence G, Charles S. (2018). Fit GUTS reduced models online: from theory to practice. *Integr. Environ. Assess. Manag.* 14:625-630.

Baudrot V, Preux S, Ducrot V, Pavé A, Charles S. 2018. New insights to compare and choose TKTD models for survival based on an inter-laboratory study for *Lymnaea stagnalis* exposed to Cd. *Environ. Sci. Technol.* 52:1582-1590.

Charles S, Delignette-Muller ML, Veber P, Delignette-Muller ML. 2018. MOSAIC: a webinterface for statistical analyses in ecotoxicology. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25:11295-11302.

Kon Kam King G, Veber P, Charles S, Delignette-Muller ML. 2014. MOSAIC_SSD: a new webtool for the Species Sensitivity Distribution, allowing to include censored data by maximum likelihood. *Environ. Toxicol. Chem.* 33:2133-2139.

2. La modélisation qualitative vs quantitative : autour de la crise de la Covid19 - Juliette Rouchier, directrice de recherche au CNRS, Université de Paris Dauphine, Laboratoire d'analyse et de modélisation de Systèmes d'Aide à la Décision, UMR CNRS 724

Références :

Rouchier J., Cioffi-Revilla C., Polhill J.G., Takadama K. 2008. Progress in model-to-model analysis. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 11 (2), 8

Rouchier J., Barbet V. 2020, *La diffusion de la Covid-19. Que peuvent les modèles ?* Éditions Matériologiques, Paris.

Rouchier J. Prévoir ou expliquer : le dilemme de la modélisation de l'épidémie, AOC, 24/04/2020
<https://aoc.media/analyse/2020/04/23/prevoir-ou-expliquer-le-dilemme-de-la-modelisation-de-lepidemie/>

3. Modélisation multi-agents de l'effet de la ségrégation du quotidien sur les comportements de santé (modèle collectivement élaboré avec C. Cottineau, J. Perret, R. Reuillon et S. Rey-Coyrehourq) - **Julie Vallée**, directrice de recherche au CNRS (Géographie - Cités, UMR CNRS 8504)

Références :

Vallée J, Douet A, Lecomte C *et al.* Le Mobiliscope, un outil de géovisualisation de la ville à toute heure.
<https://mobiliscope.cnrs.fr>

Vallée J. 2017. The daycourse of place. *Social Science & Medicine*. Vol 194, pp 177-181. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01598147v2>
<https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2017.09.033>

Vallée J. 2017. Challenges in targeting areas for public action. Target areas at the right place and at the right time. *Journal of Epidemiology and Community Health*. October 2017 Vol 71 No 10, pp 945-946.

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01598129/document>

<http://dx.doi.org/10.1136/jech-2017-209197>

Le Roux G, Vallée J, Commenges H. 2017. Social segregation around the clock in the Paris region, *Journal of Transport Geography*, Volume 59, pp 134-145.

<https://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-01472039/document>

<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.02.003>

Références complémentaires :

Schmidt-Lainé Cl. et Pavé A. - Environnement : modélisation et modèles pour comprendre, agir et décider dans un contexte interdisciplinaire. *Natures, Sciences, Sociétés : Sciences pour l'ingénierie de l'environnement* 10 : s.1, 2002, 5-25.

Pavé A. *Modeling living systems, from cell to ecosystem*. ISTE/Wiley, London, 2012.

Pavé A, Bonnallie-Noël V., Lewin M., Dollet A., Gelenbe E. (Dir.). Modélisation : succès et limites. Actes du colloque CNRS - Académie des technologies, 6 décembre 2016, Académie des technologies 2018. <https://www.academie-technologies.fr/blog/categories/actes-de-colloque/posts/modelisation-succes-et-limites--2>