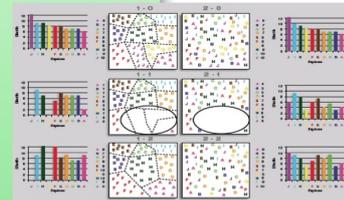
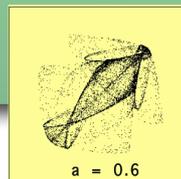
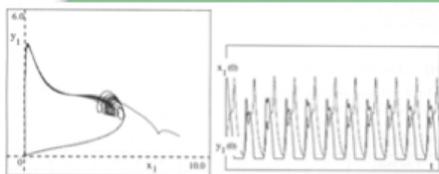




Alain Pavé



Curriculum Vitæ et Biographie sommaire



Sommaire

1. Curriculum Vitæ	3
2. Éléments biographiques	10
2.1. Introduction	10
2.2. Résultats biologiques et écologiques	12
2.3. Résultats méthodologiques et théoriques : modélisation et bioinformatique, biodiversité et évolution, hasard, déterminisme et prédictibilité	15
2.3.1. Modélisation et bioinformatique	16
2.3.2. La dynamique de la biodiversité.....	18
2.3.3. Hasard, déterminisme et prédictibilité : conséquences pour les systèmes vivants	21
2.4. Au service de la formation des jeunes.....	25
2.5. Direction et animation scientifiques	26
3. Production scientifique	32
3.1. Mémoires de thèses	32
3.2. Ouvrages et participations à des ouvrages.....	32
3.3. Articles dans des revues à comités de lecture et indexés.....	34
3.4. Autres publications.....	36
3.5. Analyses d'ouvrages	38
3.6. Conférences.....	39
3.7. Informations et communications scientifiques : articles, émissions, films	41
3.8. Encadrements de thèses	42
4. Projet scientifique	45
4.1. Activité au sein du LBBE (UMR 5558)	45
4.2. Écologie globale - Dynamique de la biodiversité – Modélisation – Interactions homme environnement (CNRS/Inee, FRB, ANR)	45
4.3. Participation aux travaux de l'Académie des Technologies	45
4.4. Approfondissement des recherches sur le rôle et l'origine du hasard dans les systèmes vivants	45
4.5. Écriture d'ouvrages.....	46
4.5. Conclusion	46
Annexe : Évaluation de la section 41 du CNRS (automne 2005)	47

SITE : www.alain-pave.fr (90950 visites enregistrées au 22 juin 2021)

En bref :

Article le plus cité selon Google Scholar : R Grantham, C Gautier, M Gouy, R Mercier, A Pavé, Codon catalog usage and the genome hypothesis, *Nucleic acids research* 8 (1), 197-197 (nombre de citations 1011)

156 articles et ouvrages référencés dans la base, 168 en incluant des publications « grand public ».

Encadrement de 33 thèses.

Nombreuses responsabilités de direction et d'animations scientifiques, activités et innovations pédagogiques.

Selon le Comité National du CNRS : « le profil scientifique et la trajectoire professionnelle d'Alain PAVE sont ceux d'un des meilleurs chercheurs de notre pays »

Termes clés : modélisation, biodiversité, écologie, environnement, bioinformatique, biométrie, Amazonie.

Médaille de la fondation Francqui (Univ. Gand, 1988), Médaille de l'université de Gand (1988), Chevalier de la Légion d'Honneur (2000)

1. Curriculum Vitæ

Alain Pavé

Professeur des Universités (classe exceptionnelle) – Université Claude Bernard Lyon 1

Membre de l'Académie des Technologies

Correspondant de l'Académie d'Agriculture

Né le 6 mai 1943, veuf, 1 enfant

www.alain-pave.fr



Photo : Jfè 2013

Principaux diplômes et grades universitaires : Ingénieur (INSA-Lyon, 1966, promotion A.M. Ampère), DEA Biologie générale et appliquée (option biométrie, 1967, TB, major ex-æquo), Docteur de spécialité (Lyon, 1969, TH-FJ), Docteur d'État ès Sciences (1980, TH-FJ)

Formations complémentaires : Institut de statistique de l'Université de Paris (1969), Institut de perfectionnement à la gestion de la recherche (IPGR), CNRS (1995, promotion Émile Borel)

Carrière : Assistant (1966, Faculté des sciences, Lyon), Maître-Assistant (1969) puis Professeur des universités (PR2, 1/4/1984, PR1, 31/12/1989), Professeur de classe exceptionnelle (depuis le 1/09/96, 2^e et dernier échelon au 1/09/07) en détachement au CNRS (DRCE2) jusqu'au 05/05/2008, réintégré à l'Université le 6/05/2008, admis à la retraite le 6/05/2011, professeur émérite depuis cette date. Enseignements dispensés : mathématiques, biométrie, bioinformatique, modélisation, dynamique des populations, écologie théorique et évolution.

Spécialités scientifiques : modélisation mathématique et simulation des systèmes biologiques et écologiques, biométrie, bioinformatique et biostatistique, dynamique de la biodiversité, biologie et écologie théoriques, biologie et écologie évolutive, sciences de l'environnement.

Production, communication et encadrement scientifiques (au 01/05/2013) : 166 publications (articles et ouvrages, revues d'ouvrages), direction de 33 thèses, nombreuses participations à des films scientifiques, à des émissions de télévision et de radio, 69 conférences comme invité.

Fonctions principales : directeur d'équipe de recherche (1980), directeur de l'URA 243 « Biométrie, Génétique et Biologie des Populations » UCBL-CNRS (1986-1995), directeur adjoint du Programme Environnement du CNRS (1990-1994), directeur du Programme Environnement, Vie et Sociétés du CNRS (1994-1998), directeur de l'UPS CNRS-Guyane et représentant du CNRS en Guyane (2002-2004, renommé en 2006, et renommé à titre intérimaire pour 1 an à compter du 23 mars 2009), directeur du Programme Amazonie du CNRS (2004-2008, renouvelé en 2008 pour 4 ans), chargé de mission auprès du directeur général du CNRS (depuis juin 2008, renouvelé en janvier 2010), directeur scientifique du Grand Projet « Pôle d'Écotoxicologie et de toxicologie environnementale » de la Région Rhône-Alpes (2008-2010).

Parmi les autres fonctions :

- International Francqui Professor (Univ. Gand, 1988) : « Artificial Intelligence in Biotechnology and Natural Resources Management », document [2.24]. et [19-AP-KBSApplications-1992.pdf](#)
- Membre du Conseil Supérieur de la Recherche et de la Technologie (1997-2001), du Conseil scientifique de l'INRA (1993-1996), du Conseil scientifique et technique du Cemagref (1992-1996), du Conseil supérieur de la recherche et de la technologie (1997-2002) du Conseil scientifique du département puis de l'Institut de biologie de l'ENS/Ulm (1990-2000), membre du Conseil National des Universités (1996-1999), du Conseil scientifique et du Conseil de l'école doctorale de l'Université des Antilles et de la Guyane (2005-2008), du Conseil scientifique du *Studium* (Orléans), depuis 2004, du Conseil d'Orientation de la Recherche et de l'Innovation Technologique, Région Centre, depuis 2004.
- Président des conseils scientifiques du GIP ECOFOR (1992-1995), de l'ORSTOM-IRD (1996-2000), du CIRAD (1996-1999), de l'INERIS (1998-2002).
- Expert auprès du Conseil National d'Évaluation de la Recherche (2004), pour l'évaluation de la contribution française à la recherche agronomique internationale.

Académies et sociétés savantes : membre correspondant de l'Académie d'Agriculture de France (depuis 2000), membre de l'Académie des Technologies (depuis 2002), [président de la commission environnement de l'Académie des Technologies \(2013-2018\)](#), [délégué territorial à la vie académique \(Rhône-Alpes, 2012-2015\)](#), membre de l'Académie des Sciences de New York (2006), *Sigma Xi, The Society for Scientific Research*, Full Member (depuis 2007), membre de plusieurs autres sociétés savantes dont l'AAAS¹.

Distinctions : Médaille de la fondation Francqui (Univ. Gand, 1988), Médaille de l'université de Gand (1988), Chevalier de la Légion d'Honneur (2000).

¹ American Association for the Advancement of Science

Publications et conférences invitées depuis 2002 et quelques références antérieures

Ouvrages et participation à des ouvrages

- [1] Barbault R., **Pavé A.** Écologie des territoires et territoires de l'écologie. Caseau P. (Ed). Études sur l'environnement : du territoire au continent. Académie des Sciences, RST « *Études sur l'environnement. De l'échelle du territoire à celle du continent* », Lavoisier, Tech&Doc, 2003, 1-48.
- [2] **Pavé A.**, Pumain D., Schmidt-Lainé Cl. Dynamique des territoires : les changements de couverture et d'utilisation des terres. Caseau P. (Ed). Académie des Sciences, RST « *Études sur l'environnement. De l'échelle du territoire à celle du continent* », Lavoisier, Tech&Doc, 2003, 51-77.
- [3] CNER - La recherche agronomique française pour le développement : enjeux internationaux (Expertise : Michel Petit, **Alain Pavé** avec le concours d'Ariel Crozon), La Documentation française, 152p, 2005.
- [4] **Pavé A.** Hierarchical Organization of Biological and Ecological Systems . In : *Hierarchy in Natural and Social Sciences* (D. Pumain, ed.). Methodos series, Springer, 2006, 39-70.
- [5] **Pavé A.** *La nécessité du hasard – Vers une théorie générale de la biodiversité*. EDP-Sciences, 2007, 192p.
- [6] **Pavé A.** L'évolution entre hasard et nécessité, entre science et sociétés. Parcours, Cahiers du GREP Midi-Pyrénées, N° 39-40, 2008-2009, pp203-225.
- [7] **Pavé A.** *On the Origins and Dynamics of Biodiversity : the Role of Chance*. Springer US, New-York, 2010, 178p.
- [8] **Pavé A.** et Fonet G. *Amazonie, une aventure scientifique et humaine du CNRS*. Galaade, Paris, 2010, 156p.
- [9] **Pavé A.** *La course de la Gazelle. Biologie et écologie à l'épreuve du hasard*. EDP Sciences, Les Ulis, 2011.
- [10] **Pavé A.** *Modélisation des systèmes vivants : de la cellule à l'écosystème*. Hermès/Lavoisier, Paris, 2012.
- [11] **Pavé A.** *Modeling living systems, from cell to ecosystem*. ISTE/Wiley, London, 2012.
- [12] **Pavé A.** Jean-Marie Legay (1925-2012), pionnier de la modélisation ; In : *Modéliser & simuler. épistémologies et pratiques de la modélisation et de la simulation*, Éditions Matériologiques, Paris, tome 1, 713-727. 2013.
- [13] **Pavé A.** Entre protection et élimination, que deviennent les petites curiosités de la nature ? ? In : *Le développement durable à découvert*. Ed. Agathe Euzen, Laurence Aymard et Françoise Gaill. CNRS Éditions. 98-99, 2013.
- [14] **Pavé A.**, Lecointre G., Longo G., Walliser B., Zwirn H., Lachièze-Rey M. Hasards et évolutions. In « *Évolution(s) : des galaxies aux sociétés humaines* » (Dir. Gargaud M.), Ed. Matériologiques, Paris, 2015
- [15] **Pavé A.** Les cailloux du Petit Poucet. EDP Sciences (2015).
- [16] **Alain Pavé.** Modeling in Contemporary Sciences. Efficiency and limits. Examples from Oceanography. In « *Tools for Oceanography and Ecosystemic Modeling* » (Ed. Monaco A and Prouzer P.), ISTE, 2016, 313-335.
- [17] Marion Guillou, **Alain Pavé** (dir.) Les technologies et le changement climatique, des solutions pour l'atténuation et l'adaptation. Académie des technologies, Paris, 2016, 103p.
- [18] **Alain Pavé.** Le point de vue du modélisateur. In « *Qu'est-ce que la science pour vous ? 50 scientifiques et philosophes répondent* » (Ed. Marc Silberstein), Éditions Matériologiques, 2017, 199-203.
- [19] **Alain Pavé**, Virginie Bonnallie-Noël, Mathieu Lewin, Alain Dollet, Erol Gelenbe (Dir.). Modélisation : succès et limites. Actes de 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>
- [20] **Alain Pavé**, Comprendre la biodiversité, vrais problèmes et idées fausses. Editions du Seuil, 2019.

Parmi les mémoires et ouvrages parus avant 2002

Chassé J.L., **Pavé A.** – *Probabilités, statistiques et biologie*. CEDIC, Lyon, 1975.

Pavé A. *Contribution à la théorie et à la pratique des modèles mathématiques pour l'analyse dynamique des systèmes biologiques. Étude de quelques cas typiques en biologie cellulaire et moléculaire*. Thèse d'état, Université Claude Bernard - Lyon 1, 1980, 147 p., *Reéditée en 1986*.

Pavé A. (Ed.) *Les Cahiers d'Edora*, INRIA, 1988, 240p.

Thoiron P. et **Pavé A.** *Index et concordance pour " Alice's Adventures in Wonderland " de Lewis Carroll.* Ed. Champion-Slatkine, Genève, livre et 10 microfiches, 1989.

Gautier N., **Pavé A.**, Rechenmann F. Object centered representation and fish identification in Antarctica. In : *Advances in Computer Methods for Systematics Biology* (R. Fortuner Ed). The John Hopkins University Press, 1992, 181-196.

Jollivet M. et **Pavé A.** O meio ambiente : questões e perspectivas para a pesquisa. In « Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento », Ed. Freire Vieira P. e Weber J., Cortez, São Paulo, 1997, 53-112.

Pavé A. (Ed.) *Modelling and simulation.* Society for Computer Simulation, 1993, 610 p.

Pavé A. *Modélisation en biologie et en écologie.* Aléas, Lyon, 1994, 560p.

Articles dans des revues scientifiques

[21] 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.

[22] **Pavé A.** et Laurent Cl. – Les Très Grands Équipements pour la recherche : vers une nouvelle définition des concepts et des moyens. *Natures, Sciences, Sociétés*, 10 :2, 2002, 80-92.

[23] **Pavé A.**, Hervé J.C. et Schmidt-Lainé Cl. Mass extinctions, biodiversity explosions and ecological niches. *C.R. Biologies*, 325 : 7, 2002, 755-765.

[24] **Pavé A.**, Schmidt-Lainé Cl. Integrative biology: modelling and simulation of the complexity of natural systems, *Biology International*, 44, 2003, 13-24.

[25] **Pavé A.** La modélisation et la simulation des objets et processus complexes. Questions scientifiques, méthodologiques et éthiques. *Nature, Sciences, Sociétés*, 13, 2005, 169-171.

[26] **Pavé A.** Les moyens lourds de la recherche : un exemple de « développement durable » pour la science. *La revue pour l'histoire du CNRS*, mai 2005.

[27] **Pavé A.** À propos de la conférence internationale « Biodiversité, Science et Gouvernance » : le point de vue d'un biométricien. *Natures, Sciences, Sociétés*, 13, 2005, 440-446

[28] **Pavé A.** By way of introduction : Modelling Living Systems, their diversity and their complexity. Some Methodological and Theoretical Problems. *C.R. Biologies*, 329, 2006, 3-12.

[29] **Pavé A.** Necessity of chance: biological roulettes and biodiversity, *C.R. Biologies*, 330, 2007, 189-198.

[30] **Pavé A.** Eau et territoires. *Natures, Sciences, Sociétés*, 15-4, 2007, 424-426.

[31] Lévêque C., Mounolou J.C., **Pavé A.**, Schmidt-Lainé Cl. À propos des introductions d'espèces, écologie et idéologies. *Études rurales*, 2010, 185 : 219-234.

[32] **Pavé A.** Jean-Marie Legay : le scientifique, l'humaniste et le novateur. *Natures, Sciences, Sociétés*, 21, 99-101, 2013.

[33] Baudrot V., Preux S., Ducrot V., **Pavé A.** and Charles S. New Insights to Compare and Choose TKTD Models for Survival Based on an Interlaboratory Study for *Lymnaea stagnalis* Exposed to Cd. *Environ. Sci Technol.* 2018, 52(3),1582-1590.

[34] **Pavé A.** Amazonie : un vaste écosystème en évolution permanente, Encyclopédie de l'environnement, en ligne depuis le 21 octobre 2019. (En français et en anglais)

<https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/amazonie-ecosysteme-evolution-permanente/>

Quelques articles parus avant 2002

Pavé A. Estimation of tracer waiting time in morphological structures using a catenary irreversible compartmental system. *Exp. Cell Research*, 1977, 149-150.

Pavé A. Dynamics of Macromolecular populations : a Mathematical Model of the Quantitative Changes of RNA in the silk gland during the last larval instar. *Biochimie*, 61, 1979, 263-273.

Grantham R., Gautier C., Gouy M., Mercier R. et **Pavé A.** - Codon catalog usage and the genome hypothesis. *Nucleic Acids Research*, 8, 49-62, 1980.

Pavé A., Rechenmann F. Computer aided modelling in biology : an Artificial Intelligence approach. « *A.I. Applied to Simulation* », *SCS Simul. Serie*, 18, 1986, 52-66.

Corman A., Carret G., **Pavé A.**, Flandrois J.P., Couix C. Bacterial growth measurement using an automated system : mathematical modelling and analysis of growth kinetics. *Ann. Inst. Pasteur / Microbiol.*, 1986, 137-B, 133-143.

Pavé A. Modélisation en Biologie : problèmes liés à l'interprétation des objets mathématiques. *Bulletin de la Société Mathématique de France*, 115, 130-140, 1987.

Gautier N. et **Pavé A.** Object Centered Representation for Species Systematics and Identification in Living Systems in Nature. *Cabios*, 6, 1990, 383-386.

Pavé A. Interpretation of population dynamics models by using schematic representations. *Journal of Biological Systems*. 1993, 1:3, 275-309.

Jollivet M. et **Pavé A.** L'Environnement un champ de recherche en formation. *Natures, Sciences, Sociétés*, 1993, 1 : 1, 6-20.

Bousquet F., Cambier C., Mullon C., Morand P., Quensière J. and **Pavé A.** Simulating the Interaction Between a Society and a Renewable Resource. *Journal of Biological Systems*. 1:2, 199-214, 1993.

Lévêque C., **Pavé A.**, Abbadie L., Weill A., Vivien F.-D. Les zones ateliers, des dispositifs pour la recherche sur l'environnement et les anthroposystèmes. *Natures, Sciences, Sociétés*, 4, 44-55, 2000.

Pavé A. Environnement et développement : approches scientifiques, structuration du domaine et coévolution des recherches. *Natures, Sciences, Sociétés*, 1997, 50-63.

Pavé A. French environmental labs may get " big science " funds. (interview), *Nature*, 403, 2000, 822.

Pavé A. Deux programmes de recherche sur l'environnement dans les années 1990-1998 : le programme Environnement, puis le programme Environnement, Vie et Sociétés. *La Revue pour l'Histoire du CNRS*. 4, 2001

Quelques autres publications

[35] Schmidt-Lainé Cl. et **Pavé A.** Les sciences et technologies du vivant au *Cemagref*. Situation et perspectives. *Sciences pour l'ingénierie de l'environnement, Natures, Sciences, Sociétés*, 10 : s.1, 2002.

[36] Lointier M., **Pavé A.**, Andrieux P., Bonnet M.P., Cavallès M., Fabre G., Fotsing J.M., Garrec J.P., Grimaldi C., Lévi Y., de Mérona B., Polidori L., Sabatier D., Schmidt-Lainé Cl., Tostain O. Impact des activités futures d'Ariane 5 sur l'environnement humain et naturel. IRD et CNES, 2003. 67p.

[37] **Pavé A.** Hasard et chaos. Présentation et conclusion de la séance « Non linéarités et comportements chaotiques des systèmes naturels ou artificiels : implications en écologie, agronomie et hydrologie/météorologie. » *C.R. Académie d'Agriculture de France*, 2003.

[38] **Pavé A.** Sciences pour les technologies, moteur du développement en Amazonie. Assises de la Recherche en Amazonie, Cayenne, oct-2003, 10p (bilingue Français-Anglais)

[39] **Pavé A.** Projet de programme interdisciplinaire et d'institut interdisciplinaire de recherche sur les systèmes amazoniens. CNRS, oct-2003, 73p.

[40] **Pavé A.** Le Programme Amazonie. CNRS, Mai 2004, 15p.

[41] **Pavé A.** Hasard, Nécessité et biodiversité. Une assurance pour la vie. Académie d'Agriculture de France, 2004, 21p. <https://www.academie-agriculture.fr/publications/articles/hasard-necessite-et-biodiversite-une-assurance-pour-la-vie-par-alain-pave>

[42] **Pavé A.** (resp. rédaction). Projet de PRES en Guyane – Vers un Institut de Recherche Interdisciplinaire sur les Systèmes et Territoires Amazoniens (IRISTA) – 80p, novembre 2006.

[43] Participation au numéro sur la Biodiversité, *Focus*, CNRS, 2006

[44] Sagasciences sur la biodiversité, CNRS rédaction de 2 sections : (1) technologies bioinspirées et (2) Vers une approche théorique de la biodiversité (2007)

[45] **Pavé A.** Projet scientifique du Programme Amazonie (phase II, 2008-2011), CNRS, septembre 2007, 83p.

[46] **Pavé A.**, Quessette M-P (Ed.). *Développer et préserver : Technologies, Cultures, Environnement et Développement Durable*. Actes du colloque de l'Académie des Technologies en Guyane, 29-31 octobre 2007, Rémire-Montjoly, Guyane, 2008, Académie des Technologies, CNRS et Silvobab.

[47] Schmidt-Lainé Cl., **Pavé A.** La modélisation au cœur de la démarche scientifique et à la confluence des disciplines. *Les Cahiers du Musée des Confluences* (Lyon), 2008, 2, 21-36.

[48] **Pavé A.** La question de la biodiversité – 2010 année internationale de la biodiversité. *Note de l'Académie des Technologies*. Janvier 2010, 25p.

[49] **Pavé A.** et al. Projet scientifique du Centre d'Ecotoxicologie et de Toxicologie Environnementale de Rovaltain. Rovaltain, juin 2010.

[50] **Pavé A.** Le hasard maître des lieux. TDC (textes et documents pour la classe), numéro spécial « la biodiversité », 1001, 2010, 26-27.

[51] La vie un joyeux bazar. Encart dans le cahier spécial du numéro de janvier 2011 de La Recherche (spécial biodiversité, article rédigé sur interview par Isabelle Bellin)

[52] **Pavé A.** (rédacteur) 35 ans d'interdisciplinarité au CNRS. Rapport interne du CNRS, 2012.

[53] **Pavé A.** Amazonie entre mythes et réalités. La forêt amazonienne est-elle un modèle pour l'écologie ? *Les Cahiers de la fondation Pierre Vérots*. 2018, 22-37.

[54] **Pavé A.** La biodiversité entre croyance et connaissance. *Analyse, Opinion, Critique*, 19 avril 2019.

<https://aoc.media/analyse/2019/04/19/biodiversite-entre-croyance-connaissance/>

Et parmi les diverses publications avant 2002

Pavé A. et Pagnotte Y. Applications of Bilinear Models to Biological Systems. *Proceed. of IFAC workshop on "Systems and Information". Compiègne, 1977, 162-170.*

Rousseau B., **Pavé A.**, Rechenmann F. et Landau M. Edora project: Artificial Intelligence approach and work station concept to aid dynamic modelling in biology and ecology. *Suppl. Proceed. of the Summer Computer Conference, Reno Nevada, 1986, SCS, 14-20.*

Jollivet M. et **Pavé A.** L'Environnement : Questions et Perspectives pour la Recherche. *Lettre du Programme Environnement du CNRS, n°6, 5-29, 1992.*

Pavé A., Jollivet M. About Nature Science and Society : the example of the Environment - a new deal for Scientists and Engineers. Proceedings of the International Symposium *The Culture of Engineering in a Rapidly Changing World. University of California Berkeley, French Conf. « Grandes Ecoles » & MIT. U.C. Berkeley, nov. 1993. 168-180.*

Pavé A. Synthèse des travaux du Programme Environnement, Vie et Sociétés du CNRS. Éléments prospectifs. CNRS, Mai 1998, 50p.

Pavé A. Courtet C., Volatier J-L. Environnement : comment la communauté scientifique voit les problèmes. *Courrier de l'Environnement, INRA, 34, 109-114, 1998.*

Pavé A., Courtet C., Volatier J.L. - Environnement : Mille chercheurs hiérarchisent les urgences. *La Recherche, Février, 306, 30-31, 1998*

Pavé A. Les recherches sur l'environnement en France. *Rapport du Conseil supérieur de la recherche et de la technologie, 2001, 95-131.*

Conférences invitées depuis 2002

- 6.1. **Pavé A.** Éthique et biodiversité. « Sciences et sociétés », Rio de Janeiro, avril 2002
- 6.2. **Pavé A.** La modélisation en biologie et en sciences sociales : croisements créatifs. Séminaire national : « Environnement et développement : Quelles questions en sciences humaines et sociales ? » Ministère de la recherche, avril 2002.
- 6.3. **Pavé A** et Schmidt-Lainé C. Integrative biology : modelling and simulation of the complexity of natural systems. Int. Conf on Integrative Biology (IUBS, UNESCO, CNRS), Paris, mai 2002.
- 6.4. **Pavé A.** Hasard et chaos. Présentation et conclusion de la séance « Non linéarités et comportements chaotiques des systèmes naturels ou artificiels : implications en écologie, agronomie et hydrologie/météorologie. » *Séance de l'Académie d'Agriculture de France, mai 2002.*
- 6.5. **Pavé A.** Modélisation et environnement. Discours de réception à l'Académie des Technologies. Paris, Mars 2003.
- 6.6. **Pavé A.** Towards an interdisciplinary research institute in French Guiana. IUBS Conf. Le Caire, 19-22 janvier 2004.
- 6.7. **Pavé A.** l'Amazonie : un défi pour la science. CNRS, Montpellier, 2 mai 2005.
- 6.8. **Pavé A.** Hasard, Nécessité et Biodiversité – Vers une théorie générale de la biodiversité. Intern. Summ. School in Microbio., Dakar, 6 mai 2005.
- 6.9. **Pavé A.** Créationnisme vs Évolutionnisme. Conférences Silvolab, Kourou, 11 octobre 2006.
- 6.10. **Pavé A.** Science, société et biodiversité, Conférences Silvolab, Kourou, 15 novembre 2006.
- 6.11. **Pavé A.** Créationnisme vs Évolutionnisme : vraie controverse ou faux débat. Conférences Université Ouverte de Lyon, 16 octobre 2007 et Conférences Silvolab, Cayenne, 14 décembre 2007.
- 6.12. **Pavé A.** L'Évolution, entre hasard et nécessité, entre science et sociétés. Muséum d'histoire naturelle de Toulouse, 11 février 2009.
- 6.13. **Pavé A.** Origin and Role of Chance in Living Systems, *Towards a New Point of View.* Invité. Plenary conférence. 150 years of Darwin's Evolutionary Theory: a South American Celebration, Punta del Este : Uruguay | 2-6 September 2009.
- 6.14. **Pavé A.** Dynamiques et usages de la biodiversité : exemple de l'Amazonie. Conf. plénière Académie des Technologies 09/09/2009.
- 6.15. **Pavé A.** L'Amazonie, un empire de la biodiversité. Forum Lyon-Libé, 24 septembre 2010.

- 6.16. **Pavé A.** La biodiversité : problèmes locaux, enjeux globaux. Les Amis de l'Université de Lyon, 11 octobre 2010.
- 6.17. **Pavé A.** Les mathématiques à la rescousse de la biodiversité. La Fête de la Sciences, UPMC Paris 6, 23 octobre 2010.
- 6.18. **Pavé A.** L'Amazonie, pourquoi tant de biodiversité ? Conférences dans le cadre de l'exposition du CNRS sur la Biodiversité, Le Trocadero, Paris, 24 octobre 2010.
- 6.19. **Pavé A.** L'homme et la biodiversité. "Chercheurs toujours", Institut Pasteur, Paris, 24 mai 2011.
- 6.20. **Pavé A.** Les relations Homme-Nature - Perception, représentation et gestion de notre environnement. CESER Rhône-Alpes, 21 juin 2011
- 6.21. **Pavé A.** Technologies bioinspirées : quand le vivant sert de modèle à l'ingénieur. INSA Lyon (50eme anniv 1er diplôme). 11 octobre 2011
- 6.22. **Pavé A.** Le hasard et la vie : vers une révolution copernicienne en écologie ? Le monde est-il profondément incertain ? Confluence des savoirs, ENS Lyon. 8 novembre 2011
- 6.23. **Pavé A.** La biodiversité en débat : une question scientifique et sociale. Séminaire interne de la Fondation Ecologie d'Avenir de l'Institut de France, Paris. 15 Novembre 2011.
- 6.24. **Pavé A.** Debates about biodiversity: scientific and social issues, University of West Australia (Perth), University of Adélaide (South Australia), University of Melbourne (Victoria), University of Sydney (New South Wales) et Alliances françaises (mai, 2012)
- 6.25. **Pavé A.** Le monde est-il profondément incertain? Le hasard et la vie. Sydney – Lycée français 28 mai 2012
- 6.26. **Pavé A.** Does Amazonian forest mainly result from random processes? Séminaire annuel de la Société de Biologie Théorique (Saint-Four, 12 juin 2012)
- 6.27. **Pavé A.** Can Science and Technology help us to ensure sustainability, the long term development of human society? Conference on International Science Outreach Programs For Global Sustainability Issues (Chicago, 24 octobre 2012).
- 6.28. **Pavé A.** Is biodiversity a strong concept ? Le Studium, Orléans, 10 janvier 2013.
- 6.29. **Pavé A.** Technologies bioinspirées, quand le vivant sert de modèle à l'ingénieur. Académie des Technologies et Universcience, Paris, 13 février 2013.
- 6.30. Biodiversité, histoire du concept. Colloque « La biodiversité, du concept à la réalité », Fondation Écologie d'Avenir, Paris, 19 mars 2015.
<https://www.youtube.com/watch?v=s7FhoogPWYU>
- 6.31. **Pavé A.** L'Amazonie, comment ça marche ? Institut Français de l'Éducation, Lyon, 4 avril 2013.
- 6.32. **Pavé A.** Biodiversité et agriculture. Académie d'Agriculture, 27 juin 2015.
- 6.33. **Pavé A.** A-t-on besoin du hasard pour évoluer ? Université du Québec à Montréal, conférence Pierre-Dansereau, le 3 décembre 2015.
<http://tv.uqam.ca/entrevue-t-on-besoin-hasard-pour-evoluer?cat=44>
- 6.34. **Pavé A.** Hasard en biologie. Conférence de la Région Française de la Société Internationale de Biométrie, le 23 juin 2016.
- 6.35. **Pavé A.** Biomimetics and related topics. Conférence à l'occasion de la multilatérale des quatre moteurs de l'Europe, Lyon, 29 juin 2017 (organisée par l'IESF Rhone-Alpes)
- 6.36. **Pavé A.** Comprendre la biodiversité. Conférence au musée des Arts et Métiers, Paris, le 7 mars 2019.
- 6.37. **Pavé A.** Comprendre la biodiversité. Salon du livre, Paris, le 18 mars 2019.
- 6.38. **Pavé A.** Comprendre la biodiversité. Débat dans le cadre de « Demain la terre », La Garde, 14-15 juin 2019.
- 6.39. **Pavé A.** « Le CNRS, un pionnier de l'interdisciplinarité », Histoire et mémoire, Colloque organisé dans le cadre des 80 ans du CNRS. Paris, 4 novembre 2019.

Médiation scientifique depuis 2002

- 7.1 Feuilleton de la semaine, FR2 : le CNRS en Guyane. Juin, 2005
- 7.2 « La tête au carré » en Guyane, 5-9 décembre 2006, France Inter (CNES & CNRS, Mathieu Vidard)

- 7.3 « Continent science », France-Culture, 7 janvier 2008, 14-15h (Stéphane Deligeorges)
- 7.4 Les forêts tropicales. France 5 monde, 9 novembre 2009.
- 7.5 Pourquoi l'Amazonie. Emission « Autour de la question », RFI, 12 janvier 2010, (Caroline Lachowsky).
- 7.6 La forêt des extrêmes. Continent Science, France Culture, 6 juin 2011 (Stéphane Deligeorges)
- 7.7 La biodiversité en Outre-Mer. France Inter, le 1^{er} aout 2011. (Alexandre Hérault)
- 7.8 Vivant ? vous avez dit vivant ? CitéPhilo, Lille, 8 novembre 2012.
- 7.9 La vie à l'épreuve du hasard. La tête au carré, France Inter, le 26 février 2012 (Mathieu Vidard).
- 7.10 L'Amazonie, l'arbre qui cache la forêt ? À propos du film de Luc Jacquet « Il était une forêt » France Info, le 13 novembre 2013
- 7.11 Parcours de chercheur, chemin balisé façon petit Poucet, France Culture, Continent sciences, 2 mai 2016. (Stéphane Deligeorges)
- 7.12 La lutte contre la déforestation, Chaine Cinaps, TNT (enregistrée le 23 mai 2016, diffusée le 23 juin 2016)
- 7.13 La forêt amazonienne à bout de souffle. France Culture, 12 septembre 2017.
<https://www.franceculture.fr/emissions/la-methode-scientifique/foret-amazonienne-bout-de-souffle>
- 7.14 Faut-il renoncer à la biodiversité ? France Culture (La grande table), le 3 mai 2019

Films

Mission Nouragues : des lycéens guyanais en mission scientifique (co-production CNES, CNRS et rectorat de la Guyane, 2011)

Goolarabooloo, entre nature et traditions (Y.N. Production et Lyon Capitale TV, réalisation, Bruno et Sylvain Cédât, 2012, VOST anglais)

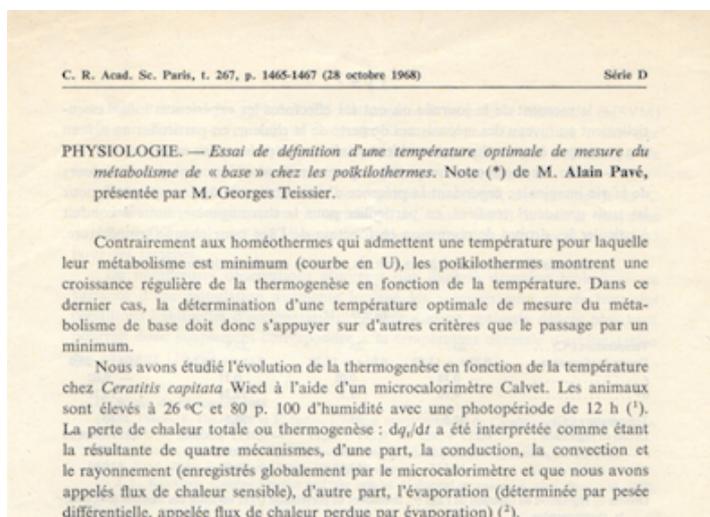
2. Éléments biographiques

Cette présentation chronologique et thématique tente de tracer les étapes et réalisations d'une carrière de chercheur et d'enseignant chercheur. On peut dégager quelques mots clés traduisant un peu plus d'une quarantaine d'années d'activité professionnelle : biométrie, biomathématiques, biostatistique, bioinformatique, modélisation, biologie moléculaire et cellulaire, biologie des populations, écologie et biologie théoriques, biodiversité, évolution, environnement.

Toutes les publications faites ne sont pas référencées dans le texte, mais sont listées par catégorie dans la suite. Certaines sont accessibles sous format pdf (on se référera au site : <http://alain-pave.fr>

2.1. Introduction

Dès le début, ma carrière scientifique est marquée par l'intérêt porté à l'utilisation des mathématiques et de la statistique comme moyens d'obtenir des résultats biologiques. Mais, il a d'abord fallu se plier à l'exercice obligé de la thèse de troisième cycle sur une approche biophysique du métabolisme des insectes [1.1] ; elle a aussi donné lieu à ma première publication, une note à l'Académie de Sciences présentée par Georges Teissier [3.1]. À l'époque je ne mesurais pas encore la dimension de ce personnage et personne ne m'en avait réellement informé. Je le regrette aujourd'hui, car j'aurais maintenant plein de question à lui poser, par exemple : quel a été le rôle de la biométrie dans le développement des sciences de la vie ? Quelles ont été les forces qui ont freiné le développement de la génétique en France dans les années 1920-1930 et pourquoi ?².



Début de mon premier article, une note à l'Académie des Sciences, présentée par Georges Teissier.

Cet article portait sur l'étude des échanges thermiques entre un organisme, en l'occurrence un insecte, le milieu ambiant l'extérieur. L'objectif était de définir l'équivalent du métabolisme de base chez les poikilothermes.

Ensuite, une nouvelle orientation s'impose vers la modélisation mathématique et le développement d'outils informatiques en biologie, notamment pour la conception et la mise en œuvre des modèles eux-mêmes, en développant simultanément mes penchants pour les réflexions théoriques. Georges Teissier ne m'aurait sûrement pas désavoué. Par ailleurs, ingénieur de formation, le souci de la finalité de ma recherche est constant. Aussi cette trajectoire scientifique est-elle marquée par des

² En fait et pour la génétique, des éléments de réponses ont été donnés récemment, notamment dans l'article : Gayon J., Burian R.M. National traditions and the emergence of genetics : the French example. *Nature genetics*, 2004, 5, 150-156.
Pour ce qui est de la biométrie, j'ai tenté d'apporter un éclairage dans mon dernier ouvrage [2.46].

contributions à la résolution de problèmes aussi bien fondamentaux qu'appliqués³. Enfin, cette trajectoire a été possible grâce à mon intégration dans le laboratoire de biométrie de la faculté des sciences de Lyon, fondé et animé par Jean-Marie Legay, intégré dans la « section de biologie générale et appliquée », déjà associé au CNRS sous le label LA 72 et dirigé par Victor Nigon.

Au début des années 1970, ce qu'on appelle aujourd'hui des modèles mathématiques sont issus :

- soit de réflexions théoriques, certains d'entre eux pouvant avoir un grand intérêt pour les mathématiciens mais ayant souvent peu de liens avec des situations concrètes, expérimentales ou de terrain,
- soit d'une approche empirique, le modèle concluant un article mais ne participant pas réellement à la démarche scientifique. C'était fréquent dans les articles de biologie.

Aussi à juste titre, la modélisation est-elle vue, par la majorité des biologistes, comme un exercice intellectuel d'un intérêt limité. Et cela d'autant plus que l'effort à faire n'est pas négligeable. De plus, à l'articulation entre deux disciplines, le modélisateur n'est ni un « vrai » biologiste, ni un véritable mathématicien. Être hybride, il doit convaincre mathématiciens et biologistes de son originalité. En bref, il lui faut définir sa place dans l'orchestre de la recherche. Du côté informatique, nous utilisons alors les ordinateurs comme des calculateurs, ce qui n'empêche pas des développements originaux, comme la réalisation d'un simulateur générique pour les modèles à base d'équations différentielles et récurrentes [3.2], ou de nombreux programmes pour la statistique multivariée.

Outre les travaux au sein du laboratoire, c'est aussi l'aventure du Greco Rhône-Alpes « Analyse des Systèmes », où avec Arlette Chéruy, du Laboratoire d'automatique de Grenoble, en mêlant nos expériences, elle d'automaticienne et moi de biométricien, nous confortons nos bases méthodologiques pour la modélisation des systèmes biologiques et écologiques [2.9]. C'est aussi l'époque où la Société française de biométrie complète son approche traditionnellement statistique par une ouverture sur la modélisation, sous l'impulsion notamment de Richard Tomassone⁴ et de Jean-Marie Legay. En 1976, bien qu'encore novice, je représente la biométrie française à Boston, au bureau de la société internationale du même nom, et je remarque que la même dynamique était en marche au niveau international et me confortait dans mon choix.

En 1980, la thèse, que je soutiens, marque une étape décisive [1.2]. Jusqu'à cette soutenance, mon domaine de développement des modèles concernait la biologie cellulaire et moléculaire. Peu après, l'écologie prend progressivement le relais en partenariat avec le laboratoire d'écologie microbienne fondé et dirigé, à l'époque, par René Bardin. En 1983, le **Club Edora⁵ de l'INRIA** est créé et vit une activité stimulante pendant une dizaine d'année ; nous étions quelques-uns à l'origine de cette sympathique association : Pierre Bernhard (directeur de l'INRIA à Sophia-Antipolis), François Rechenmann (informaticien, chercheur à l'INRIA), Claude Lobry (mathématicien, professeur à l'Université de Nice), Jacques Demongeot (mathématicien et médecin, professeur à l'UJF), Arlette Chéruy et moi-même, qui en assure la présidence, avec un groupe de chercheurs (un peu plus jeunes !), dont Jean-Luc Gouzé (chercheur à l'INRIA). Ce Club a été l'un des moteurs de la promotion de la modélisation dans la communauté française des Sciences de la Vie [2.12][2.30]. Pendant toutes ces expériences, une attention permanente est portée à l'utilisation et à la conception d'outils informatiques originaux. Ces travaux personnels et collectifs contribuent à l'émergence de la

³ Par exemple :

Pour les aspects fondamentaux : les dynamiques intracellulaires des populations de macromolécules [3.4][3.6], le rôle et l'origine du hasard dans la dynamique de la biodiversité. [2.42][2.44][3.46].

Pour les aspects appliqués et finalisés : l'utilisation de modèles pour la mesure des effets d'antibiotiques sur la croissance bactérienne [3.12], l'utilisation des connaissances fondamentales sur la dynamique de la biodiversité pour la gestion des territoires et des grands écosystèmes [2.38][2.44][3.48].

⁴ Richard Tomassone est alors directeur du département de biométrie de l'INRA.

⁵ Il ne s'agit pas du prénom d'une charmante jeune femme, de notre connaissance, mais d'un acronyme signifiant : Équations différentielles ordinaires et récurrentes appliquées... expression un peu moins poétique et qui ne peut faire rêver que les initiés.

« **bioinformatique** » ; ils complètent les travaux du laboratoire lyonnais (le LBBE actuel) ; les relations avec l'INRIA, maintenant formalisées, datent de cette époque. C'est aussi pendant cette période, où je dirigeais le laboratoire, que des collaborations avec le secteur médical se sont formalisées par l'intégration dans ce laboratoire de l'équipe de Jean-Pierre Flandrois avec laquelle je travaillais, une intégration parfaitement réussie et qui a fait « école » depuis.

En 1989, le groupe de réflexion « interactions des mathématiques », auquel je participe, publie une contribution déterminante dans le rapport de conjoncture 1989 du CNRS. Je me souviens des passionnants débats de ce groupe, animés par Jean-Pierre Kahane (mathématicien de renom). Ces réflexions contribuent alors à promouvoir la modélisation, l'une des concrétisations majeures étant la création du Programme Modélisation et Simulation Numérique, du CNRS, qui fut lancé et dirigé par Claudine Schmidt-Lainé, au milieu des années 1990⁶. En outre, au sein du programme environnement du CNRS, à mon initiative, dès 1991, nous créons le programme thématique « méthodes, modèles et théories » pour la recherche sur l'environnement. Cette action est évidemment maintenue lorsque je succède à Alain Ruellan en 1994 et qui dirigeait le programme depuis 1990 ; j'en étais alors le directeur adjoint.

Enfin, en 1996 le Programme Environnement, Vie et Sociétés du CNRS organise un colloque sur les « **tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement** » qui connaît un grand succès⁷. Certes tout n'était pas parfait, mais on ne peut nier que tout cela a contribué à l'émergence d'une communauté de chercheurs et à quelques réalisations assez pertinentes, par exemple : le développement des modèles multi-agents et leur utilisation pratique sur le terrain pour la gestion des ressources renouvelables. Début des années 2000, cette réflexion est approfondie, notamment dans le cadre d'une collaboration avec Claudine Schmidt-Lainé, à l'époque directrice scientifique du *Cemagref* [3.36][3.39].

Depuis, avec une lourde implication au CNRS, notamment pour l'implantation d'équipes de recherche et le développement de stations de terrain en Guyane, l'Amazonie française, j'ai complété cet aspect opérationnel par une réflexion théorique en écologie sur la dynamique de la biodiversité.

2.2. Résultats biologiques et écologiques

Il est difficile d'investir à la fois sur le plan méthodologique et sur le plan expérimental, aussi des collaborations avec des collègues biologistes sont établies. Les premières concernent des travaux aux niveaux **cellulaire et moléculaire**. C'est ainsi que je construis des modèles de **dynamique intracellulaire de macromolécules**. Les principaux résultats sont axés sur les ARN de la glande séricigène du vers à soie, modèle biologique utilisé par l'équipe de Jacques Daillie à Lyon.

Deux résultats marquants sont alors établis [3.6] :

- (1) le mécanisme de régulation des populations d'ARN est sous la dépendance des processus de dégradation et non pas de ceux qui gouvernent la synthèse, comme on le pensait alors,
- (2) la détection de l'impact moléculaire d'une sélection sur ce mécanisme de régulation est interprétable en termes de variations de l'activité des RNA(ase) suivant les souches de vers à soie.



Figure 1- Vers à soie transgéniques obtenus au Centre de Génétique Cellulaire et moléculaire à Lyon. Ce résultat est postérieur aux recherches mentionnées ici. Il a été obtenu par l'équipe avec laquelle j'ai travaillé à l'époque. Photo : Pierre Couble.

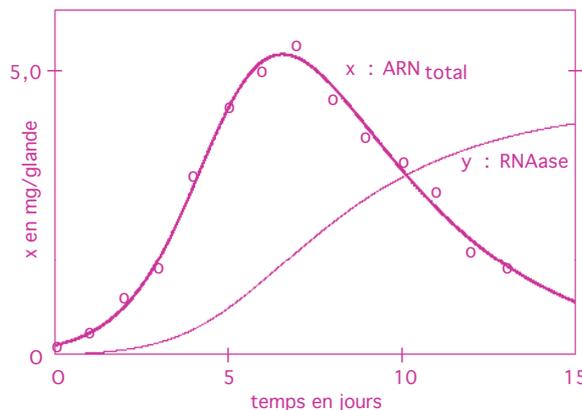
⁶ Schmidt-Lainé Cl. Le Programme Modélisation et Simulation Numérique (MSN). CNRS, 1996.

⁷ Blasco F. (Ed). *Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement*. Elsevier, 1997.

L'une des originalités de ce travail est d'utiliser des modèles de la dynamique des populations développés pour d'autres finalités, notamment le modèle de Volterra-Kostitzin, mais dont l'application en biologie cellulaire s'avère très féconde pour l'étude de la dynamique des macromolécules. Ces résultats sont repris dans ma thèse de doctorat d'État [op. cit.].

Fin des années 1970 et début des années 1980, je contribue à l'équipe de Richard Grantham et donc aux premiers pas d'analyse des séquences génétiques et de création d'une base de données spécifique. Un point à souligner est l'intérêt de développer des approches méthodologiques, simultanément, dans plusieurs secteurs des sciences du vivant. C'est ainsi que l'analyse factorielle des correspondances d'abord adaptée au traitement de données écologiques, est utilisée pour la première fois afin d'analyser l'utilisation des codons synonymes au niveau des gènes. On met alors en évidence des préférences dans cette utilisation suivant la nature du gène et son expression [3.7]. Trente ans après, cet article est toujours régulièrement cité.

Figure 2 - Évolution de la quantité d'ARN total dans la glande séricigène du ver à soie *Bombyx mori* au cours du dernier âge larvaire. Les courbes correspondant au modèle de Kostitzin sont en trait continu. Les points expérimentaux sont représentés par des ronds (seule la variable x, quantité d'ARN total, est observée). On notera la bonne adéquation quantitative du modèle aux données.



En transformant le modèle en expressions équivalentes, on peut arriver à un système différentiel qui peut être traduit en schéma fonctionnel interprétable en termes quasi-biochimiques :

La première « réaction » traduit la production d'ARN (x) à partir de nucléotides (s).

La seconde « réaction » correspond à la production d'une enzyme, la RNAase (y).

La troisième réaction exprime la dégradation de l'ARN (x) par la RNAase (y) avec relargage de nucléotides (s).

Ce modèle, appliqué à des situations biologiques différentes, a permis d'établir les résultats présentés ci-dessus en analysant les différences entre les valeurs estimées des paramètres a, b et c.

Le nouveau méthodologique à l'époque : estimation des paramètres a, b et c, ainsi que de la précision conjointe de ces estimations (ellipsoïdes de précision), d'un modèle non linéaire à partir de la forme différentielle (2)).

Modèle de Volterra Kostitzin (1)	Modèle de Volterra-Kostitzin (2)	Modèle de Volterra-Kostitzin (3)	Schéma fonctionnel
$dx/dt = a x - b x^2 - \int_0^t x(u) du$	$dx/dt = a x - b x^2 - c x y$	$ds/dt = - b s x + c_1/R x y$	$s + x - b \rightarrow (1 + R) x$
$x(0) = x_0$	$dy/dt = x$	$dx/dt = b R s x - c_1 x y$	$x - c_2 \rightarrow x + y$
$x = \text{ARNtotal}$	$x(0) = x_0 ; y(0) = 0$	$dy/dt = c_2 x$	$x + y - c_1 \rightarrow y + 1/R s$
	$y = \text{RNAase}$	$s(0) = s_0$	
		$s = \text{pool de nucléotides}$	

Les autres collaborations concernent l'écologie microbienne⁸. De fait, au début des années 80, les collègues moléculaires plongent dans les délices du séquençage ; les méthodes dans lesquelles j'avais investi pendant 10 ans ne leur sont plus utiles. De plus, comme une équipe du laboratoire, à laquelle j'ai donc contribué un moment, se consacre déjà et avec grand succès à l'analyse de ces séquences, mais avec d'autres outils que ceux que je commence à maîtriser. C'est à ce moment que je crée une équipe « modélisation » dans le laboratoire. Or, l'écologie microbienne, alors à ses débuts, est déjà intéressée par les outils de modélisation que je développe. Donc, simultanément à la création de mon équipe, je me convertis à l'écologie. Les principaux résultats concernent le processus de nitrification dans les sols [8.1][3.8] et les problèmes de régulation des populations microbiennes par des mécanismes écologiques (compétition et prédation, [8.4], [3.13]

⁸ En particulier avec le laboratoire d'Écologie microbienne de Lyon, R. Bardin en était le directeur à l'époque.

[3.14]). Les finalités sont essentiellement agronomiques, mais l'idée est aussi d'utiliser les systèmes microbiens pour étudier des mécanismes fondamentaux en écologie. Nous associons ainsi un intérêt fondamental à une recherche finalisée. L'une des conséquences, inattendue, en est l'exportation des concepts de l'écologie microbienne dans le secteur biomédical, suite à une collaboration avec une équipe du secteur santé (J.P. Flandrois et G. Carret), collaboration qui se traduit, en 1988, par leur intégration dans notre laboratoire, sur des bases principalement méthodologiques. Le succès de cette intégration a conduit à des ouvertures réciproques, l'intérêt pour les problématiques de santé pour la composante biologique et écologique du laboratoire et la prise en compte des processus bio-écologiques et évolutifs dans les recherches biomédicales, notamment sur les maladies infectieuses. On en mesure pleinement aujourd'hui le succès.

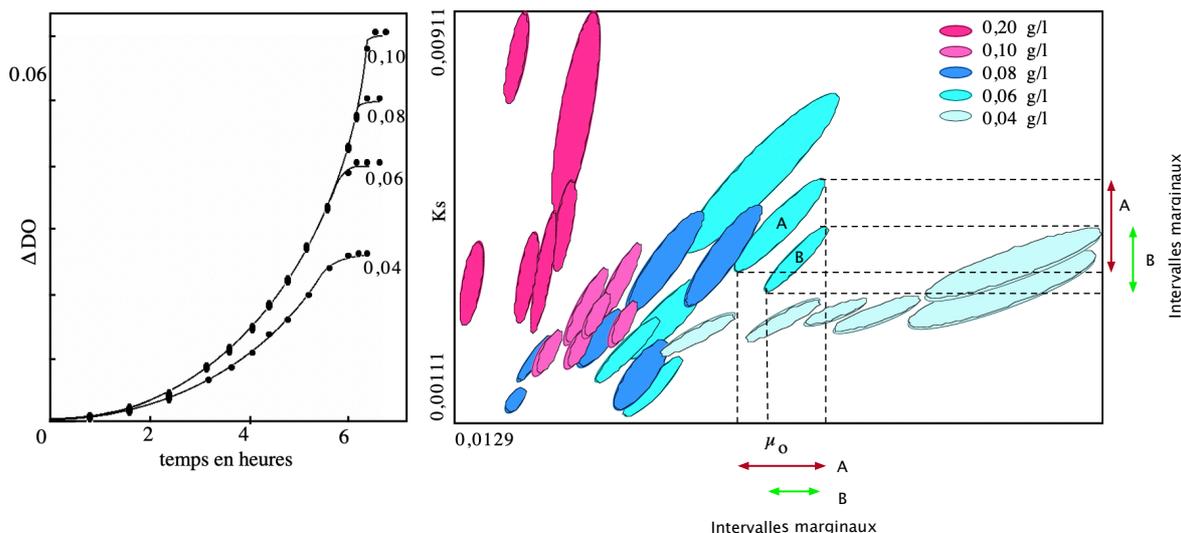


Figure 3 - Exemples de croissances de populations d'*E. coli* en milieu minimum glucosé. Les graphes de la partie gauche (a) montrent l'évolution de ces populations en fonction des ressources du milieu (en l'occurrence la concentration du milieu de culture en glucose). Les points représentent les données expérimentales, les courbes les ajustements au modèle de Monod :

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\mu_0 \times s}{K_s + s}$$

$$\frac{ds}{dt} = -\frac{1}{R} \frac{dx}{dt}$$

Le graphe de la partie droite (b) représente la position des valeurs estimées simultanément des paramètres μ_0 (taux de croissance) et K_s (inverse de l'affinité pour le substrat) associées à des ellipses définissant la précision des estimations (sur 6 essais par concentrations différentes d'antibiotiques dans le milieu)⁹. La précision de l'estimation est d'autant meilleure que les ellipses sont petites et la reproductibilité l'est pour les ellipses les plus regroupées (0,10 g/l), pour des tests en routine, cette concentration sera recommandée. Les courbes de la partie gauche illustrent la dynamique de la croissance pour quelques concentrations de substrat et en l'absence d'antibiotique. Pour plus de lisibilité la cinétique correspondant à 0,2 g/l de dose initiales de glucose n'a pas été représentée. On remarque que les cas A et B sont différents, alors que cette différence n'est pas visible en considérant seulement les intervalles marginaux.

La réalisation de ces graphes a été rendue possible grâce aux résultats méthodologiques obtenus sur l'estimation des paramètres des modèles de croissances et l'étude de leur précision. Cette

⁹ On peut trouver dans l'ouvrage (note **Erreur ! Signet non défini.**) la technique de calcul des équations de ces ellipses à partir des fonctions de sensibilité, elles-mêmes calculées par intégration numérique à partir de l'expression différentielle du modèle). Cette technique de représentation a été très utilisée depuis pour comparer graphiquement des estimations de paramètres de modèles linéaires et non linéaires, qu'ils soient explicites ou sous forme d'équations différentielles ordinaires.

représentation graphique était originale au moment de sa publication. Dans le cas présent la disposition des points dans le plan des paramètres suggère un effet inhibiteur du substrat sur la croissance en plus de l'effet de saturation dont le modèle de Monod rend compte. En présence d'antibiotiques, celles-ci ont permis de préciser les mécanismes d'action de ces substances aux niveaux de l'individu et de la population¹⁰. Au total, ces travaux ont conduit à détecter précocement les effets de ces antibiotiques sur une souche bactérienne et ainsi à mettre au point des techniques d'antibiogrammes rapides utilisables en routine à l'hôpital (travaux réalisés à l'époque, avec l'équipe de Jean-Pierre Flandrois, en coopération avec Biomérieux©).

Cette collaboration donne ensuite lieu à plusieurs thèses encadrées en commun [8.8] [8.14] [8.18] [8.21] et [8.22], et à des publications originales (cf. par exemple [3.12][3.17][3.19][3.23][3.24]). Des applications industrielles en ont résulté (par exemple, les systèmes d'antibiogramme rapide d'API-System [2.19][2.20][3.19][3.23]).

D'autres domaines sont couverts, notamment à l'occasion de directions de thèse. On peut citer, par exemple, l'écologie forestière et la gestion des écosystèmes forestiers [3.28][2.28]. La thèse de F. Houllier est la première [8.3]. Elle est suivie par de nombreuses autres, dont plusieurs sont consacrées aux écosystèmes forestiers intertropicaux ([8.6][8.11][8.15][8.23][8.26][8.27][8.28][8.29]). Là encore, la modélisation joue un rôle essentiel (modélisation de la croissance aux niveaux des arbres et des peuplements monospécifiques et multispécifiques ; interprétations en termes de mécanismes de croissance ou démographiques). Les thèses citées sont co-encadrées, notamment avec François Houllier et, pour le tropical, avec J.P. Pascal. Enfin, c'est avec Vincent Ginot, qui fait une excellente thèse dans le domaine de l'hydrobiologie [8.10], que je prends pour la première fois contact la Guyane, en 1985. À l'époque je suis loin de me douter que j'y reviendrai régulièrement et ensuite que je m'y installerai pour y vivre et y travailler pendant plusieurs années. C'est également en 1985 que je vais pour la première fois en Inde, à l'Institut français de Pondichéry. J'y retourne régulièrement pendant 8 ans pour assurer un soutien méthodologique dans le cadre à de programmes de recherches forestières et coopérer avec les chercheurs de cet Institut, notamment avec Jean-Pierre Pascal. Ce dernier lors de son retour en France intègre le laboratoire et anime une équipe d'écologie tropicale pendant plusieurs années. Il m'accompagne lorsque je pars en Guyane.

Ces ouvertures à des domaines différents de la biologie et de l'écologie, tant sur le plan fondamental que finalisé, accompagné de développements méthodologiques sont pour beaucoup dans la capacité du laboratoire, de faire des transferts méthodologiques, mener en plus une réflexion théorique et progressivement d'élaborer une vision intégrative du monde vivant, qui s'exprime pleinement aujourd'hui. Cet ensemble de compétences et de pratiques est pour beaucoup dans l'unité et dans la cohérence du laboratoire après 50 ans d'existence, et, successivement, 4 directeurs et 1 directrice (Jean-Marie Legay, fondateur et directeur de 1962 à 1985, Alain Pavé, 1986-1995, Richard Thomassonne, 1996-1998, Christian Gautier, 1999-2007 et Dominique Mouchiroud depuis 2008).

2.3. Résultats méthodologiques et théoriques : modélisation et bioinformatique, biodiversité et évolution, hasard, déterminisme et prédictibilité

Ces résultats ont été rendus possibles grâce à des efforts méthodologiques originaux. De plus cela a conduit à des réflexions théoriques qui ont menés à revisiter la question de la biodiversité à laquelle nous étions confrontés dès 1992 dans le cadre du Programme environnement du CNRS et singulièrement depuis 2002 par mon implication en Amazonie (implantation du CNRS en Guyane et Programme Amazonie). Cette question a été attaquée sous l'angle de sa dynamique alors qu'on nous fournit souvent une lecture statique. De plus l'analyse a été faite en intégrant les divers niveaux d'organisation biologique, du génome aux communautés. Bien entendu nous sommes alors amenés à

¹⁰ Corman A., Carret G., Pavé A., Flandrois J.P., Couix C. - Bacterial growth measurement using an automated system : mathematical modelling and analysis of growth kinetics. *Ann. Inst. Pasteur / Microbiol.*, 137-B, 133-143, 1986. DOI: 10.1016/S0769-2609(86)80102-8

intégrer les dimensions évolutives et aussi la façon dont elle se distribue dans l'espace. Les processus aléatoires jouent un grand rôle dans cette dynamique et on peut se poser alors la question le « hasard » qui en est à l'origine et... sur l'origine du hasard lui-même. Le prolongement de cette réflexion dans un contexte interdisciplinaire allant de la physique des particules et de l'astrophysique à l'économie et l'histoire, en passant par les sciences de la planète et celles de la vie, a conduit à faire une synthèse et, comme l'un des résultats de bien mettre en évidence que déterminisme n'implique pas prédictibilité. Cette réflexion avait déjà été esquissée par Henri Poincaré dans l'introduction de son ouvrage « Calcul des probabilités » en 1912, remise au premier plan avec la découverte du « chaos déterministe » dans les années 1960 et très récemment par l'attribution du prix Abel à Yakov Sinai, mathématicien russo-américain, ancien élève de Kolmogorov. Notre apport se situe au niveau de l'appréhension de cette question dans les diverses disciplines scientifiques.

2.3.1. Modélisation et bioinformatique

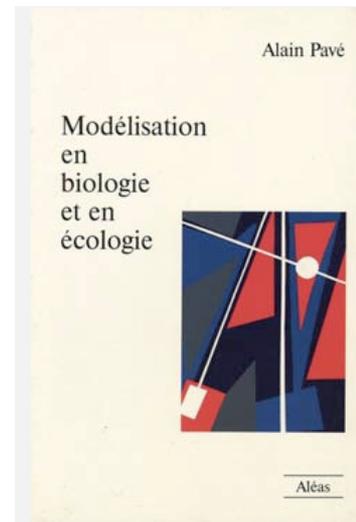
Les développements méthodologiques sont principalement axés sur l'utilisation de la théorie des systèmes dynamiques (équations différentielles ordinaires ou EDO, dans la suite). L'apport original n'est pas mathématique, ce n'est pas l'objectif du travail et hors de mes compétences, mais dans la construction des modèles (comment procéder et... pourquoi ?), et dans leur utilisation pratique (analyse qualitative, outils de simulation interactifs, estimations des paramètres à partir de données expérimentales, comparaisons d'estimations provenant de situations différentes, validation). Pour la construction de modèles, je propose alors d'utiliser des représentations schématiques analogues à celles qui sont employées par les chimistes, comme médiatrices entre les hypothèses discursives et l'expression mathématique (cf. figure 2). Je propose alors un algorithme de traduction automatique de ces schémas en équations différentielles ordinaires et j'étudie surtout le problème inverse : l'élaboration d'un schéma fonctionnel à partir d'un modèle exprimé sous forme d'EDO. Ce travail conduit à une **relecture et à une nouvelle interprétation des modèles de croissance et des modèles différentiels de la dynamique des populations** [3.27], en montant notamment qu'ils intègrent de façon implicite les ressources sur lesquelles se développent ces populations.

Ce travail demande aussi des efforts particuliers en **informatique**. C'est ainsi que dès le début des années 70, je réalise un simulateur d'EDO et d'équations récurrentes (MILADIE [3.2]), avec Jean-Dominique Lebreton, qui venait juste d'être recruté comme assistant au laboratoire. Ce travail est original à l'époque puisque les équations sont entrées explicitement. Un compilateur se charge d'en faire une représentation utilisable par l'ordinateur. Un module de calcul numérique permet de faire des simulations. Les résultats sont numériques et graphiques. Le tout constitue alors un logiciel interactif. Ce travail est ensuite repris et considérablement développé dans les années 80 par Bertrand Rousseau, pour construire le logiciel Dynamac [8.5]. En 2010, on notera qu'il n'existe toujours pas d'équivalent. Ce travail est rendu possible grâce une collaboration avec des informaticiens de l'INRIA, principalement François Rechenmann, qui co-encadre avec moi la thèse de Bertrand Rousseau. Notre objectif, dans le cadre du Club EDORA de l'INRIA, était de faire un logiciel d'aide à la modélisation en biologie et en écologie [2.12][2.30][3.9][3.15]. Dynamac en est un des avatars. Les développements faits à l'époque, en termes de **systèmes à bases de connaissances**, sont à l'origine de progrès informatiques qui, aujourd'hui, sont largement utilisés dans le domaine de la **gestion de l'information génomique**. Nous avons aussi exploré d'autres domaines d'applications, comme la **systématique** [2.23][2.25] [3.22]. Cette exploration a été possible grâce à plusieurs collaborations, notamment avec le Muséum National d'Histoire Naturelle (Roland Billard). D'une certaine façon et sur bien des fronts, il s'est agi d'une contribution au développement de ce qu'on appelle aujourd'hui la **bioinformatique**.

Je m'intéresse aussi à des formalismes autres que mathématiques pour la construction de modèles dynamiques, là où la représentation mathématique montre ses limites. C'est alors que je

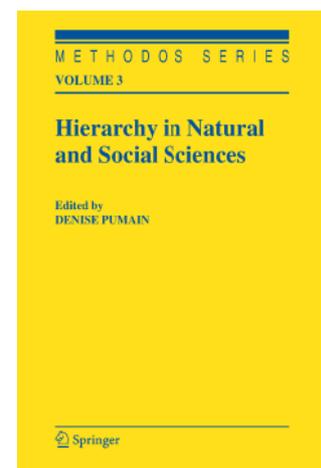
dirige la thèse de François Bousquet [8.17] sur les modèles multi-agents pour représenter le couplage entre dynamiques sociales et dynamiques environnementales [3.26]. Il s'agit de l'un des premiers travaux dans ce domaine (avec Christian Mullon de l'IRD, puis Jacques Weber, à l'époque au CIRAD). L'un des résultats importants est une meilleure évaluation des parts respectives des dynamiques naturelles et des dynamiques sociales dans l'évolution d'une ressource vivante (populations de poissons du delta central du Niger). Ce travail est fondateur de toute une démarche intégrant de plus en plus précisément des dynamiques sociales dans les modèles ([3.42][8.30][8.32]). Notons au passage que ce type d'initiative était en partie issu des réflexions du comité scientifique « méthodes, modèles et théorie » du Programme thématique éponyme lancé par le Programme environnement du CNRS. Aux dires de Jacques Weber, la création du laboratoire « Green » (Gestion des Ressources renouvelables et Environnement) du Cirad est issue des réflexions de ce comité scientifique lancé à mon initiative et aux travaux duquel je participais régulièrement.

Des versions de ces modèles explicitant les variations de ces ressources ont été élaborées et ont permis d'en proposer de nouveaux. C'est sans doute ma contribution essentielle à la **théorie des systèmes dynamiques en écologie**. Pour l'estimation et la comparaison des paramètres d'un système différentiel, j'ai adapté et utilisé des méthodes de la **statistique non-linéaire** [2.15][3.10][3.11]. Outre des articles dans des revues spécialisées, l'ensemble de cette méthodologie, illustrée par des exemples tirés essentiellement des cas concrets que j'ai traités, notamment ceux cités ci-dessus, a été présenté dans un ouvrage de synthèse publié en 1994 [2.29]. Ce qui a été écrit à l'époque dans cet ouvrage est encore largement d'actualité et représente une part essentielle de ma réflexion et de ma contribution dans ce domaine. Je n'ai acquis depuis que quelques éléments supplémentaires qui seront inclus dans une prochaine édition « revue et corrigée » prévue pour 2012.



Parmi les contributions à la réflexion méthodologique et théorique sur l'organisation du monde vivant, on peut signaler le chapitre que j'ai rédigé pour l'ouvrage collectif édité par Denise Pumain [2.41].

Ce chapitre est consacré à l'organisation du monde vivant en niveaux de complexité croissante et à l'émergence des propriétés qui en résulte : individu (uni ou multicellulaire avec des sous structures pour ces derniers : les organes), population et leurs dynamiques génétiques et démographiques, communauté et les interactions entre les êtres vivants, écosystème mettant en relation les communautés et leur milieu, ..., biosphère et l'organisation actuelle et passée du monde vivant.



Par ailleurs, avec Claudine Schmidt-Lainé, nous réalisons une synthèse sur la contribution de la modélisation pour « comprendre, agir et décider » dans un contexte interdisciplinaire en matière d'environnement [3.36] et de son rôle dans le dialogue interdisciplinaire [4.41].

L'idée générale de ces différentes contributions est de démontrer la pertinence de la modélisation à travers la résolution de problèmes issus de plusieurs champs des sciences de la vie. Enfin, le concept de modèle a été étendu à d'autres formalismes que mathématiques, en particulier à tout ce

qui concerne la modélisation des structures de données dans les bases de données ou les bases de connaissances, ou encore la modélisation en termes de systèmes multi-agents [3.26, *Op. cit.*].

On peut également souligner certaines réflexions théoriques, par exemple et pendant un temps, sur la théorie des systèmes complexes, avec Claudine Schmidt-Lainé, non seulement sur le plan fondamental, mais aussi en vue de développer une ingénierie de ces systèmes [3.36].

2.3.2. La dynamique de la biodiversité

Sur la base d'un article publié par Vincent Courtillot et Yves Gaudemer, en 1996¹¹, et après discussion avec V. Courtillot, je m'intéresse alors au problème d'évolution globale de la biodiversité à l'échelle géologique. Ce travail me conduit à attaquer un domaine nouveau, celui de l'évolution. Cinq ans d'un travail de fond, à partir d'une première ébauche d'article, écrite dès 1997, pour arriver à une publication [3.39]. Encore une fois, l'approche est fondée sur l'utilisation d'un modèle, le modèle logistique, mais réécrit de façon à faire apparaître explicitement une variable interprétable en termes de niches écologiques (cette réécriture avait déjà été proposée dans un article précédent pour la dynamique des populations [3.27], mais prenait ici une nouvelle interprétation, plus globale). Entre autre, le filtrage des données paléontologiques met en évidence la particularité de la période Jurassique-Crétacé (croissance plus faible qu'à d'autres périodes, mais sur une longue période de temps) interprétée comme résultant d'une succession de perturbations « mineures »¹². Ce travail, réalisé à l'échelle globale et interprété en termes environnementaux, écologiques et génomiques, ouvre une voie nouvelle de compréhension de l'évolution de la biodiversité.

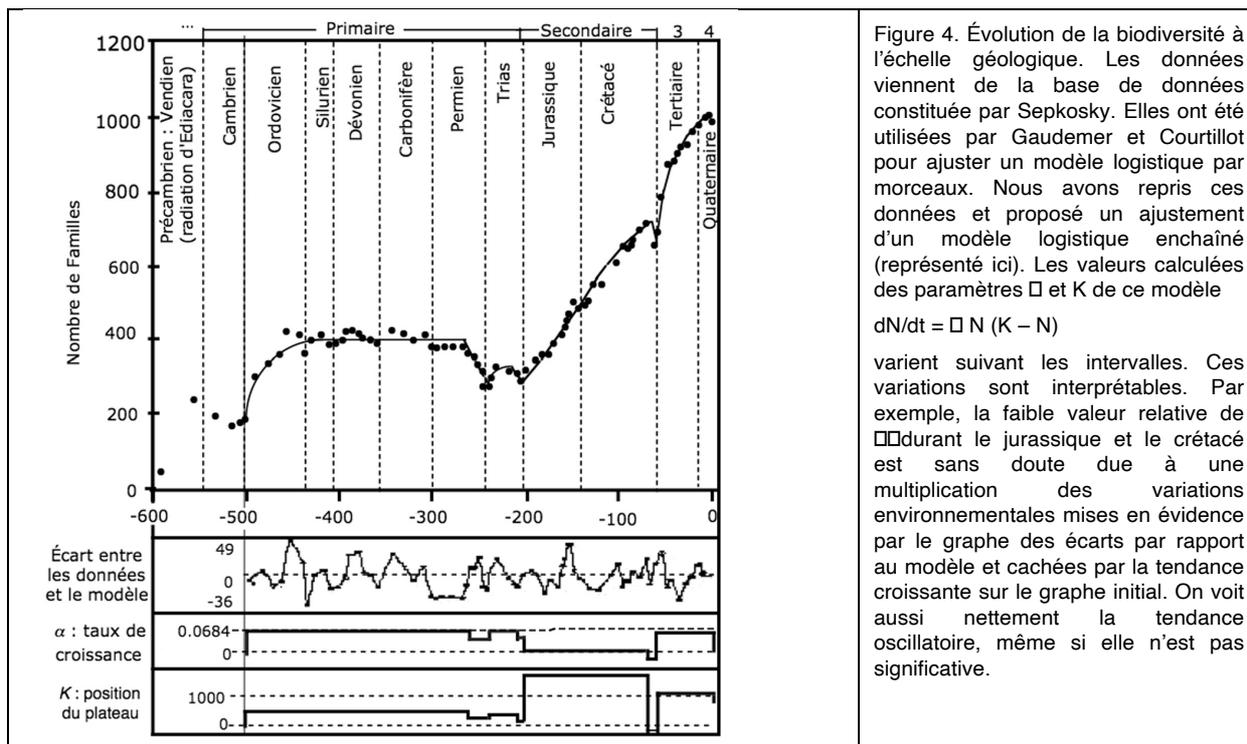


Figure 4. Évolution de la biodiversité à l'échelle géologique. Les données viennent de la base de données constituée par Sepkosky. Elles ont été utilisées par Gaudemer et Courtillot pour ajuster un modèle logistique par morceaux. Nous avons repris ces données et proposé un ajustement d'un modèle logistique enchaîné (représenté ici). Les valeurs calculées des paramètres α et K de ce modèle

$dN/dt = \alpha N (K - N)$
 varient suivant les intervalles. Ces variations sont interprétables. Par exemple, la faible valeur relative de α durant le jurassique et le crétacé est sans doute due à une multiplication des variations environnementales mises en évidence par le graphe des écarts par rapport au modèle et cachées par la tendance croissante sur le graphe initial. On voit aussi nettement la tendance oscillatoire, même si elle n'est pas significative.

Enfin, le modèle logistique peut s'écrire différemment en introduisant une variable S « nombre de niches écologiques » :
 $dN/dt = -\alpha N S$; $dS/dt = -dN/dt$ on a alors $K = S_0 + N_0$; au moins pour une partie de celles-ci, les variations environnementales agissant sur les groupes d'êtres vivants peuvent s'expliquer comme des variations du nombre de niches.

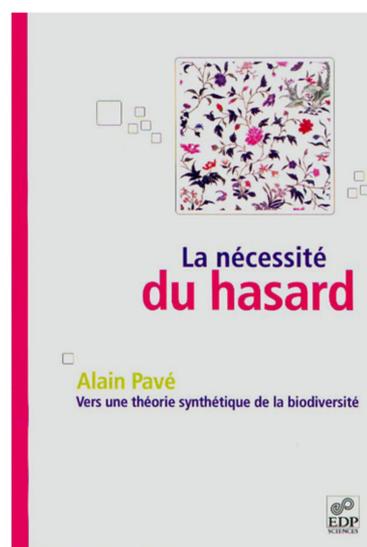
¹¹ Courtillot V., Gaudemer Y. Effects of mass extinctions on biodiversity. *Nature*, 1996, 381, 146-148
¹² On notera qu'à l'époque, nous avons remarqué une possible composante oscillatoire, après avoir retiré le signal principal, mais elle n'était pas significative sur le plan statistique. Depuis, cette hypothèse a été confirmée : Cf. Rodhe R.A., Muller R.A. (2005). Cycles in fossil diversity. *Nature*, 434, 208-210.

L'implantation du CNRS en Guyane a été motivée par l'intérêt porté de cet organisme sur la question de la biodiversité et à tous ses aspects, de sa dynamique, de histoire et de son rôle dans le fonctionnement des écosystèmes, de sa prise en compte dans la gestion de ces écosystèmes, et des divers autres aspects, notamment de la diversité des substances naturelles et comme source d'inspiration pour des développements technologiques. À titre personnel, outre la direction scientifique et administrative du dispositif, je me suis intéressé aux aspects théoriques, non seulement par goût personnel, mais aussi parce que ce type d'activité est possible dans un tel contexte où le temps est mobilisé par les tâches de direction. De plus, même avec des objectifs dont certains ont des finalités, on sait que ces finalités sont d'autant mieux atteintes lorsque nous nous appuyons sur des résultats théoriques solides. Mais venons-en à ces contributions théoriques, elles ont été publiées, notamment dans des ouvrages :

La nécessité du hasard, vers une théorie synthétique de la biodiversité. EDP Sciences, Les Ulis, 2010.

ISBN 978-2-86883-942-8

Résumé : Le hasard est essentiel aux systèmes vivants et à leur évolution. C'est un facteur externe, mais aussi et surtout le produit de mécanismes internes ; on le retrouve à tous les niveaux d'organisation du monde vivant, du gène à la biosphère. Ce livre nous montre comment ces mécanismes internes, véritables roulettes biologiques et écologiques, de nature déterministe, fonctionnent dans des domaines chaotiques en produisant des résultats de type aléatoire. Face à un environnement changeant, imprévisible et souvent agressif, ils engendrent la diversité qui permet aux organismes, aux populations ou aux écosystèmes de subsister, de s'adapter et d'évoluer. Ces mécanismes sont aussi des produits de l'évolution. C'est à ce prix que la vie a pu se maintenir sur notre planète : le hasard n'est pas subi, il est tout simplement nécessaire à la vie. Penser la biodiversité, à toutes les échelles et à tous les niveaux, permet une lecture intégrée du vivant. Pour mieux la comprendre et modéliser sa dynamique, il nous faut récolter des données quantitatives tant au laboratoire que sur le terrain. La nécessité du hasard cherche à évaluer le champ de nos connaissances sur la biodiversité et son évolution, ainsi que les limites de l'action de l'Homme face à ces dynamiques spontanées, qui lui échappent le plus souvent. Ce livre souligne aussi la nécessité de l'évaluation et de l'analyse de la biodiversité pour mieux la gérer.



On est ainsi arrivé à quelques propositions et conclusions : (1) les mécanismes biologiques et écologiques en œuvre produisent de la diversité, de la « biodiversité », solution « élégante » au problème de la pérennité des systèmes vivants, une sorte d'assurance pour la vie. L'analyse est menée du « gène à l'écosystème » et du temps de l'évolution à celui des processus cellulaires et moléculaires et indique que ces processus interviennent à tous les niveaux d'organisation du vivant. Il est enfin montré que ces « **roulettes biologiques** », comme les roulettes mécaniques de casino, sont des systèmes non linéaires, pouvant être décrits par des modèles « déterministes »¹³, mais

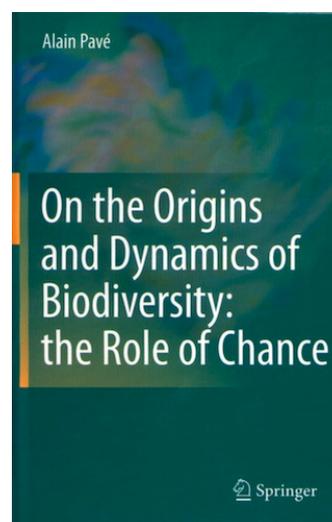
¹³ Très schématiquement, les modèles déterministes n'intègrent pas explicitement de composante aléatoire dans leur écriture (il s'agit, par exemple des équations différentielles ordinaires). Les modèles stochastiques ou probabilistes intègrent de telles composantes (par exemple les équations différentielles stochastiques, les processus de ramification, les processus de Markov).

fonctionnant dans des domaines rendant la prédiction des résultats pratiquement impossible à l'image du « chaos déterministe ». La nécessité de cette large exploration, pour établir une démonstration convaincante, a comme effet « colatéral » de produire un exposé intégré de la biologie et donc de contribuer à la construction d'une « biologie intégrative », très à l'ordre du jour [2.41, 3.45, 3.46, 4.29]. Produisant de la diversité et de la complexité, il apparaît que **ces processus endogènes, ces roulettes biologiques, sont à la fois des produits et des moteurs de l'évolution** [2.42, 3.46]. Une telle démonstration demande une argumentation nécessitant des développements assez longs, c'est pourquoi un ouvrage leur est consacré, suivi d'une édition en anglais actualisée et augmentée de trois chapitres [2.44].

On the Origins and Dynamics of Biodiversity: the Role of Chance.

Springer US, New York, July 2010.
ISBN 978-1-4419-6244-7

Summary: Chance plays a central role in the origins and dynamics of biodiversity. But where does chance come from? Although its existence has long been accepted as a fact, the theory of probability only allows us to examine the random events produced by chance without enabling us to determine what creates it – and this despite knowing that living systems (from the cell to organisms, populations, communities and ecosystems) need chance to survive. In this book on living systems, we identify two origins: one external, coming from the environment, and the other, internal, produced by biological mechanisms that are molecular as well as cellular, demographic and ecological. These internal mechanisms – veritable “biological roulettes” – are similar to the mechanical devices that bring about “physical chance”. They are at once the products and the engines of evolution and they also generate biodiversity, often in response to the vagaries of the environment. By creating biodiversity, these biological roulettes act as a kind of a life insurance that, on an evolutionary scale, ensure that life will continue after great upheaval: within the wide variety of organisms, there are some that are potentially adapted to new environmental conditions.



From among those that survive, a new living world will grow and diversify. By examining biodiversity at all scales and all levels, this book seeks to evaluate the breadth of our knowledge on this topical subject; to propose an integrated look at living things; and to assess the role of chance in the dynamics of biodiversity, from populations to ecosystems and the biosphere, and more generally in evolutionary processes. Finally, it suggests that by simultaneously examining the mechanisms of diversification, maintenance and extinction, we can model the dynamics of biodiversity to better understand it and predict its variations and, thus, to foresee the practical aspects for managing living systems.

<http://www.springer.com/life+sciences/ecology/book/978-1-4419-6243-0>

La course de la Gazelle. Biologie et écologie à l'épreuve du hasard. EDP-Sciences, Les Ulis, 2011. ISBN 978-2-7598-0551-8

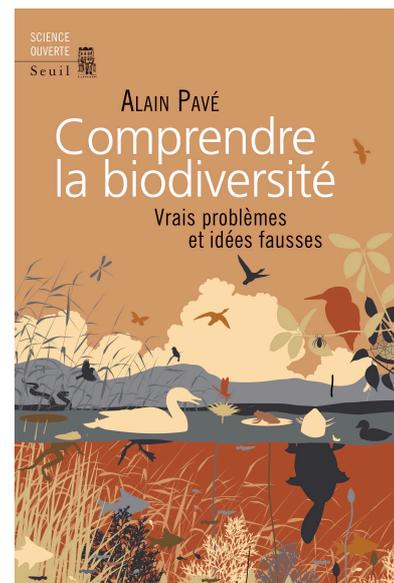
Comme la gazelle face à son prédateur, les êtres vivants sont soumis au hasard et l'utilisent. Hasard de la rencontre, hasard de la course pour éviter d'être capturé et mangé. Aléas de l'environnement, hasard pour survivre.

Plus généralement, quelles sont les différentes facettes du hasard ? Est-il favorable ou défavorable ? Quelles sont ses origines ? Quel rôle joue-t-il ? La vie et son évolution sont-elles tout simplement possibles sans hasard ? La biodiversité n'est-elle pas une fille du hasard ? Quelle est la vision qu'en ont les scientifiques, en premier lieu les biologistes et les écologues ? Qui sont ces biométriciens qui traitent de la variabilité du vivant et

donc des effets du hasard ? Quel rôle jouent-ils dans les sciences de la vie, non seulement dans les aspects pratiques, mais aussi dans des dimensions plus fondamentales ?



Autant de questions qui sont abordées dans ce livre et qui montrent que le rôle du hasard est primordial : il n'est pas un phénomène parasite, mais bien souvent nécessaire au bon fonctionnement des organismes et des écosystèmes. Il est même un des moteurs essentiels de l'évolution biologique. C'est ce que nous montrent de plus en plus de travaux actuels, mais aussi l'histoire : l'histoire mouvementée de la vie sur la terre, ayant conditionné son évolution, et l'histoire des idées des scientifiques qui ont continuellement bouleversé notre vision du monde depuis deux siècles. Mettre le hasard au cœur du vivant prépare une sorte de « révolution copernicienne » dans les sciences de la vie, dont l'écologie.



Au centre de mon dernier livre : les problèmes méthodologiques et théoriques des travaux sur la biodiversité et des solutions proposées. Des collègues ont mal compris l'intention du livre, à savoir une présentation critique des discours actuels sur le sujet afin de les améliorer.

2.3.3. Hasard, déterminisme et prédictibilité : conséquences pour les systèmes vivants

Dans la droite ligne de la réflexion sur la biodiversité, mais aussi celle sur la complexité, le rôle du « hasard » dans les systèmes vivants a été revisité en reprenant le débat exposé par J. Monod sur « hasard et nécessité ». Cela conduit à s'éloigner de la vue classique du hasard contingent, exogène, pour celle du **hasard nécessaire**, d'un hasard endogène, intrinsèque, produit par des mécanismes

biologiques et écologiques et passés au filtre de la sélection naturelle : des « roulettes biologiques », par analogie avec ces dispositifs mécaniques qui produisent le hasard des « jeux de hasard ».

Cette réflexion sur le « hasard » a été prolongée et a mené à se poser la question du déterminisme, des probabilités et de la prédictibilité. On retiendra que, curieusement, ce que Pascal désignait par le « hasard fortuit » des jeux de hasard n'a pas donné lieu à une modélisation. Or, en prenant comme exemple le pile ou face ou le jeu de dé, on est en présence de dispositifs mécaniques pouvant précisément être modélisés en utilisant les formalismes et les lois de la mécanique, très *déterministes*. Il a fallu attendre 2008 et 2009 pour de telles modélisation et pour comprendre pourquoi et à quelles conditions les résultats de ces « épreuves » que constituent le lancer d'une pièce de monnaie ou d'un dé sont pratiquement impossibles à prévoir et inversement comment « truquer ou biaiser » le jeu, c'est-à-dire prévoir le résultat. Concrètement, il ne s'agit pas de chaos mais d'une complexité de « l'espace des phases » contenant les points d'équilibres stables (les positions d'arrêt et évidemment la vitesse nulle de la pièce ou du dé) qui rendent le résultat incertain, imprédictible, ou à l'inverse prédictible¹⁴. Comme nous l'avons déjà signalé, Poincaré dès 1912, posait clairement la question et mettait en relation la théorie des systèmes dynamiques et les probabilités, travaux repris ensuite par l'école soviétique et couronnés récemment par le prix Abel décerné à Yakov Sinai. L'axe essentiel de ces travaux est le lien maintenu avec la physique auquel on ne peut être que très sensible car on pourrait avoir des raisonnements analogues pour les systèmes vivants. Le résultat essentiel est qu'un système déterministe, modélisable par des équations différentielles non linéaires, peut être imprédictible à cause de sa « sensibilité aux conditions initiales » et donc plus généralement à des perturbations, même très petites en comparaison à l'amplitude du phénomène observé, expérimenté et modélisé (cf. encadré 1). Le chaos déterministe procède de ce type de comportement. Il faut néanmoins souligner qu'il existe un horizon, assez bref, de prévisibilité qui autorise quand même le contrôle de ce type de système et cela à faible coût.

Le calcul des probabilités a fait preuve d'une grande efficacité pour traiter de la variabilité et de l'incertitude. Cependant cette théorie efficace en dit peu sur les causes, sur les mécanismes sous-jacents. C'est d'ailleurs l'un des ses grandes qualités : très formalisée, elle peut s'appliquer à des phénomènes très différents ayant des propriétés communes en termes probabilistes. Cependant, la liaison avec la théorie des systèmes dynamique et à leurs domaines d'utilisation peut nous apporter beaucoup. C'est l'un des grands intérêts des travaux actuels dans ce domaine.

¹⁴ Strzałko J., Grabski J., Stefański A., Perlikowski P., Kapitaniak T. Dynamics of coin tossing is predictable. *Physics reports*, 2008, 469, 59-92.

Encadré 1 : Sensibilité aux conditions initiales et variabilité des systèmes dynamiques



Portrait de Henri Poincaré par Eugène Pirou (1890)

Image disponible sur le site :

<http://henri-poincare.ahp-numerique.fr/items/show/136>



Yakov Sinai, mathématicien russo-américain, prix Abel de mathématiques 2014 pour ses travaux sur les systèmes dynamiques et la distinction entre déterminisme et prédictibilité.

<http://www.nature.com/news/chaos-theory-pioneer-nabs-abel-prize-1.14935>

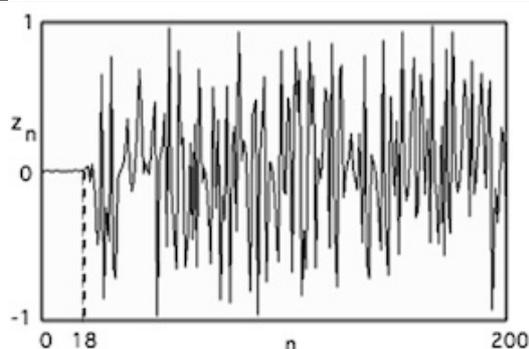


Illustration de la sensibilité aux conditions initiales : $Z_n = x_n - y_n$ où x_n et y_n sont chaotiques et engendrées par le même modèle, mais avec des conditions initiales un peu différentes :

$$x_n = r x_n (1 - x_n), \quad r = 3,98, \quad x_0 = 0,5000$$

$$y_n = r y_n (1 - y_n), \quad r = 3,98, \quad y_0 = 0,5001$$

Rapidement, les deux séries divergent et leur différence est elle-même chaotique.

Ce modèle logistique en temps discret a été proposé par Robert May en 1976.

MAY R. M., « Simple mathematical model with very complicated dynamics », *Nature*, n° 261, p. 459-467, 1976.

Allen et al, montrent l'avantage du régime chaotique des métapopulations, qui en décorrelant les dynamiques des diverses populations, peut éviter des extinctions de plus petites d'entre elles.

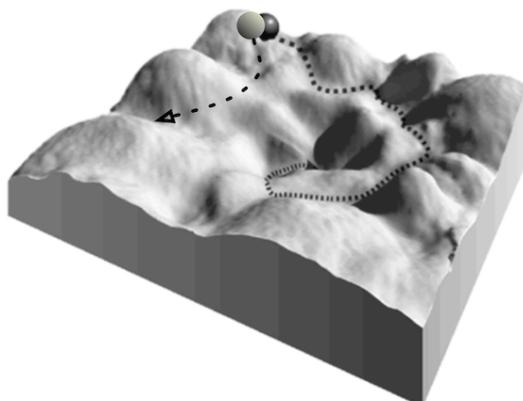
ALLEN J.C., SCHAFFER W.M., ROSKS D., « Chaos reduces species extinction by amplifying local population noise. », *Nature*, n° 364, p. 229-232, 1993.

Shinbrot et al. proposent d'utiliser l'extrême sensibilité des systèmes chaotiques aux faibles perturbations soit pour stabiliser des trajectoires irrégulières. Les spécialistes de la NASA ont ainsi opéré lorsqu'ils ont réalisé la première rencontre entre une sonde spatiale et une comète en conduisant cette sonde (ISEE-3/ICE) suivant une trajectoire complexe en utilisant seulement de petites impulsions économes en carburant.

SHINBROT T., GREBOGI C., YORKE J.A., OTT E. Using small perturbations to control chaos. *Nature*, 363, 1993, 411-417.

Nous insistons beaucoup sur ce point, car ce sont des processus biologiques de ce type qui engendrent de la variabilité, de la diversité et que nous pouvons utiliser dans le contrôle de certaines populations.

Point de vue géométrique



À gauche, image issue du film « Jurassic Park » : Ian Malcolm, le « chaoticien » explique à la paléobotaniste, Ellie Sattler, les raisons pour lesquelles un « système complexe », comme le parc, peut dériver. À cette fin, il lui demande de quel côté la goutte d'eau, qu'il va faire tomber sur l'articulation du majeur de la main d'Ellie, va couler. Elle ne peut pas répondre car elle comprend ainsi que selon le point de départ, l'eau va couler de façon imprédictible sur le dos de sa main. À droite, dans ce paysage tourmenté, partant de lieux très voisins, les trajectoires de deux billes peuvent être très différentes. Ces trajectoires sont des géodésiques. De plus, les systèmes réels que nous considérons ne sont pas isolés, par exemple, un « coup de vent » ou même un simple courant d'air, peut balayer le paysage montagneux et modifier la trajectoire de la bille la plaçant sur une autre géodésique, ce « coup de vent » pouvant résulter d'un autre système dynamique, celui d'une « atmosphère ». Cela étant, le langage de la théorie est toujours efficace et permet d'avoir une perception mécanique du hasard.

Ces travaux participent à l'élaboration d'une vision nouvelle en biologie et en écologie sur le rôle du hasard, qui commence à se développer, plaçant les processus qui le produisent au cœur du vivant. C'est un des facteurs principaux de diversification des êtres vivants et donc une pièce essentielle du « moteur de la biodiversité ». Il produit de la même façon les variations nécessaires à l'évolution. Il est aussi facteur de permanence des écosystèmes qui, loin d'être des entités organisées comme le laisse entendre ce mot, sont plutôt désordonnés. C'est en grande partie grâce à ce désordre, notamment à leur structure spatiale souvent aléatoire, qu'ils peuvent se maintenir sur le long terme et, par exemple, conserver voire augmenter leur biodiversité (cf. encadré 2). Ce changement de paradigme constitue une sorte de « révolution copernicienne » en biologie et en écologie, point de vue qui commence à être partagé par une communauté scientifique au niveau national et international [2.46]¹⁵.

¹⁵ Cf., par exemple :

- [1] Chicurel M. Can organisms speed their own evolution? *Science*, 2001, 292, 1824-1827
- [2] Hubbell S.P.. *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Princeton Univ. Press, 2001.
- [3] Kupiec J.J. (2006). L'expression aléatoire des gènes. *Pour la Science*, 342, 78-83
- [4] Mettetal J. T., van Oudenaarden A. Necessary Noise. *Science*, 2007: 317, 463-464.
- [5] Raser M.J. Control of Stochasticity in Eukaryotic Gene Expression. *Science*, 304, 1811-1814, 2004.
- [6] Silberstein M., Kupiec J.J., Gandrillon O. *Le hasard au cœur de la cellule. Probabilités, déterminisme, génétique*. Editions Syllepse, Paris, 2009
- [7] Tyagi S. E. coli What a Noisy Bug. *Science*, 2010, 329, 518-519
- [8] « Et si la vie devait tout au hasard – Il est le maître de nos origines, de notre identité et de notre destin – Pourquoi le hasard fait peur », *Science et Vie*, n° 1079, août 2007.
- [9] Le Hasard au cœur de la vie. Les gènes jouent-ils aux dés. *La Recherche*, octobre 2009.
- [10] Hasard et incertitude, les gènes sous l'emprise du hasard. *Pour la Science*, novembre 2009.

Encadré 2

Biodiversité et complexité : exemple des grandes forêts tropicales

Ces forêts sont un bon exemple d'ensembles écologiques qui se maintiennent spontanément sur le long terme, avec une bonne persistance de leur biodiversité. Elles peuvent aussi se régénérer suite à des perturbations limitées. On peut récapituler l'ensemble des mécanismes qui semblent assurer ces propriétés.

- La disparition d'espèces et l'apparition de nouvelles espèces sont largement aléatoires et dépendent d'événements environnementaux, principalement sélectifs, et de processus biologiques et écologiques de diversification : *théorie de l'évolution*
- Les espèces d'arbres ont des propriétés démographiques voisines : *théorie neutraliste de la biodiversité* (vs théorie de la niche) et le hasard joue un rôle primordial dans la succession des espèces dans un espace donné [2]
- Mais elles affichent des préférences environnementales : *théorie du filtrage environnemental*
- Des processus biologiques et écologiques assurent la distribution au hasard (ex. transport des graines par les animaux ou par les fluides du milieu dont la circulation est souvent turbulente, et dépôt de ces graines en un lieu favorable ou non) : *théorie des roulettes biologiques et écologiques* (Pavé, 2007, 2010, 2012)
- Des processus fins, multiples, renforcent la coexistence (ex. interactions écologiques locales, effets des substances chimiques biologiquement actives). Les interactions tissent, de proche en proche, un réseau subtil, évolutif, redondant entre les différents êtres vivants d'un écosystème, assurant une bonne persistance (la disparition limitée d'éléments d'un écosystème ne met pas en péril son existence) : *théorie des interactions biologiques et écologiques*

À ces divers titres peut-on parler de « système complexe » pour ces ensembles écologiques, ces « écosystèmes » ? D'abord si l'on prend le terme système, comme nous l'avons déjà évoqué, il sous-entend un ordre établi et évacue le hasard, ce qui est loin d'être le cas pour ces forêts. Mais d'une certaine façon, l'usage du mot peut faire force de « loi » à condition d'être clair à ce sujet, comme pour l'usage d'autres mots en écologie qui aussi peut prêter à confusion, par exemple : stratégies, adaptation, etc. On relèvera néanmoins qu'à petite échelle, la présence d'un arbre ou d'un groupe d'arbre structure l'environnement biologique par le jeu des interactions écologiques locales, une sorte d'auto-organisation à petite échelle, mais dans un « système » globalement désorganisé. De proche en proche ne forme-t-il pas un réseau souple, une sorte de tissu permettant une adaptation aux fluctuations environnementales ? Cela étant, peut-on imaginer des interactions à plus grande échelle ? Nous y revenons ci-après (figure 6.25).

Et maintenant, l'adjectif « complexe » est-il justifié ? L'une des caractéristiques requises est l'émergence de propriétés nouvelles, ce qui n'apparaît pas clairement ici. En revanche, au sens intuitif, avec le jeu subtil des hasards qui dote ces ensembles écologiques d'une structure désordonnée, n'est-ce pas aussi une propriété à retenir comme celle du maintien, voire même de l'augmentation de leur biodiversité. On soulignera aussi leur capacité à se restaurer spontanément après une perturbation locale, même drastique. On peut donc accepter l'expression de systèmes complexes pour les désigner.

2.4. Au service de la formation des jeunes

Cette expérience de recherche a vocation à être traduite dans la formation des jeunes. C'est ainsi que j'ai été l'un des principaux acteurs de l'introduction de la modélisation dans les cursus des étudiants biologistes de Lyon et cela à tous les niveaux, du 1^{er} au 3^{ème} cycle, et ainsi participé très activement à la dynamique initiée par J.M. Legay. Pour ne prendre que trois exemples, dès les premières années de ma carrière, j'ai été un des artisans de la création du certificat MAB (**Mathématiques Appliquées à la Biologie**) et plus tard, au milieu des années 1980, du DEA « **Analyse et Modélisation des Systèmes Biologiques** » et des UV de modélisation et d'informatique de la maîtrise de

biotechnologies (UCBL). Plus récemment, nous avons été, avec Jean-Michel Fayard (professeur à l'INSA de Lyon), à l'origine de la **filière Bioinformatique et Modélisation (BIM)** de l'INSA de Lyon. Enfin dans le cadre de ma mission en Guyane et avec le concours de l'Institut Écologie et Environnement du CNRS, nous avons créé une école thématique : Méthodes et modèles pour l'étude de la biodiversité (Kourou, 4-8 octobre 2010). Toutes ces activités de formation se sont aussi concrétisées par la publication régulière d'ouvrages pédagogiques [2.2][2.3][2.6][2.11][2.29][2.32].

Enfin, durant mon séjour en Guyane, j'ai participé au programme de formation doctorale d'Amazonie lancé par l'Université des Antilles et de la Guyane.

2.5. Direction et animation scientifiques

Cet investissement est intéressant sur le plan personnel, mais il ne peut être valorisé que si l'on consent à passer au niveau collectif : direction de thèses, direction d'équipe, direction de laboratoire, direction de grandes opérations scientifiques.

Ainsi, après ma thèse, je crée l'équipe de modélisation dans le sein de l'URA 243 « Biologie des populations ». De 1986 à 1995, j'assure la direction de cette unité, succédant à son fondateur J.M. Legay. Elle compte à l'époque une quarantaine de personnes, chercheurs, enseignants-chercheurs et ITA. Lorsque la direction m'est confiée, un nouvel intitulé est choisi : « Biométrie, génétique et biologie des populations », BGBP¹⁶. Ce nom faisait clairement apparaître ses principales composantes scientifiques. Pendant mon mandat, je m'attache à renforcer les liens entre ces composantes, à augmenter les moyens du laboratoire, suivant en cela l'exemple de J.M. Legay. En neuf ans, huit chercheurs et enseignants-chercheurs nouveaux rejoignent notre unité, ainsi qu'un ingénieur de recherche. Le budget de fonctionnement double passant d'environ 1MF/an en 1988 à 2MF/an en 1995. La cohérence d'ensemble du laboratoire, couvrant un champ allant de la biologie moléculaire à l'écologie, est renforcée non seulement grâce aux méthodologies partagées, mais aussi par l'énoncé des problématiques biologiques communes. Par exemple, parmi les préoccupations principales on peut retenir l'approche moléculaire au niveau population, le transfert de méthodologies et l'imprégnation évolutive de toutes les dimensions biologiques et écologiques du laboratoire, grâce à l'équipe d'évolution moléculaire. De plus, l'horizon scientifique du laboratoire s'élargit avec l'intégration de l'équipe biomédicale de Jean-Pierre Flandrois (1988) et l'arrivée de Jean-Pierre Pascal qui crée une équipe d'écologie tropicale (1994), ce à quoi on peut ajouter les collaborations avec l'INRIA dans le domaine informatique et des mathématiques appliquées. J'ai initié et voulu ces intégrations et ces ouvertures, persuadé qu'elles étaient un facteur de progrès pour le laboratoire. Au total, cette diversification poursuivies par la suite, avec la composante méthodologique comme colonne vertébrale, s'est avérée positive : mise en œuvre d'une véritable interdisciplinarité et élaboration progressive d'une vision intégrative des systèmes vivants conduisant à de beaux résultats, valant à ce laboratoire d'excellentes évaluations tant par le Comité National, que, plus récemment par l'AERES. On soulignera enfin, que la cohérence interne ainsi établie, en fait un « système stable et évolutif ».

De 1990 à mai 1994 j'assure les fonctions de directeur adjoint du Programme environnement du CNRS et de 1994 à 1998 celle de **directeur** du Programme Environnement, vie et sociétés¹⁷. Ces programmes sont intégrés à la direction générale du CNRS à Paris. Pendant cette période, je consacre du temps à une activité de gestion scientifique et de **réflexion sur ce champ de recherche** mal défini qu'est l'**environnement**, avec l'équipe du Programme, notamment avec Marcel Jollivet [3.25]. En effet, il est important de mettre le plus de cohérence possible dans le système de recherche sur l'environnement, notamment celle placée sous notre responsabilité : les différentes actions

¹⁶ Depuis elle s'est encore étendue et a changé de nom pour devenir le « laboratoire de biométrie et de biologie évolutive » - LBBE, UMR 5558.

¹⁷ Pendant une partie de cette période, j'ai aussi assuré la présidence des Conseils scientifiques de l'ORSTOM, devenu IRD, et du CIRAD. Ces fonctions ont beaucoup contribué aux réflexions que j'ai pu mener sur les recherches sur l'environnement et sur le développement [3.27].

thématiques que nous développons alors correspondent non seulement à des priorités scientifiques ou à des « attentes sociales », mais elles constituent aussi des éléments d'un édifice cohérent, se complétant les uns les autres [4.8][4.10]. L'exercice n'était pas facile étant donné la diversité des motivations au départ. Nous pensons y avoir réussi en privilégiant l'analyse scientifique de la question. Cette analyse aboutit à six actions thématiques : « systèmes écologiques et actions de l'homme », « dynamique de la biodiversité et environnement », « transferts, transformation et écotoxicologie des contaminants », « environnement et santé », « environnement, sociétés et développement à long terme », « méthodes, modèles et théories pour la recherche sur l'environnement ». J'assure l'essentiel de la rédaction du plan d'action du Programme Environnement, Vie et Sociétés [4.15].

Parmi ces actions, le thème méthodologique : « méthodes, modèles et théories pour la recherche sur l'environnement » (*op. cit*) s'avère un creuset d'idées, comme je l'ai déjà signalé. En 1996, un colloque est organisé sur ce thème (tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement) et connaît un grand succès (300 participants) et des intervenants prestigieux, comme Jacques-Louis Lions. C'est encore, au niveau international, une référence¹⁸. Un article de synthèse sur le sujet a aussi été publié avec Claudine Schmidt-Lainé [3.36, *op. cit*].

Cet effort de programmation scientifique donne lieu à des articles ou des rapports évalués (cf. par exemple : [3.25][3.29][3.31][3.30], etc.). En effet, les recherches sur l'environnement se caractérisent par la nécessité de mettre en relation des objets étudiés traditionnellement par des disciplines scientifiques différentes. Cette mise en relation demande donc le développement d'approches interdisciplinaires (élaboration d'un questionnement scientifique commun, d'une recherche collaborative et d'une synthèse elle aussi commune). Le système de recherche ne le fait pas spontanément ; il faut donc mener une réflexion spécifique pour organiser ce système. C'est ce à quoi nous avons contribué, avec mon équipe et l'ensemble de la communauté scientifique (environ 1000 chercheurs) qui, dans les années 1990, travaillent avec le Programme¹⁹.

On n'oublie jamais sa formation initiale et les motivations qui ont déterminé ce choix. C'est aussi pendant cette période que je lance une réflexion sur « **les sciences pour l'ingénierie des systèmes écologiques** ». Ces réflexions ont été reprises en partie au sein du *Cemagref*, de l'ACI Écologie Quantitative [4.22], du département « Environnement et développement durable » et puis de l'Institut Écologie et Environnement du CNRS.

Après mon départ de la direction du programme, je n'abandonne pas pour autant toute réflexion et action pour la recherche sur l'environnement. Ainsi, je contribue, avec la nouvelle direction du Programme « Environnement, vie et sociétés », à la mise en place d'un dispositif de recherche préfigurant un très grand équipement (TGE) de recherche sur l'environnement. La conception de ce dispositif, les zones ateliers pour la recherche sur l'environnement, est aussi publiée [3.33]. Cette réflexion s'appuie alors sur une étude précédente réalisée au sein du Conseil supérieur de la recherche et de la technologie (CSRT) portant sur les TGE actuels qui concernent principalement les sciences physiques ([3.38], article écrit en collaboration avec Claudine Laurent, astronome et, à l'époque, Vice-Présidente du CSRT). Enfin, toujours dans le cadre du CSRT, je rédige un rapport intitulé : « les recherches sur l'environnement en France », présenté toujours selon le même principe : une réflexion sur l'état de l'art, un constat sur l'existant, une analyse de la situation et des propositions pour une nouvelle organisation de cette recherche [4.23]²⁰.

¹⁸ Selon Google Scholar : 140 points d'entrée et, au total, cité 410 fois, pour un livre... écrit en français.

¹⁹ On pourra trouver l'histoire du Programme Environnement et du Programme Environnement, Vie et Sociétés dans le n°4 de « la revue pour l'histoire du CNRS » [3.34]. Par ailleurs, nous montrons comment ces programmes ont influencé le cadre scientifique du programme Amazonie, lancé en 2004, pour renforcer l'implantation du CNRS en Guyane [2.45].

²⁰ Lors de la présentation de ce rapport, devant le CSRT, une vive discussion s'engage avec une collègue historienne, lorsque que j'ai évoqué l'implication difficile des sciences de l'homme et de la société dans les recherches sur l'environnement et proposé une interprétation de ces difficultés... sujet toujours sensible.

Pendant ces années, je m'intéresse, en toile de fond, aux recherches menées en zone intertropicale, convaincu qu'on y trouve d'excellents « modèles »²¹ pour les recherches en sciences de la nature, en sciences pour l'ingénieur et en sciences sociales, et qu'elles sont de première importance. C'est ainsi que je fut un temps un visiteur régulier à l'Institut français de Pondichéry (une mission par an de 1985 à 1993), pour apporter un soutien méthodologique aux équipes de cet institut. Ensuite la Guyane devient un nouvel objectif. Pendant la période 1990-1998, de nombreuses actions et dispositifs de recherche (par exemple, le programme ECOFIT, le programme Mercure-Guyane, la station des Nouragues²²) sont soutenus par les programmes de recherche sur l'environnement. J'acquiers ainsi une bonne connaissance du terrain et prends conscience que notre communauté ne valorise pas suffisamment les terrains qui leur sont accessibles. Par exemple, la France, et donc l'Europe, bénéficie d'une forêt de type amazonien, cas unique pour les pays développés. Un article d'information est publié en 1993 et à ce sujet dans la Lettre du Programme Environnement du CNRS [4.9]. Dix ans plus tard, profitant de la dynamique créée par le projet de Pôle universitaire guyanais, le CNRS décide de s'implanter en Guyane et pour cela me demande de superviser cette implantation. C'est ainsi que je rejoins cette région de France en Amazonie, en septembre 2002, pour créer les conditions d'accueil de chercheurs et des unités de recherche où regrouper ces chercheurs, puis concevoir un hôtel à projet (concept émergeant à l'époque). Un appel à intention, diffusé par le CNRS, obtient un succès inattendu : 95 réponses individuelles ou collectives. Le tout représentant un total de 248 chercheurs et ingénieurs. De façon à maintenir la mobilisation des chercheurs et à montrer l'engagement du CNRS, un Programme interdisciplinaire (Programme Amazonie : Analyse, Modélisation et Ingénieries des Systèmes Amazoniens), a été créé en avril 2004 [4.28]. Il a été reconduit pour 4 ans début 2008 après une évaluation très positive par le Conseil scientifique du CNRS. Un bilan est publié en octobre 2010 [2.45] sous la forme d'un livre (cf. ci-après) et semble avoir un succès « inespéré ». L'objectif était triple : (1) communiquer à un public aussi large que possible les résultats obtenus et aussi la façon de les obtenir, et ainsi (2) établir le lien entre science et société, (3) présenter un bilan « attractif » à un an de la fin du programme.

Une phase de structuration et de programmation de cette recherche est réalisée en Guyane. Ainsi, un Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) intitulé Irista (Initiative de recherche interdisciplinaire sur des systèmes et territoires amazonien) en Guyane et créé après une action du CNRS [4.31].

²¹ La polysémie du mot modèle peut conduire à certaines confusions. Dans le domaine scientifique, notamment celui des sciences de la nature, il faut distinguer les objets ou phénomènes « modèles », dont l'étude a une certaine valeur de généralité (la drosophile et la souris en génétique, la turbulence atmosphérique comme modèle d'un système chaotique), des modèles d'objets ou de phénomènes, qui sont des représentations formelles de ces objets (par exemple, le modèle logistique de la dynamique d'une population). Dans certains cas, on pourra donc parler de modèles de modèles (le modèle de Fisher de diffusion des gènes chez la drosophile, ou plus exactement dans une population de drosophiles)...

²² Le Programme ECOFIT était consacré à l'histoire des systèmes forestiers intertropicaux, le Programme Mercure-Guyane s'intéressait au devenir, en milieu amazonien, de cet élément chimique, en grande partie apporté par les activités, légales ou... non, d'exploitation aurifère. La station de Nouragues, montée par un chercheur français, Pierre Charles-Dominique, d'abord dans un laboratoire du Muséum National d'Histoire Naturelle, puis en Guyane et actuellement au CEFÉ à Montpellier, est l'un des fleurons actuels en la matière (des chercheurs d'une vingtaine de nationalités se succèdent ; on est passé d'un flux de 40 chercheurs/an avant 2007 à 250 en 2010).

Amazonie, une aventure scientifique et humaine du CNRS. Gallade, 2010 (écrit en collaboration avec Gaëlle Fonet).

ISBN 978-2-35176-115-1

L'Amazonie est une région mythique, à laquelle se rattache tout un imaginaire originel : forêt vierge, terre nourricière, harmonie entre la nature et les peuples premiers, immenses espaces à franchir et à conquérir – dans la réalité ou en rêve. L'Amazonie, c'est aussi, à l'heure de la mondialisation et des grands défis écologiques partagés par l'humanité tout entière, le plus grand réservoir de diversité biologique de la planète. Véritable laboratoire à ciel ouvert, la forêt amazonienne et ses terres inexploitées est le meilleur endroit pour étudier la biodiversité des systèmes tropicaux.

C'est cette grande aventure scientifique et humaine, née en 2002 lorsque le CNRS décide de s'implanter durablement en Guyane, que raconte ce livre.



Que savons-nous aujourd'hui de l'Amazonie, de son histoire naturelle et humaine, de sa biodiversité ? Quelles frontières de la connaissance voulons-nous franchir et dépasser ? Quels seront les produits et les technologies de demain, les voies alternatives de développement et les futurs possibles ? Comment la recherche scientifique est-elle décidée, conçue, organisée ? Quels en sont les acteurs ? les résultats ? Quelle est son influence ? Autant de questions que posent Alain Pavé et Gaëlle Fonet. Ils donnent ainsi au lecteur curieux de la science de nouvelles clés pour réfléchir sur les concepts d'environnement, de biodiversité ou de développement durable – et nous ouvrent les espaces de rêve et de possibles, aux frontières de la connaissance, de l'Amazonie.

En mai 2008, c'est le retour en France métropolitaine, à Lyon, pour concevoir le projet de stratégie scientifique d'un futur centre de recherche sur la toxicologie environnementale et l'écotoxicologie à Rovaltain. Je continue à diriger le Programme Amazonie qui acquiert une bonne réputation. Je consacre, en parallèle, un temps non négligeable à mes réflexions personnelles et à mes engagements institutionnels sur la question de la biodiversité, ainsi que du rôle et de l'origine du hasard dans les systèmes vivants et leur évolution qui doit constituer l'essentiel de mon activité scientifique ces prochaines années. Dans le même ordre d'idée, la nécessité de faire un bilan de l'interdisciplinarité au CNRS et de proposer une politique en la matière me conduit à m'impliquer, à la demande de la gouvernance, dans une « mission sur l'interdisciplinarité » mise en place début 2011.

Deux Académies m'ont accueilli en leur sein : l'Académie d'Agriculture de France (correspondant, en 2000) et l'Académie des Technologies (membre titulaire, en 2002). Certes ces élections sont quelque part une forme de consécration, mais offrent surtout l'occasion de continuer une réflexion scientifique dans un milieu dont on peut dire qu'il est, pour le moins, bien adapté à cette aspiration. Par ailleurs, je suis membre de l'Académie des Sciences de New York et de la *Sigma-Xi Society for Scientific Research*.

Modélisation des systèmes vivants, de la cellule à l'écosystème.

Hermès/Lavoisier, Paris, 633p, 2012.

ISBN 978-2-7462-3911-1

Modeling of living systems, from cell to ecosystem

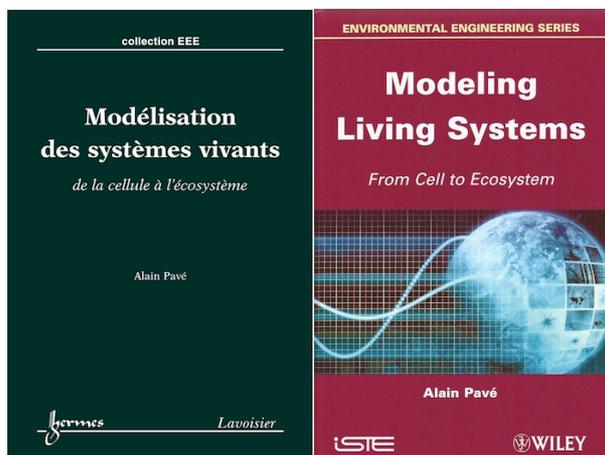
ISTE/Wiley, London, 620p, 2012.

ISBN 978-1-84821-423-1

Résumé en anglais

The modeling methodology has become a fixture in the life sciences. This book is based on solid expertise in the field and aims to answer the question: when modeling, why and how?

Numerous examples are presented starting from the biological problem, followed by construction of the model, its numerical implementation and interpretation of results. The components are provided to appropriate to repeat the process, including calculations. An appendix presents the main mathematical tools in accessible language. The conceptual and theoretical presentations are accurate. The history of the method, epistemological and ethical dimensions, as well as future developments are also presented. Overall, this book combines practice and theory, mathematics, biology and ecology, history and perspectives, allowing readers to gain both a culture and a technical expertise in the field



En conclusion, même pendant la période consacrée à la recherche sur l'environnement, je ne m'éloigne jamais d'une activité de recherche personnelle. Et dans mes fonctions de direction de programme, j'ai toujours le souci d'accompagner ce travail par une réflexion scientifique sur le sujet des recherches, en l'occurrence l'environnement et plus récemment sur les systèmes complexes, en particulier les systèmes vivants, sans pour autant oublier les tâches de gestion et d'organisation du dispositif de recherche. Cette préoccupation conceptuelle est, sans doute et dans une certaine mesure, héritée de mon métier de « modélisateur ». D'un autre côté, ingénieur de formation et... par aspiration, j'ai toujours été soucieux d'être ancré dans la réalité d'une science utile, sans oublier dans cette utilité celle de répondre à de grandes questions, ou de faire rêver les humains, grands et petits, que nous sommes. Cette ambition de faire rêver doit garder une part importante dans les objectifs de la recherche. **Par ailleurs, notre expérience prouve que les approches fondamentales doivent aussi être privilégiées. C'est le moyen le plus sûr, le plus efficace et le plus économique pour répondre à des finalités et pour aboutir à des innovations majeures.** Bien que l'histoire des sciences en ait fait la démonstration à de multiples reprises, il est étonnant que ce fait bien établi soit oublié avec une grande régularité et ignoré par beaucoup de politiques et de gestionnaires en charge

de gouverner la recherche, d'autant plus que des idées fondamentales sur la « recherche publique » ont été clairement énoncées par Francis Bacon au début du XVIIe.²³

Pour finir, je peux dire que j'ai trouvé passionnant ce travail tout au long de ma carrière, que je me suis souvent amusé et que j'espère continuer encore un bon moment ; heureusement que j'ai eu un entourage qui m'a permis de le faire. C'est aussi grâce à ce travail et à cet entourage que des événements graves et même tragiques de ma vie ont pu être surmontés. Je ne peux que conseiller aux jeunes qui ont des aptitudes et surtout des motivations pour la recherche de s'y engager résolument. Ce n'est pas facile, mais combien valorisant. Mais qu'ils ne s'attendent pas à faire fortune en s'y engageant, ou du moins fortune d'argent. En revanche, ils feront fortune de connaissances et d'aventures... scientifiques et humaines et en seront au moins aussi heureux.

Étant localisé dans le bâtiment Gregor Mendel du campus de La Doua, il me semble important de lui rendre hommage.



Statue de Gregor Mendel, photographiée en août 2010 à Brno dans l'enceinte de l'Abbaye des Augustins où il réalisa ses travaux devenus célèbres, fondateurs de la génétique (photo AP). On retiendra aussi qu'un autre grand scientifique était originaire de Brno : Kurt Gödel et qu'à une dizaine de kilomètres à l'est se trouve Slavkov, anciennement... Austerlitz.

²³ Francis Bacon. Du progrès et de la promotion des savoirs (1605) Avant-propos, traduction et notes de Michèle Le Dœuff, Gallimard, 1991.

Et l'article de Nicolas Journet : Innovation, dans *Sciences Humaines*, 274, 2015.

https://www.scienceshumaines.com/innovation_fr_34882.html

3. Production scientifique

3.1. Mémoires de thèses

- 1.1. **Pavé A.** - Étude des variations de la thermogenèse en fonction de la température chez *Ceratitis capitata* Wied (diptère méditerranéen). Thèse 3ème Cycle, Lyon 1969, 40 p.
- 1.2. **Pavé A.**- Contribution à la théorie et à la pratique des modèles mathématiques pour l'analyse dynamique des systèmes biologiques. Étude de quelques cas typiques en biologie cellulaire et moléculaire. Thèse d'état, Université Claude Bernard - Lyon 1, 1980, 147 p., *Reéditée en 1986*.

3.2. Ouvrages et participations à des ouvrages

- 2.1. Legay J.M., **Pavé A.**, Ploye H., Sillans D., Lemaître C., Buatois A. - Thermogenèse et thermométrie chez les insectes. *GRBC* (Lyon), 1971, 48-60.
- 2.2. Chassé J.L. et **Pavé A.**- Eléments de Calcul des Probabilités et de Statistique Appliqués à la biologie. CAST, Lyon, 1973, 215 p.
- 2.3. **Pavé A.** - Quelques Applications du Calcul des Probabilités. CAST, Lyon, 1973, 66 p.
- 2.4. Thoiron Ph., **Pavé A.**- Lewis Carroll : Alice's adventures in wonderland. I- Concordance. Université de Lyon II, 1975.
- 2.5. Thoiron Ph., **Pavé A.**- Lewis Carroll : Alice's adventures in wonderland. II- Index statistique. Université de Lyon II, 1975.
- 2.6. Chassé J.L. et **Pavé A.** - *Probabilités et statistiques en biologie*. CEDIC, Lyon, 1975.
- 2.7. **Pavé A.** - Introduction aux modèles morphologiques dérivés de la théorie des langages. *Biométrie et Biologie Cellulaire* (Ed. Legay J.M. et al). Société Française de Biométrie, 1979, 40-67.
- 2.8. Legay J.M., Chassé J.L., **Pavé A.**, Chessel D., Gautier C., Lebreton J.D., Pagès M., Pontier J. - Exercices et Problèmes commentés, Mathématiques pour Biologistes. MASSON, Paris, 1981, 208 p.
- 2.9. Chérury A., Gautier C., **Pavé A.** - Analyse des systèmes biologiques : certains aspects liés à la modélisation. In " *la notion de système dans les sciences contemporaines*", tome 1 "méthodologies", Ed. J. Lesourne. Lib. de l'Université (Aix-en-Provence), 1982,72-152.
- 2.10. **Pavé A.** - Modèles à compartiments linéaires. In " *Modèles dynamiques déterministes en biologie*". Ed. Lebreton J.D. et Millier C., Masson, 1982, 99-134.
- 2.11. **Pavé A.**, Rousseau B., Yoccoz G. - DYNAMAC : un logiciel de simulation et d'étude de modèles mathématiques. Exemples d'utilisation en Biologie. Informatique appliquée à la Biologie (1 - Calcul Scientifique). École Normale Supérieure de Lyon, 1988, 59p.
- 2.12. **Pavé A.** (Ed)- *Les Cahiers d'Edora*, INRIA, 1, 1988, 240p.
- 2.13. **Pavé A.** – Edora : modélisation des systèmes biologiques. *Les Cahiers d'Edora*, INRIA, 1, 3-22, 1988,
- 2.14. **Pavé A.** – Interprétation et construction de modèles de la dynamique des populations à l'aide de schémas fonctionnels. *Les Cahiers d'Edora*, INRIA, 1, 49-82, 1988.
- 2.15. Houllier F. et **Pavé A.** – Estimation initiale des paramètres d'un système différentiel linéaire en fonction des paramètres. Application aux courbes de croissance non linéaires. *Les Cahiers d'Edora*, INRIA, 1, 131-142, 1988.
- 2.16. **Pavé A.** - Schémas fonctionnels et modélisation. Étude de modèles de la dynamique des populations. " *Biologie et Économie - Les apports de la modélisation* ", Ed. Demongeot J. et Malgrange P., Série d'Econométrie Appliquée, collection de l'Institut de Mathématiques Economiques, Lib. de l'Université (Dijon), 223-250, 1988. ISBN 2-85975-033-9
- 2.17. Thoiron P. et **Pavé A.** - *Index et concordance pour " Alice's Adventures in Wonderland " de Lewis Carroll*. Ed. Champion-Slatkine, Genève, livre et 10 microfiches, 1989. (Pour mémoire cette publication est ni biologique, ni écologique, mais sa qualité a été soulignée par la critique internationale dans le domaine).
- 2.18. **Pavé A.** - Systèmes à bases de connaissances et modélisation mathématique en biologie. Actes du Coll. " *Imagerie médicale et systèmes experts appliqués à la Médecine*", ENS Lyon, Mars 1988 (Conf. invitée, Ed. Springer-Verlag),1990.
- 2.19. Carret G., Carré C., Flandrois J.P. et **Pavé A.** - Modèles mathématiques de la bactéricidie. In " *Bactéricidie. Aspects théoriques et thérapeutiques* ", Eds Courvalin P. et al, Maloine, Paris, 1990, 157-172.

- 2.20. Flandrois J.P., Carret G., Carré C., **Pavé A.** - Expression des résultats des méthodes d'étude de la bactéricidie. In " *Bactéricidie. Aspects théoriques et thérapeutiques* ", Eds Courvalin P. et al, Maloine, Paris, 1990, 139-156.
- 2.21. Kernevez J.P., Le Dimet F.X., **Pavé A.** - Simulation and control of closed artificial ecosystems. *Workshop on artificial ecological systems*, DARA & CNES, Marseille, 1990, 177-190.
- 2.22. **Pavé A.** and Vansteenkiste G.C. (Eds) - *Artificial Intelligence in Numerical and Symbolic Simulation*. ALEAS, Lyon, 1991, 245p.
- 2.23. **Pavé A.**, Gautier N. and Bernstein C.- Object centered representation and problems related to living systems in nature : systematics, biogeography and population dynamics. *Artificial Intelligence in Numerical and Symbolic Simulation* , ALEAS, Lyon, 51-74, 1991.
- 2.24. **Pavé A.** - *Knowledge Based Systems - Toward Applications in Biotechnology and Natural Resources Management*. Francqui Chair Conferences, University of Gent, May 1988 revised 1992, 95p.
- 2.25. Gautier N., **Pavé A.**, Rechenmann F. - Object centered representation and fish identification in Antarctica. In : *Advances in Computer Methods for Systematics Biology* (R. Fortuner Ed). The John Hopkins University Press, 1992, 181-196.
- 2.26. **Pavé A.** - La diversité biologique, un patrimoine à conserver. In « *L'état de l'environnement* », Ed. M. et C. Beaud et M. L. Bouguerra, La Découverte et la FPH, Paris, 72-73, 1993. ISBN : 978-2-7071-2196-7,
- 2.27. **Pavé A.** (Ed.) - *Modelling and simulations*. Society for Computer Simulation , 1993 (610 p). ISBN : 1-56555-018-8.
- 2.28. **Pavé A.** - Multi-fonctions et pluri-usage des forêts. *L'événement européen, initiatives et débats « développement, environnement, coopération »*, 23-24, Seuil, Paris, 127-139, 1993.
- 2.29. **Pavé A.** - *Modélisation en biologie et en écologie*. Aléas, Lyon, 1994, 560p
- 2.30. **Pavé A.** et Gouzé J.L. - *Les Cahiers d'Edora*. INRIA, 2, 1994.
- 2.31. **Pavé A.** – Edora et ses enfants. La modélisation et quelques questions d'actualité. *Les Cahiers d'Edora*. INRIA, 2, i-iii, 1994.
- 2.32. **Pavé A.** Algèbre linéaire, calcul matriciel et applications. Univ. Claude Bernard Lyon 1. 1994, 110 p.
- 2.33. **Pavé A.** Modélisation pour l'environnement et le développement. In « *Tendances Nouvelles en modélisation pour l'environnement* », Elsevier, 1997. ISBN : 2-84299-019-6.
- 2.34. Jollivet M. et **Pavé A.** - O meio ambiente : questões e perspectivas para a pesquisa. In « *Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento* », Ed. Freire Vieira P. e Weber J., Cortez, São Paulo, ISBN : 2852490633 ,1997, 53-112.
- 2.35. Gros F., Carlton J., **Pavé A.** - L'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée : synthèse et propositions. In « *Dynamique d'espèces marines invasives : application à l'expansion de Caulerpa taxifolia en Méditerranée* ». Académie des Sciences, ISBN : 2-7430-0236-0, Tec&Doc, Lavoisier, 1997, 335-337.
- 2.36. Thellier M., Echaubard M., Kloareg B., Laubier L., **Pavé A.** - Proposition d'actions de recherche sur la dynamique de *Caulerpa taxifolia*. In « *Dynamique d'espèces marines invasives : application à l'expansion de Caulerpa taxifolia en Méditerranée* ». Académie des Sciences, , ISBN : 2-7430-0236-0, Tec&Doc, Lavoisier, 1997, 338-347.
- 2.37. **Pavé A.** - Environnement et Développement, éléments pour un débat prospectif. Contribution à l'ouvrage de F. Mayor et J. Bindé « *Un monde nouveau* » UNESCO/Odile Jacob, 1999.
- 2.38. Barbault R., **Pavé A.** Écologie des territoires et territoires de l'écologie. Caseau P. (Ed). Études sur l'environnement : du territoire au continent. Académie des Sciences, RST « Études sur l'environnement. De l'échelle du territoire à celle du continent » ISBN : 2-7430-0609-9, Tech&Doc, Lavoisier, 2003, 1-48.
- 2.39. **Pavé A.** , Pumain D., Schmidt-Lainé C. Dynamique des territoires : les changements de couverture et d'utilisation des terres. Caseau P. (Ed). Académie des Sciences, RST « Études sur l'environnement. De l'échelle du territoire à celle du continent », ISBN : 2-7430-0609-9, Tech&Doc, 2003, 51-77.
- 2.40. CNER ; La recherche agronomique française pour le développement : enjeux internationaux (Expertise : Michel Petit, **Alain Pavé** avec le concours d'Ariel Crozon), La Documentation Française, 152p, 2005.
- 2.41. **Pavé A.** Hierarchical Organization of Biological and Ecological Systems . In D. Pumain (ed) : *Hierarchy in Natural and Social Sciences*. Methodos series, Springer, 2006, 39-70.
- 2.42. **Pavé A.** La nécessité du hasard – Vers une théorie synthétique de la biodiversité. EDP-Sciences, 2007, 192p.
- 2.43. **Pavé A.** L'évolution entre hasard et nécessité, entre science et sociétés. Parcours, Cahiers du GREP Midi-Pyrénées, N° 39-40, 2008-2009, pp203-225.

- 2.44. **Pavé A.** *On the Origins and Dynamics of Biodiversity : the Role of Chance.* Springer, New-York, 2010.
- 2.45. **Pavé A.** et Fornet G. *Amazonie, une aventure scientifique et humaine du CNRS.* Galaade, Paris, 2010.
- 2.46. **Pavé A.** *La course de la Gazelle. La vie, sa diversité et son évolution, entre hasard et nécessité, entre science et société.* EDP Sciences, Les Ulis, 2011.
- 2.47. **Pavé A.** *Modélisation des systèmes vivants : de la cellule à l'écosystème.* Hermès/Lavoisier, Paris, 2012.
- 2.48. **Pavé A.** *Modeling living systems, from cell to ecosystem.* ISTE/Wiley, London, 2012.
- 2.49. **Pavé A.**, Jean-Marie Legay (1925-2012), pionnier de la modélisation ; In : *Modéliser & simuler. épistémologies et pratiques de la modélisation et de la simulation* Éditions Matériologiques, tome 1, 713-727. 2013.
- 2.50. **Pavé A.** Entre protection et élimination, que deviennent les petites curiosités de la nature ? In : *Le développement durable à découvert.* Ed. Agathe Euzen, Laurence Aymard et Françoise Gaill. CNRS Éditions. 98-99, 2013.
- 2.51. **Pavé A.** Les cailloux du Petit Poucet. Du laboratoire à l'Amazonie, à propos du vivant et des sciences qui en parlent. EDP Sciences, 2015.
- 2.52. Guillaume LECOINTRE, Muriel GARGAUD, Marc LACHIEZE-REY, Giuseppe LONGO, **Alain PAVÉ.** Changement, transformation, évolution, historicité. In « Évolution, de l'univers aux sociétés », dir. Muriel Gargaud et Guillaume Lecointre, Ed. Matériologiques, 2015, pp23-40.
- 2.53. Guillaume LECOINTRE, Patrick DE WEVER, Sylvia EKSTRÖM, Muriel GARGAUD, Matthieu GOUNELLE, Etienne KLEIN, Giuseppe LONGO, Hervé MARTIN, **Alain PAVÉ,** Bernard WALLISER, Brigitte ZANDA, René ZARAGÜETA-BAGILS. Catégories et classifications face au changement. In « Évolution, de l'univers aux sociétés », dir. Muriel Gargaud et Guillaume Lecointre, Ed. Matériologiques, 2015, pp422-454.
- 2.54. **Pavé A.** Modeling in Contemporary Sciences. Efficiency and limits. Example from Oceanography. In « Tools for Oceanography and Ecosystemic Modeling » (Ed. Monaco A and Prouzer P.), ISTE, 2016, 313-335.
- 2.55. Marion Guillou, **Alain Pavé** (dir.) Les technologies et le changement climatique, des solutions pour l'atténuation et l'adaptation. Académie des technologies, Paris, 2016, 103p.
- 2.56. **Alain Pavé.** Le point de vue du modélisateur. In « Qu'est-ce que la science pour vous ? 50 scientifiques et philosophes répondent » (Ed. Marc Silberstein), Éditions Matériologiques, 2017, 199-203.
- 2.57. **Alain Pavé,** Virginie Bonnallie-Noël, Mathieu Lewin, Alain Dollet, Erol Gelenbe (Dir.). Modélisation : succès et limites. Actes de colloque CNRS – Académie des technologies, 6 décembre 2016, Académie des technologies 2018.
- 2.58. **Alain Pavé,** Comprendre la biodiversité, vrais problèmes et idées fausses. Editions du Seuil, 2019.
- 2.59. **Alain Pavé.** Amazonie : un vaste écosystème en évolution permanente, Encyclopédie de l'environnement, en ligne depuis le 21 octobre 2019

<https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/amazonie-ecosysteme-evolution-permanente/>

3.3. Articles dans des revues à comités de lecture et indexées

- 3.1. **Pavé A.** - Essais de définition d'une température optimale de mesure du métabolisme de base chez les poïkilothermes. *C.R.A.S.*, 1465-1467, 1968.
- 3.2. **Pavé A.** et Lebreton J.D. - MILADIE : un mini-langage d'application pour le traitement numérique d'équations différentielles et de récurrence. *RAIRO*, B-2, 73-79, 1973.
- 3.3. Chassé J.L., Legay J.M. et **Pavé A.** - Le modèle de Volterra-Kostitzin en dynamique des populations, ajustement et interprétation des paramètres. *Ann. Zool. Ecol. Anim.*, 9, 425-441, 1977.
- 3.4. **Pavé A.** - Estimation of tracer waiting time in morphological structures using a catenary irreversible compartmental system. *Exp. Cell Research*, 149-150, 1977.
- 3.5. **Pavé A.** et Pagnotte Y. - An approach to Computer-Aided-Design, a tool for mathematical modeling in Biology and Ecology. *Comput. in Biol. and Med.*, 7, 301-310, 1977.
- 3.6. **Pavé A.** - Dynamics of Macromolecular populations : a Mathematical Model of the Quantitative Changes of RNA in the silkgland during the last larval instar. *Biochimie*, 61, 263-273, 1979.
- 3.7. Grantham R., Gautier C., Gouy M., Mercier R. et **Pavé A.** - Codon catalog usage and the genome hypothesis. *Nucleic Acids Research*, 8, 49-62, 1980.
- 3.8. **Pavé A.** et Corman A. - Apport de la modélisation aux études de biologie des sols : exemple de la nitrification. *Sol*, 4, 63-74, 1981.

- 3.9. **Pavé A.** et Rechenmann F.- Computer aided modelling in biology : an Artificial Intelligence approach. « *A.I. Applied to Simulation* », *SCS Simul. Serie*, 18, 52-66, 1986.
- 3.10. Corman A. et **Pavé A.** - On parameter estimation of Monod's Bacterial growth model from batch culture data. *J. Gen. & Appl. Microbiol.*, 29, 91-101, 1983.
- 3.11. **Pavé A.**, Corman A. et Bobillier-Monot B. – Utilisation et interprétation du modèle de Gompertz, application à l'étude de la croissance de jeunes rats musqués (*Ondatra zibethica* L.). *Biométrie-Praximétrie*, 26, 123-140, 1986.
- 3.12. Corman A., Carret G., **Pavé A.**, Flandrois J.P., Couix C. - Bacterial growth measurement using an automated system : mathematical modelling and analysis of growth kinetics. *Ann. Inst. Pasteur / Microbiol.*, 137-B, 133-143, 1986. DOI: 10.1016/S0769-2609(86)80102-8.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0769260986801028>
- 3.13. Steinberg C., Faurie G., Zegermann M., **Pavé A.** - Régulation par les Protozoaires d'une population bactérienne introduite dans le sol. Modélisation mathématique de la relation prédateur-proie. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 24, 1, 49-62, 1987.
- 3.14. Zegermann M. Couteaudier Y, Alabouvette R., **Pavé A.** Modélisation des processus de compétition nutritive entre microorganismes : application aux Fusariums. *Agronomie*, 10, 797-806, 1987.
- 3.15. **Pavé A.** - Systèmes experts : application à la modélisation en biologie. *Matapli*, 11, 5-19, 1987.
- 3.16. **Pavé A.** - Modélisation en Biologie : problèmes liés à l'interprétation des objets mathématiques. *Bulletin de la Société Mathématique de France (ISSN 0037-9484)*, 115, 130-140, 1987.
- 3.17. G Carret, B Charpe, A Cheruy, J P Flandrois, **A Pavé**, C Couix. Effect of subinhibitory concentrations of antibiotics on the growth level of bacteria]. *Pathologie Biologie*. 35(5):483-93, 1987.
- 3.18. Comby S., Carret G., Flandrois J.P., **Pavé A.**, Pérouse de Montclos M. - Utilisation d'un système expert d'aide à la réalisation des examens cyto bactériologiques urinaires. *Ann. Biol. Clin.*, 46, 669-672, 1988.
- 3.19. Comby S., Flandrois J.P., **Pavé A.** - Système expert d'aide à la validation des résultats de l'antibiogramme, étude de faisabilité sur l'exemple de *Staphylococcus aureus*. *Pathologie-Biologie*, 36, 5, 381-385, 1988.
- 3.20. Comby S., Carret G., **Pavé A.**, Flandrois J. P. Pichat C. Antibiotiques bactériostatiques et bactéricides: différences des effets des concentrations subinhibitrices sur la croissance de *Escherichia coli*. [Bacteriostatic and bactericidal antibiotics: differences in subinhibitory concentration effects on the growth of *Escherichia coli*]]. *Pathologie-Biologie*, 37(5):335-340,1989 .
- 3.21. **Pavé A.** - Biometrics, Modelization and Artificial Intelligence. *Journal of integrated study of Artificial Intelligence, Cognitive Sciences and Applied Epistemology*, 6, 2/3, 153-176, 1989.
- 3.22. Gautier N. et **Pavé A.** - Object Centered Representation for Species Systematics and Identification in Living Systems in Nature. *Cabios*, 6, 383-386, 1990. doi:10.1093/bioinformatics/6.4.383
<http://bioinformatics.oxfordjournals.org/content/6/4/383>
- 3.23. Flandrois J.P., Carret G., **Pavé A.** - Exprim : An Expert System Useful in the Phenotypic Identification of Bacteria. *Binary*, 3, 57-60, 1991.
- 3.24. Lobry J.R., Flandrois J.P., Carret G., **Pavé A.** - Monod's bacterial growth model revisited. *Bull. of Mathem. Biology*, 44, 117-122, 1992.
- 3.25. Jollivet M. et **Pavé A.** - L'Environnement un champ de recherche en formation. *Natures, Sciences, Sociétés*, 1,1, 6-20, 1993.
- 3.26. Bousquet F., Cambier C., Mullon C., Morand P., Quensière J. and **Pavé A.** - Simulating the Interaction Between a Society and a Renewable Resource. *Journal of Biological Systems*. 1:2, 199-214, 1993.
- 3.27. **Pavé A.** - Interpretation of population dynamics models by using schematic representations. *Journal of Biological Systems*. 1:3, 275-309, 1993.
- 3.28. **Pavé A.** - Modélisation des écosystèmes forestiers : enjeux, problèmes et approches. *Revue d'écologie : La Terre et la Vie*, 50:3, 193-197, 1995. ISSN : 0249-7395.
- 3.29. **Pavé A.** Environnement et développement : approches scientifiques, structuration du domaine et coévolution des recherches. *Natures, Sciences, Sociétés*, 5,1, 50-63, 1997.
- 3.30. **Pavé A.**, Courtet C., Volatier J-L. Environnement : comment la communauté scientifique voit les problèmes. *Courrier de l'Environnement*, INRA, 34, 109-114, 1998. ISSN 1241-3992
- 3.31. **Pavé A.** Courtet C., Volatier J.L. - Environnement : Mille chercheurs hiérarchisent les urgences. *La Recherche*, 306, Février 1998.

- 3.32. **Pavé A.** Biovision. Forum International des Sciences de la Vie. Compte-rendu de forum. *Natures, Sciences, Sociétés*, 7, 4, 1999, 48-50.
- 3.33. Lévêque C., **Pavé A.**, Abbadie L., Weill A., Vivien F.-D. - Les zones ateliers, des dispositifs pour la recherche sur l'environnement et les anthroposystèmes. *Natures, Sciences, Sociétés*, 4, 44-55, 2000.
- 3.34. **Pavé A.** French environmental labs may get " big science " funds. (interview), *Nature*, 403, 2000, 822.
- 3.35. **Pavé A.** – Deux Programmes de recherche sur l'environnement dans les années 1990-1998 : Le Programme Environnement et le Programme Environnement, Vie et Sociétés. *La Revue pour L'histoire du CNRS*, 4, 32-46, 2001.
- 3.36. Schmidt-Lainé C. 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.
- 3.37. Schmidt-Lainé C. et **Pavé A.** Les sciences et technologies du vivant au Cemagref. Situation et perspectives. *Natures, Sciences, Sociétés : Sciences pour l'ingénierie de l'environnement* 10 : s.1, 2002.
- 3.38. **Pavé A.** et Laurent C. – Les Très Grands Équipements pour la recherche : vers une nouvelle définition des concepts et des moyens. *Natures, Sciences, Sociétés*, 10 : 2, 2002, 80-92.
- 3.39. **Pavé A.**, Hervé J.C. et Schmidt-Lainé C. – Mass extinctions, biodiversity explosions and ecological niches. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences-Biologies*, 325 : 7, 2002, 755-765.
- 3.40. **Pavé A.** et Schmidt-Lainé Cl. - Integrative biology: modelling and simulation of the complexity of natural systems, *Biology International*, 44, 2003, 13-24.
- 3.41. Schmidt-Lainé Cl., **Pavé A.** Bringing complexity back to life. *Biologist* (to be published)
- 3.42. **Pavé A.** La modélisation et la simulation des objets et processus complexes. Questions scientifiques, méthodologiques et éthiques. *Natures, Sciences, Sociétés*, 13 :2, 2005, 169-171.
- 3.43. **Pavé A.** Les moyens lourds de la recherche : un exemple de « développement durable » pour la science. *La revue pour l'histoire du CNRS*, 12, mai 2005.
- 3.44. **Pavé A.** À propos de la conférence internationale « Biodiversité, Science et Gouvernance » : le point de vue d'un biologiste. *Natures, Sciences, Sociétés*, 13 :4, 2005, 440-446
- 3.45. **Pavé A.** By way of introduction : Modelling Living Systems, their diversity and their complexity. Some Methodological and Theoretical Problems. *C.R. – Biologies*, 329 : 1, 2006, 3-12.
- 3.46. **Pavé A.** Necessity of chance: biological roulettes and biodiversity. *CR-Biologies* 330 : 3, 2007, 189-198.
- 3.47. **Pavé A.** Eau et territoires. *Natures, Sciences, Sociétés*, 15-4, 2007, 424-426.
- 3.48. Lévêque C., Mounolou J.C., **Pavé A.**, Schmidt-Lainé Cl. À propos des introductions d'espèces, écologie et idéologies. *Études rurales*, 2010, 185 : 219-234.
- 3.49. **Pavé A.** Jean-Marie Legay : le scientifique, l'humaniste et le novateur. *Natures, Sciences, Sociétés*, 21, 99-101, 2013.
- 3.50. **Pavé A.** Observer la biodiversité. Comment ? Pour quoi faire ? Exemple de l'Outre-Mer. *Mondes et cultures, CR annuel de l'Académie des sciences d'Outre-Mer* 2013, volume 1, 2015, 406-420.
- 3.51. Virgile Baudrot, Sara Preux, Virginie Ducrot, **Alain Pavé** and Sandrine Charles, New Insights to Compare and Choose TKTD Models for Survival Based on an Interlaboratory Study for *Lymnea stagnalis* Exposed to Cd. *Environmental Science & Technology*, 2018.

3.4. Autres publications

- 4.1. **Pavé A.** Analyse de la variance à deux facteurs contrôlés avec interaction. In "Éléments de statistique appliquée à la Biologie". Ed. Lowy R. et Manchon P. *Programmathèque Olivetti*, 1969, 4G, 1-8.
- 4.2. **Pavé A.** Description Languages, a Tool for Mathematical Modeling, Biological and Ecological Applications. *Proceed. of the 1st World Conf. on Math. at the Service of Man. Barcelone*, 1977, 1-27.
- 4.3. **Pavé A.** et Pagnotte Y. Applications of Bilinear Models to Biological Systems. *Proceed. of IFAC workshop on "Systems and Information". Compiègne*, 1977, 162-170.
- 4.4. **Pavé A.** et Chérury A. Biological and ecological System Analysis: some aspects of Mathematical Modelling. *Actes du Coll. Franco-Suédois sur la Recherche en Math. Appl.*, Stockholm, 1978, 1-26.
- 4.5. **Pavé A.** Les bases de données en biologie. In "*Informatique, Analyse des Systèmes et Sciences de la Vie*", CNRS-SPI, 1985, 78-97.
- 4.6. Rousseau B., **Pavé A.**, Rechenmann F. et Landau M. Edora project: Artificial Intelligence approach and work station concept to aid dynamic modelling in biology and ecology. *Suppl. Proceed. of the Summer Computer Conference*, Reno Nevada, 1986, SCS, 14-20.

- 4.7. **Pavé A.** Méthodes, Modèles et théories pour la Recherche sur l'Environnement. *Lettre du Programme Environnement du CNRS*, 3, 19-20, 1991.
- 4.8. **Pavé A.** Programmation Scientifique et Recherches sur l'Environnement - Introduction aux Débats des Journées de Saint-Malo. *Lettre du Programme Environnement du CNRS*, 4 19-20, 1991.
- 4.9. **Pavé A.**, Barbero M., Lévêque C. La Guyane : un territoire pour la recherche. *Lettre du Programme Environnement du CNRS*, 5, 7-8, 1992.
- 4.10. Jollivet M. et **Pavé A.** L'Environnement : Questions et Perspectives pour la Recherche. *Lettre du Programme Environnement du CNRS*, n°6, 5-29, 1992.
- 4.11. **Pavé A.** et Barbault R. Ecosystèmes et Environnement. *Lettre du Programme Environnement du CNRS*, n°7, 10-21, 1992.
- 4.12. **Pavé A.** Modélisation, bases de données et bases de connaissances pour l'environnement. *Environnement et développement durable*, MRE, 54-56, 1992.
- 4.13. **Pavé A.** Les écosystèmes intertropicaux aux journées de Lyon organisées par le CNRS et l'ORSTOM. Le point de vue du Programme Environnement du CNRS. *Bois et Forêts des Tropiques*, 235, 5-8, 1993.
- 4.14. **Pavé A.**, Jollivet M. About Nature Science and Society : the example of the Environment - a new deal for Scientists and Engineers. Proceedings of the International Symposium *The Culture of Engineering in a Rapidly Changing World*. University of California Berkeley, Conf. Grandes Ecoles et MIT. U.C. Berkeley, nov. 1993. 168-180.
- 4.15. **Pavé A. et al.** Plan d'action du Programme Interdisciplinaire de Recherche « Environnement, Vie et Sociétés » du CNRS. 1995.
- 4.16. **Pavé A.** Du Programme Environnement au Programme Environnement, Vie et Sociétés. *Rapport d'activité 93-94*. CNRS, 1995.
- 4.17. **Pavé A.** Les modèles au CEMAGREF, synthèse générale. *Les modèles au CEMAGREF, formulation, validation, pertinence*. Tome 2. 9-11. 1995.
- 4.18. **Pavé A.** (sous la direction de). Environnement et développement durable dans l'État d'Amapá (Amazonie brésilienne). Rapport « recherche et expertise » *Programme Environnement, Vie et Sociétés*, CNRS, 1997, 89p.
- 4.19. **Pavé A.** Synthèse des travaux du Programme Environnement, Vie et Sociétés du CNRS. Éléments prospectifs. CNRS, Mai 1998, 50p.
- 4.20. **Pavé A.** *Biométrie et pays en développement*. In « de l'observation à l'analyse, implication de la biométrie dans les pays en développement », Société Française de Biométrie, 1998.
- 4.21. Barbault R. et **Pavé A.** (Ed.) *Dynamique de la biodiversité et environnement*. Programme Environnement, Vie et Sociétés, CNRS, 1999, 63p.
- 4.22. **Pavé A.** *Les Sciences et Technologies du Vivant au Cemagref*. Rapport à la Direction scientifique du Cemagref, 1999, 52p.
- 4.23. **Pavé A.** – Les recherches sur l'environnement en France. *Rapport du Conseil supérieur de la recherche et de la technologie*, 2001, 95-131.
- 4.24. Lointier M., **Pavé A.**, Andrieux P., Bonnet M.P., Cavallès M., Fabre G., Fotsing J.M., Garrec J.P., Grimaldi C., Lévi Y., de Mérona B., Polidori L., Sabatier D., Schmidt-Lainé Cl., Tostain O. Impact des activités futures d'Ariane 5 sur l'environnement humain et naturel. IRD et CNES, 2003. 67p.
- 4.25. **Pavé A.** Hasard et chaos. Présentation et conclusion de la séance « Non linéarités et comportements chaotiques des systèmes naturels ou artificiels : implications en écologie, agronomie et hydrologie/météorologie. » *C.R. Académie d'Agriculture de France* (2003).
- 4.26. **Pavé A.** Sciences pour les technologies, moteur du développement en Amazonie. Assises de la Recherche en Amazonie, Cayenne, oct-2003, 10p (bilingue Français-Anglais)
- 4.27. **Pavé A.** Projet de programme interdisciplinaire et d'institut interdisciplinaire de recherche sur les systèmes amazoniens. CNRS, oct-2003, 73p.
- 4.28. **Pavé A.** Le Programme Amazonie. CNRS. Mai 2004.
- 4.29. **Pavé A.** Hasard, Nécessité et biodiversité. Une assurance pour la vie. Académie d'Agriculture de France, 2004, 21p
http://www.academie-agriculture.fr/publications/publications+html_notes_conjoncture+xml.html?rnd=1107886508

- 4.30. **Pavé A.** Rapport d'évaluation sur la contribution française à la recherche agronomique internationale. CNER, 2004.
- 4.31. Projet de PRES en Guyane – Vers un Institut de Recherche Interdisciplinaire sur les Systèmes et Territoires Amazoniens (IRISTA) – 80p, novembre 2006. Responsable de la rédaction.
- 4.32. La science peut-elle faire de l'environnement ? *Le Figaro*, 6 juillet 1998.
- 4.33. Les trous noirs de la biodiversité. *Le Figaro*, 4 septembre 1998.
- 4.34. La modélisation comme trait d'union entre disciplines (en collaboration avec Claudine Schmidt-Lainé). *Le Figaro*, 11 janvier 1999.
- 4.35. **Pavé A.** Hasard, Nécessité et biodiversité. Une assurance pour la vie. Académie d'Agriculture de France, 2004, 21p. <http://www.academie-agriculture.fr/publications/>
- 4.36. **Pavé A.** (resp. rédaction). Projet de PRES en Guyane – Vers un Institut de Recherche Interdisciplinaire sur les Systèmes et Territoires Amazoniens (IRISTA) – 80p, novembre 2006.
- 4.37. Participation au numéro sur la Biodiversité, *Focus*, CNRS, 2006
- 4.38. Sagasciences sur la biodiversité, CNRS rédaction de 2 sections : (1) technologies bioinspirées et (2) Vers une approche théorique de la biodiversité (2007)
- 4.39. **Pavé A.** Projet scientifique du Programme Amazonie (phase II, 2008-2011), septembre 2007, 83p.
- 4.40. **Pavé A.**, Quessette M-P (Ed.). Développer et préserver : Technologies, Cultures, Environnement et Développement Durable. Actes du colloque de l'Académie des Technologies en Guyane, 29-31 octobre 2007, Rémire-Montjoly, Guyane, 2008, 76p.
- 4.41. Schmidt-Lainé Cl. et **Pavé A.** La modélisation au cœur de la démarche scientifique et à la confluence des disciplines. *Les cahiers du Musée des Confluences*, 2008, 2, 21-34.
- 4.42. **Pavé A.** La question de la biodiversité – 2010 année internationale de la biodiversité. Note de l'Académie des Technologies. Janvier 2010, 25p.
- 4.43. **Pavé A.** et al. Projet scientifique du Centre d'Ecotoxicologie et de Toxicologie Environnementale de Rovaltain. Rovaltain, juin 2010.
- 4.44. **Pavé A.** Le hasard maître des lieux. TDC (textes et documents pour la classe), numéro spécial « la biodiversité », 1001, 2010, 26-27.
- 4.45. La vie un joyeux bazar. Encart dans le cahier spécial du numéro de janvier 2011 de La Recherche (spécial biodiversité, article rédigé sur interview par Isabelle Bellin)
- 4.46. **Pavé A.** (rédacteur) 35 ans d'interdisciplinarité au CNRS. Rapport interne du CNRS, 2012
- 4.47. **Pavé A.** Debates about biodiversity: scientific and social issues. Texte des conférences données en Australie, mai 2012 (cf. ci-dessous). https://www.researchgate.net/profile/Alain_Pave/publications/
- 4.48. **Pavé A.** La biodiversité entre croyance et connaissance. Analyse, Opinion, Critique, 19 avril 2019. <https://aoc.media/analyse/2019/04/19/biodiversite-entre-croyance-connaissance/>

3.5. Analyses d'ouvrages

- 5.1. Grantham R. , Gautier G., **Pavé A.** - A propos du livre "the Hypercycle. A principle of natural self-organisation" de M. Eigen et P. Schuster. Dans l'Année Biologique, XIX :4, 1980, 396-397.
- 5.2. **Pavé A.** - A propos du livre " Qualitative Modeling of Complex Systems - An Introduction to Loop Analysis and Time Averaging". Dans Acta Oecologica, 1989.
- 5.3. **Pavé A.** - "The Ecology of Computation" (Hubermann Ed.), North Holland. Dans Acta Oecologica, 1990.
- 5.4. **Pavé A.** -" Systems of nonlinear partial differential equations, applications to biology and engineering" Dans Acta Oecologica, 1991.
- 5.5. **Pavé A.** et Mounolou J.C. – « Analyse du risque, l'expert, le décideur et le citoyen » (B. Chevassus, Ed. Quae, 2007). C.R. Académie d'Agriculture de France (ISSN 0989-6988), 93 :4, 77-80, 2008.
- 5.6. **Pavé A.** L'Amazonie brésilienne et le développement durable, Martine Droulers, François-Michel Le Tourneau (Eds), Belin, 2010, 480 p, *Natures, Sciences, Sociétés*, 21, 2013, 137-139.
- 5.7. **Pavé A.** Modéliser et simuler. Epistémologie et pratiques de la modélisation et de la simulation. Franck Varenne, Mard Silberstein, Sébastien Dutreuil, Philippe Hunemann (Eds), Editions Matériologiques, Paris. *Natures, Sciences, Sociétés*, 23, 2015, 69-83.
- 5.8. **Pavé A.** La biodiversité en question. Enjeux philosophiques, éthiques et scientifiques. Editions Matériologiques, Paris. *Natures, Sciences, Sociétés*, 2015, Natures, Sciences, Sociétés.

3.6. Conférences

- 6.1. **Pavé A.** - Utilisation de la théorie des langages pour la modélisation en biologie et en écologie. Séminaire du *Laboratoire d'Automatique de Grenoble*, 1978.
- 6.2. **Pavé A.** - Construction et utilisation de modèles mathématiques dérivés de la loi d'action de masse, application à la dynamique de populations macromoléculaires. Séminaire conjoint de *l'UER de Mathématiques et d'Informatique et de l'Institut Paul Pascal* (CNRS), Bordeaux, 1979.
- 6.3. **Pavé A.** - Modélisation mathématique de systèmes biologiques. Séminaire de *l'UER de Mathématiques et d'Informatique*, Bordeaux, 1980.
- 6.4. **Pavé A.** - Les modèles mathématiques en biologie: intérêt et difficultés. Coll. "*Rythmes oscillations et modèles*", PAU, 1981.
- 6.5. **Pavé A.** - Systèmes Experts et modélisation. Coll. *APRI-MEDIMAT*, MRT, Paris, 1986.
- 6.6. **Pavé A.** - Modèles Mathématiques de la Dynamique des Populations : étude de leurs relations pour l'organisation d'une base de connaissances. Université de Pau, Séminaires de *l'IBEAS*, 1986.
- 6.7. **Pavé A.** - Outils Informatiques d'Aide à la Modélisation I. Université de Pau, Séminaires de *l'IBEAS*, 1987.
- 6.8. **Pavé A.** - Intelligence Artificielle et Calcul Scientifique. INA-PG, Paris, 1987.
- 6.9. **Pavé A.** - Mathematical Modelling of Biological Systems, state of the art. *Vector Control Research Center*, Pondichéry, Inde, 1987.
- 6.10. **Pavé A.** - Introduction to Mathematical Models of Population Dynamics. *School of Ecology*, University of Pondicherry (Inde), 1987.
- 6.11. **Pavé A.** - Knowledge Based Systems - Applications to Natural Resources Management. *School of Ecology*, University of Pondicherry (Inde), 1987.
- 6.12. **Pavé A.** - Outils Informatiques d'Aide à la Modélisation II. Université de Pau, Séminaires de *l'IBEAS*, 1988.
- 6.13. **Pavé A.** - The Edora Methodology for Mathematical Modelling of Biological and Ecological Systems. Proceed. "*World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*", San Antonio Texas, août 1988 (invité).
- 6.14. **Pavé A.** - AI Approach to Mathematical Modelling in Biology and Ecology. *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*, San Antonio Texas, Aout 1988 (invité).
- 6.15. **Pavé A.** - A.I. in Biotechnology and Natural Resources Management. Série de conférences dispensées dans le cadre de la Chaire Francqui à l'Université de Gand. Mai 1988. (Liste des conférences : (1) Knowledge Based Systems and Reasoning Mechanisms, (2) Expert Systems - Intelligent Exploitation of Data Bases, (3) A.I. in Biotechnology, A.I. in Natural Resources Management.
- 6.16. **Pavé A.** - Functional Schemes, an Aid in Biological Modelling. Conférence de la Chaire Francqui et du FNRS. Gand, Mai 1988.
- 6.17. **Pavé A.** - Modèles mathématiques en écologie microbienne des sols. Coll. "*Ecologie microbienne*", Lyon, 1988.
- 6.18. **Pavé A.** - Écologie et modélisation. *Réunion des directeurs d'unités, CNRS, Département des Sciences de la Vie*, Paris, mai 1990.
- 6.19. **Pavé A.** - Object-Centered Representation and identification of species. *NSF meeting*, Napa Valley, Californie, Sept. 1990.
- 6.20. **Pavé A.** - La recherche sur l'environnement. *Séminaires de l'Ecole polytechnique*, Palaiseau, mars 1992
- 6.21. **Pavé A.** - Chaos et hasard dans les systèmes écologiques. *Rio-Ciencia*, Rio de Janeiro, Mai 1992.
- 6.22. **Pavé A.** - About Nature Science and Society : the example of the Environment - a new deal for Scientists and Engineers. *Conf. Grandes Ecoles et Universités techno. américaines.*, U.C. Berkeley, nov. 1993.
- 6.23. **Pavé A.** - Towards a Coevolution between Research on Environment and Research on Development. *International meeting : Ecology, Sociology, Economy*. Versailles Saint-Quentin en Yvelines. Mai, 1996.
- 6.24. **Pavé A.** - Modélisation pour l'environnement et le développement. Séminaire du CIRAD, Montpellier, 24/01/97.

- 6.25. **Pavé A.** - La biodiversité : origine et enjeux (conférence inaugurale au symposium CNRS/CNRST à Hanoi septembre 1997)
- 6.26. **Pavé A.** - Les biologistes ont-ils besoin de modèles ? (séminaire du Programme Modélisation et Simulation Numérique du CNRS, ENS-Lyon, février 1998). Cette conférence a été de nombreuses fois répétées en France et à l'étranger.
- 6.27. **Pavé A.** - La Science face à l'Environnement. École Normale Supérieure de Lyon, février 2000.
- 6.28. **Pavé A.** - Problèmes d'environnement : la contribution des Sciences et Technologies du vivant. UPS, Toulouse, mars 2000.
- 6.29. **Pavé A.** Modelling in environmental research, engineering and management. CNRS-NSF Workshop, Versailles, Janvier 2001.
- 6.30. **Pavé A.** Science et environnement. Journées du Programme Environnement, Vie et Sociétés, Lille, 14 novembre 2001.
- 6.31. **Pavé A.**- Environnement : apport des biotechnologies. 5^{ème} conférence nationale sur les biotechnologies, Nîmes, 14-15 novembre 2001.
- 6.32. **Pavé A.** Éthique et biodiversité. « Sciences et sociétés », Rio de Janeiro, avril 2002
- 6.33. **Pavé A.** La modélisation en biologie et en sciences sociales : croisements créatifs. Séminaire national : « Environnement et développement : Quelles questions en sciences humaines et sociales ? » Ministère de la recherche, avril 2002.
- 6.34. **Pavé A** et Schmidt-Lainé C. Integrative biology : modelling and simulation of the complexity of natural systems. Int. Conf on Integrative Biology (IUBS, UNESCO, CNRS), Paris, mai 2002.
- 6.35. **Pavé A.** Hasard et chaos. Présentation et conclusion de la séance « Non linéarités et comportements chaotiques des systèmes naturels ou artificiels : implications en écologie, agronomie et hydrologie/météorologie. » *Séance de l'Académie d'Agriculture de France, mai 2002.*
- 6.36. **Pavé A.** Modélisation et environnement. Discours de réception à l'Académie des Technologies. Mars, 2003.
- 6.37. **Pavé A.** Towards an interdisciplinary research institute in French Guiana. IUBS Conf. Le Caire, 19-22 janvier 2004.
- 6.38. **Pavé A.** l'Amazonie : un défi pour la science. CNRS, Montpellier, 2 mai 2005.
- 6.39. **Pavé A.** Hasard, Nécessité et Biodiversité – Vers une théorie générale de la biodiversité. Intern. Summ. School in Microbio., Dakar, 6 mai 2005.
- 6.40. **Pavé A.** Créationnisme vs Évolutionnisme. Conférences Silvolab, Kourou, 11 octobre 2006.
- 6.41. **Pavé A.** Science, société et biodiversité, Conférences Silvolab, Kourou, 15 novembre 2006.
- 6.42. **Pavé A.** Créationnisme vs Évolutionnisme : vraie controverse ou faux débat. Conférences Université Ouverte de Lyon, 16 octobre 2007 et Conférences Silvolab, Cayenne, 14 décembre 2007.
- 6.43. **Pavé A.** L'Évolution, entre hasard et nécessité, entre science et sociétés. Muséum d'histoire naturelle de Toulouse, 11 février 2009.
- 6.44. **Pavé A.** Origin and Role of Chance in Living Systems, *Towards a New Point of View. Invité. Plenary conference. 150 years of Darwin's Evolutionary Theory: a South American Celebration, Punta del Este : Uruguay | 2-6 September 2009.*
- 6.45. **Pavé A.** Dynamiques et usages de la biodiversité : exemple de l'Amazonie. Conf. plénière Académie des Technologies 09/09/2009.
- 6.46. **Pavé A.** L'Amazonie, un empire de la biodiversité. Forum Lyon-Libé, 24 septembre 2010.
- 6.47. **Pavé A.** La biodiversité : problèmes locaux, enjeux globaux. Les Amis de l'Université de Lyon, 11 octobre 2010.
- 6.48. **Pavé A.** Les mathématiques à la rescousse de la biodiversité. La Fête de la Sciences, UPMC Paris 6, 23 octobre 2010.
- 6.49. **Pavé A.** L'Amazonie, pourquoi tant de biodiversité ? Exposé dans le cadre de l'exposition du CNRS sur la Biodiversité, Le Trocadero, Paris, 24 octobre 2010.
- 6.50. **Pavé A.** L'homme et la biodiversité. "Chercheurs toujours", Institut Pasteur, Paris, 24 mai 2011.
- 6.51. **Pavé A.** Les relations Homme-Nature - Perception, représentation et gestion de notre environnement. CESER Rhône-Alpes, 21 juin 2011

- 6.52. **Pavé A.** Technologies bioinspirées : quand le vivant sert de modèle à l'ingénieur. INSA Lyon (50ème anniv 1er diplôme). 11 octobre 2011
- 6.53. **Pavé A.** Le hasard et la vie : vers une révolution copernicienne en écologie ? Le monde est-il profondément incertain ? Confluence des savoirs, ENS Lyon. 8 novembre 2011
- 6.54. **Pavé A.** La biodiversité en débat : une question scientifique et sociale. Séminaire interne de la Fondation Ecologie d'Avenir de l'Institut de France, Paris. 15 Novembre 2011.
- 6.55. **Pavé A.** Debates about biodiversity: scientific and social issues, University of West Australia (Perth), University of Adélaïde (South Australia), University of Melbourne (Victoria), University of Sydney (New South Wales) et Alliances françaises (mai, 2012)
- 6.56. **Pavé A.** Le monde est-il profondément incertain? Le hasard et la vie. Sydney – Lycée français 28 mai 2012
- 6.57. **Pavé A.** Does Amazonian forest mainly result from random processes? Séminaire annuel de la Société de Biologie Théorique (Saint-Four, 12 juin 2012)
- 6.58. **Pavé A.** Can Science and Technology help us to ensure sustainability, the long term development of human society? Conference on International Science Outreach Programs For Global Sustainability Issues (Chicago, 24 octobre 2012).
- 6.59. **Pavé A.** Is Biodiversity a strong or a weak concept. Studium, Orléans, 13 janvier 2013.
- 6.60. **Pavé A.** Technologies bioinspirées, quand le vivant sert de modèle à l'ingénieur. Académie des Technologies et Universcience, Paris, 13 février 2013.
- 6.61. **Pavé A.** L'Amazonie, comment ça marche ? Institut Français de l'Éducation, Lyon, 4 avril 2013.
- 6.62. **Pavé A.** La biodiversité en Outre-Mer : l'observer, comment, pour quoi faire ? Académie des Sciences d'Outre-Mer, Paris, 15 novembre 2013.
- 6.63. **Pavé A.** L'incontournable hasard. Direction Générale de l'Aviation Civile, Paris, 19 novembre 2013.
- 6.64. **Pavé A.**, Biodiversité, histoire du concept. Colloque « La biodiversité, du concept à la réalité », Fondation Écologie d'Avenir, Paris, 19 mars 2015.
- 6.65. **Pavé A.** A-t-on besoin du hasard pour évoluer ? Université du Québec à Montréal, conférence Pierre-Dansereau, le 3 décembre 2015.
<http://tv.uqam.ca/entrevue-t-on-besoin-hasard-pour-evoluer?cat=44>
<http://tv.uqam.ca/conference-t-on-besoin-hasard-pour-evoluer>
- 6.66. **Pavé A.** Technologies et changement Climatique, Académie des technologies, 2015.
- 6.67. **Pavé A.** Hasard en biologie. Conférence introductive au colloque annuel de la Région Française de la Société Internationale de Biométrie, le 23 juin 2016.
- 6.68. **Pavé A.** Pourquoi et comment lutter contre la déforestation ? « Semaine de la Science ». Saint-Michel sur Orge, 27 janvier 2017.
- 6.69. **Pavé A.** Biomimetics and related topics. 4th meeting of the "Multilatérale des 4 moteurs pour L'Europe", IESF, Lyon, June 29, 2017.

3.7. Informations et communications scientifiques : articles, émissions, films

- 7.15 La biodiversité à la Conférence de RIO, TF1, journal de 20h, mai 1992.
- 7.16 Les recherches sur la forêt tropicale. France-Inter, novembre 1992.
- 7.17 La modélisation des systèmes complexes (interview vidéo : formation au Cemagref).
- 7.18 La biodiversité : enjeux scientifiques, économiques et sociaux. France Culture « les enjeux internationaux », décembre 1993.
- 7.19 French research on intertropical ecosystems : the history of the amazonian forest (BBC, avril 1995).
- 7.20 Environnement et développement durable. CNRS-CNED, émission en direct et vidéo, 9 décembre 1996 (avec J. Weber).
- 7.21 Science et développement. Émission à Télé-Globo, Brésil (réseau Amazonien), diffusion le 3 septembre 1997.
- 7.22 La science peut-elle faire de l'environnement ? *Le Figaro*, 6 juillet 1998.
- 7.23 Les trous noirs de la biodiversité. *Le Figaro*, 4 septembre 1998.

- 7.24 La modélisation comme trait d'union (en collaboration avec Claudine Schmidt-Lainé). *Le Figaro*, 11 janvier 1999.
- 7.25 Conseiller scientifique du film : l'échelle est humaine (réalisation : Jean-François Dars et Anne Papillault) CNRS Images/media, 2000.
- 7.26 Conseiller scientifique du film : La biodiversité - L'or vert de la Guyane (réalisation : André Annosse) Les films du Triangle, 2000.
- 7.27 Conseiller scientifique auprès du Muséum d'histoire naturelle de Lyon (à ce titre j'ai apporté mes compétences pour deux expositions, l'une sur la biodiversité et l'autre sur le changement climatique et ses impacts).
- 7.28 French environmental labs may get " big science " funds. (interview, *Nature*, 2000, 403, p. 822)
- 7.29 Feuilleton de la semaine, FR2 : le CNRS en Guyane. Juin, 2005
- 7.30 « La tête au carré » en Guyane, 5-9 décembre 2006, France Inter (CNES & CNRS, Mathieu Vidard)
- 7.31 « Continent science », France-Culture, 7 janvier 2008, 14-15h (Stéphane Deligeorges)
- 7.32 Les forêts tropicales. France 5 monde, 9 novembre 2009.
- 7.33 Pourquoi l'Amazonie. Emission « Autour de la question », RFI, 12 janvier 2010, 11h10-12h (Caroline Lachowsky).
- 7.34 La forêt des extrêmes. Continent Science, France Culture, 6 juin 2011
- 7.35 La biodiversité en Outre-Mer. France Inter, le 1^{er} août 2011.
- 7.36 La vie à l'épreuve du hasard. La tête au carré, France Inter, le 26 février 2012
- 7.37 L'Amazonie, l'arbre qui cache la forêt ? À propos du film de Luc Jacquet « Il était une forêt » France Info, le 13 novembre 2013
- 7.38 Parcours de chercheur, chemin balisé façon petit Poucet, France Culture, Continent sciences, 2 mai 2016. (Stéphane Deligeorges)
- 7.39 La lutte contre la déforestation, Chaîne Cinaps, TNT (enregistrée le 23 mai 2016, diffusée le 23 juin 2016)
- 7.40 La forêt amazonienne à bout de souffle. France Culture, 12 septembre 2017.
<https://www.franceculture.fr/emissions/la-methode-scientifique/foret-amazonienne-bout-de-souffle>
- 7.41 Faut-il renoncer à la biodiversité ? France Culture (La grande table), le 3 mai 2019

Films

- 7.42 Mission Nouragues : des lycéens guyanais en mission scientifique (co-production CNES, CNRS et rectorat de la Guyane, 2011)
- 7.43 Goolarabooloo, entre nature et traditions (Y.N. Production et Lyon Capitale TV, réalisation, Bruno et Sylvain Cédât, 2012, VOST anglais)

3.8. Encadrements de thèses

- 8.1. Corman A. - Modélisation mathématique du processus de nitrification dans le sol. Thèse de Doct. Ing., Lyon, 1982 (co-direction avec R. Bardin).
- 8.2. Anfreville R. - Contribution à la modélisation du système cholestérol chez le rat. Thèse de 3^{ème} Cycle, Lyon, 1983 (co-direction avec Mme A. Chéruy).
- 8.3. Houllier F. - Echantillonnage et modélisation de la dynamique des peuplements forestiers. Application au cas de l'Inventaire Forestier National. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1986.
- 8.4. Steinberg C. - Dynamique d'une population bactérienne introduite dans le sol: régulation par les protozoaires et modélisation mathématique de la relation de prédation *Bradyrhizobium japonicum*-amibes indigènes. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1987, (co-direction avec Mme G. Faurie).
- 8.5. Rousseau B. - Vers un environnement de résolution de problèmes en biométrie. Apport des techniques de l'intelligence artificielle et de l'interaction graphique. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1988. (co-direction avec F. Rechenmann).
- 8.6. Loffeier M.E. - Sylviculture et sylvigénèse en forêt sempervirente du COORG (Sud-ouest de l'Inde).Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris 6, 1988 (co-direction avec H. Puig).
- 8.7. Pierret-Golbreich C. - Vers un système à base de connaissance centrées-objets pour la modélisation de systèmes dynamiques en biologie.Thèse de l'Université Technologique de Compiègne, 1988 (co-direction avec J.P. Yvon de l'UTC).

- 8.8. Comby S. - Analyse de la croissance bactérienne de la croissance bactérienne en présence de concentrations subinhibitrices d'antibiotiques. Pour une acquisition et une application de la connaissance en bactériologie médicale. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1989. (co-encadrement avec J.P. Flandrois)
- 8.9. Le Fur J. Modélisation numérique des transferts de radioéléments artificiels en mer de Manche (processus hydrodynamiques, biologiques et sédimentaires). Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1989. (dir. & co-encadrement avec D. Calmet, CEA).
- 8.10. Ginot V. Modélisation de l'évolution nyctémérale de l'oxygène dissous en étang. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1990.
- 8.11. Dhôte J.F. - Modèle de la dynamique des peuplements forestiers : articulation entre les niveaux de l'arbre et du peuplement - Application à la sylviculture de hêtraies. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1990, (dir & co-encadrement avec F. Houllier).
- 8.12. Perrenoux C. Peuplements d'oiseaux aquatiques en milieux anthropisés. Un exemple : les plaines de Coromandel en Inde du Sud-Est. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1990.
- 8.13. Rochet M.J. Modélisation mathématique de la Filariose de Bancroft. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1991.
- 8.14. Lobry J. Le Modèle de Monod en dynamique des populations bactériennes. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1991, (co-encadrement avec J.P. Flandrois)
- 8.15. Danjon F. Etude de la variabilité génétique du pin maritime : modélisation. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1992. (Encadrement partiel avec B. Lemoine, INRA)
- 8.16. Chévenet F. Environnement coopératif de résolution de problèmes, application à l'analyse statistique en écologie. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1994.
- 8.17. Bousquet F. Des milieux, des poissons, des hommes : étude par simulation multi-agents. Le cas de la pêche dans le Delta Central du Niger. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1994.
- 8.18. Guerillot F. - Bases biométriques de la sensibilité aux antibiotiques ou une heuristique de comparaison des dynamiques de populations bactériennes. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1994.
- 8.19. Favrichon V. Modèle matriciel déterministe en temps discret. Application à l'étude de la dynamique d'un peuplement forestier tropical humide (Guyane française). Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1995. (co-encadrement avec J.P. Pascal et F. Houllier).
- 8.20. Girard N. Modéliser une représentation d'experts dans le champ de la gestion de l'exploitation agricole. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1995. (co-encadrement avec B. Hubert, de l'INRA, et F. Rechenmann, de l'INRIA).
- 8.21. Rosso L. Modèles pour la microbiologie prédictive et applications à l'agroalimentaire. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1995 (co-encadrement avec J.P. Flandrois).
- 8.22. Delignette M. L. Méthodes de prédiction des aptitudes de croissance des populations de microorganismes. Université Claude Bernard - Lyon 1, 1995 (co-encadrement avec J.P. Flandrois)
- 8.23. Deleuze C. Pour une dendrométrie fonctionnelle : essai sur l'intégration de connaissances écophysiologiques dans les modèles de production ligneuse. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1996 (co-encadrement avec F. Houllier).
- 8.24. Carré C. Transferts de radionucléides dans les organismes vivants : analyse des données et modélisation. Application au domaine de la Manche. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1996.
- 8.25. Gauthiez F. Structuration spatiale des populations de poissons marins demersaux Caractérisation, conséquences biométriques et halieutiques. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1,, 1997 (IFREMER et Cemagref).
- 8.26. Dupuy J. L. Mieux comprendre et prédire la propagation des feux de forêts : expérimentation, tests et proposition de modèles. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1,, 1997. (INRA)
- 8.27. Courbaud B. Modélisation de l'éclaircissement et de la croissance de l'épicéa (*picea abies*, L Karst) en forêt irrégulière de montagne. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1997. (Cemagref, co-encadrement avec F. Houllier).
- 8.28. Gourlet-Fleury S. Modélisation individuelle spatialement explicite de la dynamique d'un peuplement de forêt dense tropicale humide (dispositif de Paracou, Guyane française) Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1997. (CIRAD, co-encadrement avec J.P. Pascal et F. Houllier)
- 8.29. Mercier F. Analyse et modélisation de la dynamique forestière guyanaise à l'aide de diagrammes de Voronoï. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1997.

- 8.30. Paz Betancourt B. Un modèle multi-agent pour simuler les accords de réciprocité dans les Andes boliviennes. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1997. (ORSTOM, co-encadrement avec J.P. Treuil).
- 8.31. Morellet N. Des outils biométriques appliqués au suivi des populations animales, exemple des cervidés. Vers un indice de consommation de la flore lignifiée. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, 1998.
- 8.32. Rouchier J. La confiance à travers l'échange. Accès aux pâturages au Nord-Cameroun et échanges non-marchands : des simulations dans des systèmes multi-agents. Thèse de l'Université d'Orléans, 2000. (co-encadrement avec J. Weber).
- 8.33. Guedron S. Impact de l'exploitation minière en Guyane sur les flux de mercure vers les écosystèmes. Thèse UJF, Grenoble, 2007 (codirigée avec Laurent Charlet).

4. Projet scientifique

Bien qu'étant formellement à la retraite depuis mai 2011, j'ai continué à avoir une activité scientifique sous divers aspects :

- 1- Activité au sein du LBBE
- 2- Programmes et actions de recherche interdisciplinaires : conception et mise en œuvre
- 3- Participation aux travaux de l'Académie des Technologies
- 4- Approfondissement des recherches sur le rôle l'origine du hasard dans les systèmes vivants
- 5- Écriture d'ouvrages.

4.1. Activité au sein du LBBE (UMR 5558)

À mon retour de Guyane en mai 2008, j'ai donc réintégré mon laboratoire d'origine. En accord avec la directrice, Dominique Mouchiroud, et en phase avec mon travail sur le projet scientifique de Rovaltain que j'ai mené de 2008 à 2010, je participe aux travaux de l'équipe dirigée par Sandrine Charles se consacrant aux aspects méthodologiques de l'écotoxicologie.

4.2. Écologie globale - Dynamique de la biodiversité – Modélisation – Interactions homme environnement (CNRS/Inee, FRB, ANR)

De façon récurrente, ces dernières années, j'ai insisté sur la nécessité d'une initiative ambitieuse dans ce domaine. La question de la biodiversité est l'une des trois grandes questions de la recherche sur l'environnement et le développement, avec celles du climat et du bien-être des sociétés humaines. En revanche, nous sommes loin d'avoir élaboré un discours aussi rigoureux que nos collègues du climat et, même avec leurs imperfections, des économistes du développement durable. De plus nous notons une forte tendance à mélanger des points de vue scientifiques et idéologiques.

La Fondation pour la recherche pour la biodiversité a créé un programme phare « modéliser et scénariser la biodiversité », elle m'a demandé de participer au comité de pilotage de ce programme et donc d'avoir un double rôle d'orientation, d'évaluation et même de décision scientifique. On peut espérer, avec la création de l'IPBES (*Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*), entérinée le 21 décembre par l'assemblée générale de l'ONU et fortement soutenue par la France, que des initiatives à la hauteur des enjeux soient prises, notamment en termes de modélisation de la dynamique de la biodiversité. La communauté scientifique française peut y jouer un rôle important au même titre de ce qui a été fait pour le climat et repris dans le cadre du GIEC. L'un des enjeux est de promouvoir une modélisation globale de cette dynamique.

Enfin, l'ANR m'a demandé de présider le comité d'évaluation scientifique « Interactions Homme Environnement » pour superviser l'évaluation des réponses à l'appel d'offres lancé sur ce thème.

4.3. Participation aux travaux de l'Académie des Technologies

Membre de ces deux académies, je participe à leurs travaux, notamment à ceux de l'Académie des Technologies (délégué territorial à la vie académique, présidence de la commission environnement, membre de la commission « technologies et pays les moins avancés » et animation du groupe de travail « biodiversité et aménagement des territoires »). Ces activités permettent de mettre en perspective le travail scientifique et sa pertinence, notamment face à des problèmes de sociétés. On retiendra au passage que ces académies sont par constitution pluridisciplinaires et qu'une grande part de leur activité est interdisciplinaire dans la façon d'aborder les problèmes.

Je consacrerai encore une part importante de mon temps à l'activité académique et à son action en région, l'une des grandes originalités de cette académie, notamment en Rhône-Alpes, puisque j'en suis à présent le délégué territorial. Le LBBE m'a assuré de son soutien pour faciliter mon action.

4.4. Approfondissement des recherches sur le rôle et l'origine du hasard dans les systèmes vivants

Progressivement, cette réflexion sur le hasard et les systèmes vivants, ses conséquences en termes évolutifs et de biodiversité, est approfondie au fur et à mesure que les articles paraissent dans la

littérature. Par ailleurs, bénéficiant d'un excellent contexte lyonnais révélé notamment par le LabEx « Ecofect », cette réflexion pourra en partie être menée dans ce cadre, encore que des réticences subsistent encore pour donner sa véritable dimension à ce hasard, à le décortiquer et à en rechercher les origines. Peu importe, il faut un peu de temps pour convaincre... espérons seulement que la conviction sera plus rapide qu'ailleurs.

4.5. Écriture d'ouvrages

J'ai toujours consacré du temps à l'écriture d'ouvrages aussi bien à visée pédagogique que de recherche et, de ce point de vue, un peu à contre-courant du mouvement global qui vise à publier beaucoup d'articles. Outre un tropisme personnel, j'estime que la publication d'ouvrages scientifiques n'est pas assez importante dans notre pays, car mésestimée par nos procédures d'évaluation. Par ailleurs, c'est un moyen incontournable pour l'enseignement, très complémentaire des autres médias, mêmes modernes. C'est aussi nécessaire pour présenter des synthèses, dont nous avons fort besoin et pour présenter des idées ou des concepts, voire des aspects théoriques, qui demandent une argumentation et des développements convaincants, ne pouvant pas se résumer en quelques pages dans un journal scientifique. La plupart des grandes théories, du moins dans les sciences de la vie, en premier la théorie de l'évolution, ont été l'objet d'ouvrages. Toutes proportions gardées, il est fort probable que Charles Darwin, n'aurait pas pu entraîner l'adhésion de certains de ses contemporains avec un article de quelques pages. Et peut-être même que le « referees » de l'époque auraient rejeté cet article. Enfin, s'il faut du temps pour écrire, du temps pour être évalué et cité, et on l'espère apprécié, en revanche, les citations s'étalent sur un beaucoup plus long terme. Un livre peut devenir une référence sur le long terme. Toutes proportions gardées encore, on parle plus et toujours du « hasard et de la nécessité » ou de « la logique du vivant » que des articles de Jacques Monod et de François Jacob.

La refonte et la traduction de mon ouvrage « modélisation en biologie et en écologie » sous le nouvel intitulé « Modélisation des systèmes vivants » et « *Modeling Living Systems* » pour la version en langue anglaise a été achevée comme prévu en 2012. Je participe à l'ouvrage collectif « Evolutions, des galaxies aux sociétés humaine », qui devrait être publié en 2014 et j'assume la direction éditoriale, en plus d'une lourde contribution personnelle à l'ouvrage « Biodiversité et aménagement des territoires » au titre de l'Académie des technologies, qui devrait être édité en 2014. Enfin, un ouvrage consacré à la pratique, aux réflexions et opérations scientifiques que j'ai pu mener est en cours d'édition (titre provisoire : Les cailloux du Petit Poucet, titre encore en discussion avec l'éditeur).

4.5. Conclusion

Une part importante de l'activité prévue se déroule toujours dans des institutions autres que l'Université Claude Bernard, ce qui a d'ailleurs caractérisé une part importante de ma carrière. Dans chacune d'entre elles j'insisterai sur mon appartenance et mon attachement à notre université qui au bout du compte m'a permis d'avoir une trajectoire originale sur bien des plans : scientifique avec un travail souvent situé aux interfaces entre disciplines, pédagogique, avec une activité elle aussi aux interfaces entre biologie, écologie, mathématiques et informatique, institutionnel, avec une mobilité au CNRS (deux fois 6 ans) et l'implication à des titres divers dans plusieurs organismes (INRA, Cirad, Orstom-IRD, INERIS), et géographiques avec des nombreuses missions à l'étranger et surtout une résidence de 6 ans en Guyane. Cela doit être souligné pour mettre en avant la souplesse et l'intelligence de l'université à une époque où, à la croisée des chemins, beaucoup s'interrogent sur le futur.

Annexe : Évaluation de la section 41 du CNRS (automne 2005)

Pour information, l'avis du comité national à l'occasion du renouvellement de mon dernier détachement au CNRS, avant de réintégrer l'UCBL en 2008.

RAPPORT DE COMMISSION

Section du Comité national : 41

Session automne 2005

Intitulé de la section : Gestion de la recherche

Évaluation

PAVE Alain

UPS 2561 Cayenne

Monsieur Alain PAVE, 62 ans, professeur des universités, en détachement au CNRS depuis 1994 avec une interruption entre 2001 et 2002, souhaite obtenir un renouvellement de celui-ci pour une période de deux ans au sein du département SDV.

Un dossier très complet présentant les activités de recherche et de gestion de la recherche d'Alain PAVE depuis le début de sa carrière sert de base à cette demande. Celui-ci met parfaitement en évidence que le profil scientifique et la trajectoire professionnelle d'Alain PAVE sont ceux d'un des meilleurs chercheurs de notre pays, pouvant traiter des questions relevant d'une approche systémique de la gestion des milieux et de la biodiversité dans une perspective de développement durable principalement dans la zone intertropicale. Le statut de ce domaine de recherche aujourd'hui bien reconnu au niveau national et international doit beaucoup à l'action d'Alain PAVE qui a permis l'émergence et la prise en compte par la communauté scientifique de plusieurs thèmes de recherche qui étaient à l'époque totalement novateurs. Mais ses qualités de scientifique vont au-delà de ses capacités de chercheur puisqu'il a joué un rôle important dans la construction d'une communauté scientifique active sur toutes ces questions, mais aussi dans l'animation de plusieurs dispositifs de recherche au niveau national.

Sa dernière mission, en Guyane depuis avril 2002, s'inscrit parfaitement dans cette lignée. Il s'agit de créer dans cette région à l'initiative du CNRS, un institut de recherche interdisciplinaire dévolu à l'analyse, à la modélisation et à l'ingénierie des systèmes complexes sur des modèles amazoniens. Cet institut qui devrait regrouper certains acteurs de la recherche publique déjà présents en Guyane, constitue une contribution importante de cette dernière à la construction du Pôle universitaire de Guyane, en relation étroite avec les autorités locales et l'université Antilles-Guyane (UAG). Ce projet doit aboutir au début de l'année 2007 ce qui motive principalement la demande de renouvellement de détachement.

La conduite de ce projet ambitieux fait appel à des qualités d'animateur d'organisateur et de gestionnaire que maîtrise parfaitement Alain PAVE et dont il a pu faire la démonstration dans les nombreuses instances dont il a eu la responsabilité scientifique et institutionnelle.

Avis très favorable pour ce renouvellement qui est l'une des conditions de la réussite du Pôle universitaire de Guyane.

La Présidente de la commission 41
Mme DAMAIS Chantal