

- [78] R. LETOUZEY, 1968. *Etude phytogéographique du Cameroun*. Edit. P. Lechevalier, Paris.
- [79] D. LOUPPE, N. OUATTARA et A. COULIBALY, 1995. Effet des feux de brousse sur la végétation. *Bois et Forêts des Tropiques*, 245 : 59–74.
- [80] U. LÜTTGE, 1997. *Physiological Ecology of Tropical Plants*. Springer Verlag, New York.
- [81] A.E. MAGURRAN, 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, Princeton.
- [82] A.G. MCARTHUR, 1967. *Fire behaviour in eucalypt forest. Rapport technique Leaflet 107, Forest Research Institute, Forestry & Timber Bureau, Canberra. 25 p.
- [83] J.C. MENAUT, J. J. GIGNOUX, J. CLOBERT et C. PRADO, 1990. Tree community dynamics in a humid savanna of the Côte d'Ivoire : modeling the effects of fire and competition with grass and neighbours. *Journal of Biogeography*, 17 : 471–481.
- [84] Y. MONNIER, 1968. *Les effets des feux de brousse sur une savane préforestière de Cote d' Ivoire*. Etudes Eburneenes, Abidjan.
- [85] A.G. MOREIRA, 2000. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. *Journal of Biogeography*, 27 : 1021–1029.
- [86] R. NASI, 1997. Les peuplements d'okoumés au Gabon. *Bois et Forêts des Tropiques*, 251 : 5–27.
- [87] R. NATHAN, 2001. The challenges of studying dispersal. *Trends in Ecology and Evolution*, 16 : 481–483.
- [88] R. NATHAN et H.C. MULLER-LANDAU, 2000. Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. *Trends in Ecology and Evolution*, 15 : 278–283.
- [89] R.A.A. OLDEMAN, 1990. *Forests : elements of sylvology. Springer Verlag, New York.
- [90] S.M. PANFIL, 2001. *Late Holocene forest and savanna diversity and dynamics across an Amazonian ecotone*. Thèse de doctorat, University of Athens, Georgia.
- [91] J. PLOTKIN, J. CHAVE et P.S. ASHTON, 2002. Cluster analysis of spatial patterns in Malaysian tree species. *American Naturalist*, 160 : 629–644.
- [92] J.P. PUYRAVAUD, C. DUFOUR et A. ARAVAJY, 2003. Rain forest expansion mediated by successional processes in vegetation thickets in the Western Ghats of India. *Journal of Biogeography*, 30 : 1067–1080.
- [93] F. RAWITSCHER, 1948. The water economy of the vegetation of the campos cerrados in southern brazil. *Journal of Ecology*, 36 : 237–268.
- [94] A.M. REYNOLDS et J.E. COHEN, 2002. Stochastic simulation of heavy-particle trajectories in turbulent flows. *Physics of fluids*, 14 : 342–351.
- [95] G. RIOU, 1990. *L'eau et les sols dans les géosystèmes tropicaux*. Masson, Paris.

-
- [96] R.C. ROTHERMEL. *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. General Technical Report INT-115, USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- [97] J. RUNGE et M. NEUMER, 2000. Dynamique du paysage entre 1955 et 1990 à la limite forêt-savane dans le nord du Zaïre, par l'étude de photographies aériennes et de données LANDSAT-TM. Dans SERVANT et SERVANT-VILDARY [104], pages 311–317.
- [98] B. SAPOVAL, M. ROSSO et J.F. GOUYET, 1985. The fractal nature of a diffusion front and the relation to percolation. *Journal de Physique Lettres*, 46 : L149–L156.
- [99] A. SCHMITZ, A.O. FALL et S. ROUCHICHE, 1996. Contrôle et utilisation du feu en zones arides et subhumides africaines. Rapport technique, FAO. <http://www.fao.org/docrep/T0748F/t0748f00.htm>.
- [100] R. SCHNELL, 1977. *Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux. La flore et la végétation de l'Afrique tropicale*. Gauthier-Villars, Paris. 2 volumes.
- [101] D. SCHWARTZ, H. de FORESTA, A. MARIOTTI, J. BALESDENT, J.P. MASSIMBA et C. GIRARDIN, 1996. Present dynamics of the savanna-forest boundary in the Congolese Mayombe : a pedological, botanical and isotopic (^{13}C and ^{14}C) study. *Oecologia*, 106 : 516–524.
- [102] M. SERVANT, 2000. Diversité actuelle de la forêt tropicale et changements passés du climat : le programme écosystèmes et paléoécosystèmes des forêts intertropicales (ecofit). bilan et perspectives. Dans SERVANT et SERVANT-VILDARY [104], pages 13–18.
- [103] M SERVANT, J MALEY, B TURCQ, M-L ABSY, P BRENAC, M FOURNIER et M-P LEDRU, 1993. Tropical forest changes during the late quaternary in african and south american lowlands. *Global and Planetary Change*, 7 : 25–40.
- [104] M. SERVANT et S. SERVANT-VILDARY, éditeurs, 2000. *Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux*, Paris. UNESCO.
- [105] L. SIMON, 1998. *Les paysages végétaux*. Armand Colin, Paris.
- [106] M.D. SWAINE, W.D. HAWTHORNE et T.K. ORGLE, 1992. The effects of fire exclusion on savanna vegetation at Kpong, Ghana. *Biotropica*, 24 : 166–172.
- [107] D.J. THOMSON, 1987. Criteria for the selection of stochastic models of particle trajectories in turbulent flows. *Journal of Fluid Mechanics*, 180 : 529–556.
- [108] A. TOKOVININ, S. BAUMONT et J. VASQUEZ, 2003. Statistics of turbulence profile at Cerro Tololo. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 340 : 52–58.
- [109] L. TRABAUD, 1989. *Les feux de forêts. Mécanismes, comportement et environnement*. France Sélections, Aubervilliers.
- [110] C.G. TRAPNELL, 1959. Ecological results of woodland burning experiment in northern Rhodesia. *Journal of Ecology*, 47 : 129–168.

- [111] A. VINCENS, H. ELENGA, I. REYNAUD-FARRERA, D. SCHWARTZ, A. ALEXANDRE, J. BERTAUX, A. MARIOTTI, L. MARTIN, J.D. MEUNIER, F. NGUESTOP, M. SERVANT, S. SERVANT-VILDARY et D. WIRRMANN, 1999. Forests response to climate changes in Atlantic Equatorial Africa during the last 4000 years B.P. and inheritance on the modern landscapes. *Journal of Biogeography*, 26 : 879–885.
- [112] L.J.T. WHITE, 1995. Etude de la végétation - rapport final. Rapport technique, Ecofac-Gabon/ Agreco. 132 p.
- [113] L.J.T. WHITE et R. OSLISLY, 2000. L'okoumé (*Aucoumea klaineana*) : expansion et déclin d'un arbre pionnier en Afrique centrale. Dans SERVANT et SERVANT-VILDARY [104], pages 325–338.
- [114] J.D. WILSON, 2000. Trajectory models for heavy particles in atmospheric turbulence : comparison with observations. *Journal of Applied Meteorology*, 39 : 1894–1912.
- [115] World WILDLIFE FUND, 2001. Terrestrial ecoregions of the world. <http://www.nationalgeographic.com/wildworld/terrestrial.html>.
- [116] J. YOUTA HAPPI, 1998. *Arbres Contre Graminées : La Lente Invasion de la Savane Par la Forêt Au Centre-Cameroun*. Thèse de doctorat, Université Paris IV.

Dengue

- [117] X. AGUILERA, A. OLEA, J. MORA et K. ABARCA, 2002. Brote de dengue en Isla de Pascua. *El Vigia. Boletín de vigilancia en Salud Pública de Chile*, 16 : 37–38.
- [118] R. ALBERT, H. JEONG et A.L. BARABÁSI, 2000. Error and attack tolerance of complex networks. *Nature*, 406 : 378–392.
- [119] R.M. ANDERSON et R.M. MAY, 1991. *Infectious Diseases of Humans : Dynamics and Control*. Oxford University Press. 312 p.
- [120] A. BOHRA et H. ADRIANASOLO, 2001. Application of GIS in modelling of dengue risk based on socio-cultural data : case of Jalor, Rajasthan, India. Dans *Paper Presented at the 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5–9 November 2001, Singapore*.
- [121] B. BOLKER, 1997. Heterogeneity of mixing and spatio-temporal models : advances and open problems. RSS Epidemics Workshop, <http://www.ma.hw.ac.uk/epi/skye97/heterog.ps>.
- [122] M. BOOTS et A. SASAKI, 1999. 'Small Worlds' and the evolution of virulence : infection occurs locally and at a distance. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 266 : 1933–1938.
- [123] D.S. BURKE, A. NISALAK, D.E. JOHNSON et R.M. SCOTT, 1988. A prospective study of dengue infections in Bangkok. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 38(1) : 172–180.

-
- [124] U.C. CHATURVEDI, R. AGARWAL, E.A. ELBISHBISHI et A.S. MUSTAFA, 1990. Cytokine cascade in dengue hemorrhagic fever : implications for pathogenesis. *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, 28(3) : 183–188.
- [125] R.V. da CUNHA, M. DIAS, R.M. NOGUEIRA, N. CHAGAS, M.P. MIAGOSTOVICHN et H.G.U. SCHATZMAYR, 1995. Secondary dengue infection in schoolchildren in a dengue endemic area in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Rev Inst Med Trop Sao Paulo*, 37(6) : 517–521.
- [126] J. DAVIDSEN, H. EBEL et S. BORNHOLDT, 2002. Emergence of a small world from local interactions : modeling acquaintance networks. *Physical Review Letters*, 88 : 128701.
- [127] P. ERDÖS et A. RENYI, 1959. *On random graphs. *Publicationes Mathematicae*, 6 : 290–297.
- [128] L. ESTEVA et C. VARGAS, 1998. Analysis of a dengue-disease transmission model. *Mathematical Bioscience*, 150(2) : 131–151.
- [129] L. ESTEVA et C. VARGAS, 1999. A model for dengue disease with variable human population. *Journal of Mathematical Biology*, 38(3) : 220–240.
- [130] L. ESTEVA et C. VARGAS, 2000. Influence of vertical and mechanical transmission on the dynamics of dengue disease. *Mathematical Bioscience*, 167(1) : 51–64.
- [131] Z. FENG et J.X. VELASCO-HERNÁNDEZ, 1997. Competitive exclusion in a vector-host model for the dengue fever. *Journal of Mathematical Biology*, 35(5) : 523–544.
- [132] N.M. FERGUSON, C.A. DONNELLY et R.M. ANDERSON, 1999. Transmission dynamics and epidemiology of dengue : insights from age-stratified sero-prevalence surveys. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biology*, 354 : 757–768.
- [133] D.A. FOCKS, E. DANIELS, D.G. HAILE et J.E. KEESLING, 1995. A simulation model of the epidemiology of urban dengue fever : literature analysis, model development, preliminary validation, and samples of simulation results. *American Journal of Tropical Medecine and Hygiene*, 53(5) : 489–506.
- [134] D.A. FOCKS, D.G. HAILE, E. DANIELS et G.A. MOUNT, 1995. Dynamic life table model for *Aedes Aegypti* (L.) (Diptera : Culicidae). Analysis of the literature and model development. *Journal of Medical Entomology*, 30 : 1003–1017.
- [135] D.A. FOCKS, D.G. HAILE, E. DANIELS et G.A. MOUNT, 1995. Dynamic life table model for *Aedes Aegypti* (L.) (Diptera : Culicidae). Simulation results and validation. *Journal of Medical Entomology*, 30 : 1018–1028.
- [136] S.R. FRIEDMAN et S. ARAL, 2001. Social networks, risk-potential networks, health, and disease. *Journal of Urban Health*, 78 : 411–418.
- [137] R.V. GIBBONS et D.W. VAUGHN, 2002. Dengue : an escalating problem. *British Medical Journal*, 324 : 1563–1566.

- [138] D.J. GUBLER, 2002. Epidemic dengue/dengue hemorrhagic fever as a public health, social and economic problem in the 21st century. *TRENDS in Microbiology*, 10(2) : 100–103.
- [139] S. GUPTA, R.M. ANDERSON et R.M. MAY, 1989. Networks of sexual contacts : implications for the pattern of spread of HIV. *AIDS*, 3 : 1–11.
- [140] M.G. GUZMÁN, G.KOURÍ, L. VALDES, J. BRAVO, M. ALVAREZ, S. VELASQUEZ, I. DELGADO et S.B. HALSTEAD, 2000. Epidemiologic studies in dengue in Santiago de Cuba, 1997. *American Journal of Epidemiology*, 152(9) : 793–799.
- [141] M.G. GUZMÁN et G. KOURÍ, 2002. Dengue : an update. *Lancet Infectious Diseases*, 2 : 33–42.
- [142] M.G. GUZMÁN, G. KOURÍ, J. BRAVO, L. VALDES et S.B. HALSTEAD, 2002. Effect of age on outcome of secondary dengue 2 infections. *International Journal of Infectious Disease*, 6 : 118–124.
- [143] M.G. GUZMÁN, G. KOURÍ, L. VALDES, J. BRAVO, S. VAZQUEZ et S.B. HALSTEAD, 2002. Enhanced severity of secondary Dengue-2 infections : death rates in 1981 and 1997 Cuban outbreaks. *Revista Panamericana De Salud Pública*, 11(4) : 223–227.
- [144] M.G. GUZMÁN, G.P. KOURÍ, J. BRAVO, M. CALUNGA, M. SOLER, S. VASQUEZ et C. VENERO, 1984. Dengue hemorrhagic fever in Cuba, 1981. i. serological confirmation of clinical diagnosis. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 78 : 235–238.
- [145] M.G. GUZMÁN, G.P. KOURÍ, J. BRAVO, M. SOLER, S. VASQUEZ, C. VENERO et L. MORIER, 1990. Dengue hemorrhagic fever in Cuba, 1981 : a retrospective seroepidemiological study. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 42 : 179–184.
- [146] S.B. HALSTEAD, 1993. Pathophysiology and pathogenesis of dengue hemorrhagic fever. Dans WHO, éditeur. *Monograph on Dengue/Dengue Hemorrhagic Fever*, volume 22, India.
- [147] E.C. HOLMES et S.S. BURCH, 2000. The causes and consequences of genetic variation in dengue virus. *Trends in Microbiology*, 8(2) : 74–77.
- [148] B. HUBERT, 2001. Epidémie de dengue 1 en Polynésie Française. Rapport technique. www.spc.org.nc/phs/ROSSP/Epidemies/Rapports/Dengue2001-PolynesieFrancaise.pdf.
- [149] A.S. KLOVDAHL, 2001. Networks and pathogens. *Sexually Transmitted Diseases*, 28 : 25–28.
- [150] M. KUPERMAN et G. ABRAMSON, 2001. Small world effects in an epidemiological model. *Physical Review Letters*, 86(13) : 2909–2912.
- [151] P.M. LUZ, C.T. CODECO, E. MASSAD et C.J. STRUCHINER, 2003. Uncertainties regarding dengue modeling in rio de janeiro, brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 98 : 871–878.
- [152] R.M. MAY et R.M. ANDERSON, 1984. Spatial heterogeneity and the design of immunization programs. *Mathematical Bioscience*, 72 : 83–111.

-
- [153] W.J.H. MCBRIDE et H. BIELEFELDT-OHMANN, 2000. Dengue viral infections ; pathogenesis and epidemiology. *Microbes and Infection*, 2(9) : 1041–1050.
- [154] A. MIORELLI et A. ADAMI, 1999. A model of the transmission of dengue fever with larval competition and the insecticide application on control of the vector. Dans WORLD SCIENTIFIC AND ENGINEERING SOCIETY PRESS, éditeur. *International multiconference on circuits, systems, communications and computers, 3, catenas, computers and computational engineering in control*, pages 369–374.
- [155] M.E.J. NEWMAN, 2002. Spread of epidemic disease on networks. *Physical Review E*, 66 : 013128.
- [156] E.A.C. NEWTON et P. REITER, 1992. A model of the transmission of dengue fever with an evaluation of the impact of ultra-low volume (ULV) insecticide applications on dengue epidemics. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 47(6) : 709–720.
- [157] R. PASTOR-SATORRAS et A. VESPIGNANI, 2001. Epidemic dynamics and endemic states in complex networks. *Physical Review E*, 63 : 066117.
- [158] R. PASTOR-SATORRAS et A. VESPIGNANI, 2001. Epidemic spreading in scale-free networks. *Physical Review Letters*, 86 : 3200–3203.
- [159] C. PERRET, K. ABARCA, J. OVALLE, P. FERRER, P. GODOY, A. OLEA, X. AGUILERA et M. FERRÉS, 2003. Dengue-1 virus isolation during first dengue fever outbreak on Easter Island, Chile. *Emerging Infectious Diseases*, 9 : 1465–1467.
- [160] P. PICARD et C. LEFÈVRE, 1990. A unified analysis of the final state and severity distribution in collective Reed-Frost epidemic processes. *Advances in Applied Probability*, 22 : 269–294.
- [161] J.G. RIGAU-PEREZ, G.G. CLARK and D.J. GUBLER, P. REITER et E.J., 1998. Dengue and Dengue Haemorrhagic Fever. *Lancet*, 32(9132) : 971–977.
- [162] E.M.S. RODRIGUES, A.L. DAL-FABBRO, R. SALOMÃO, I.B. FERREIRA, I.M. ROCCO et B.A. LOPES DA FONSECA, 2002. Epidemiologia da infecção pela dengue em Ribeirão Preto, SP, Brasil. *Revista de Saúde Pública*, 36 : 160–165.
- [163] L.A. RVACHEV et I.M. LONGINI, 1985. A mathematical model for the global spread of influenza. *Mathematical Bioscience*, 75 : 3–22.
- [164] L. SATTENSPIEL et K. DIETZ, 1995. A structured epidemic model incorporating geographic mobility among regions. *Mathematical Bioscience*, 128 : 71–91.
- [165] L. SATTENSPIEL et C. POWELL, 1993. Geographic spread of measles on the island of Dominica. *Human Biology*, 2 : 107–129.
- [166] P.F. VASCONSELOS, J.W. LIMA, A.P. da ROSA, M.J. TIMBO, E.S. da ROSA, H.R. LIM, S.G. RODRIGUES et J.F. da ROSA, 1998. [dengue epidemic in Fortaleza, Caera : randomized seroepidemiological survey]. *Revista Saúde Publica*, 32(5) : 447–454.

- [167] P.F. VASCONSELOS, E.S. Travassos da ROSA, J.F. Travassos da ROSA, R.B. de FREITAS, N. DEGALLIER, S.G. RODRIGUES et A.P. Travassos da ROSA, 1993. [outbreak of classical fever of dengue caused by serotype 2 in araguaiana, tocantins, brazil]. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical Rev Inst Med Trop Sao Paulo*, 35.
- [168] D.W. VAUGHN, S. GREEN, S. KALAYANAROOJ, B.L. INNIS, S. NIMMANNITYA, S. SUNTAYAKORN, T.P. ENDY, B. RAENGSAKULRACH, A.L. ROTHMAN, F.A. ENNIS et A. NISALAK, 2000. Dengue viremia titer, antibody response pattern, and virus serotype correlate with disease severity. *Journal of Infectious Diseases*, 181(1) : 1–9.
- [169] E. WANG, H. NI, R. XU, A.D.T. BARRETT, S.J. WATAWICH, D.J. GUBLER et S.C. WEAVER, 2000. Evolutionary relationship of epidemic/endemic and sylvatic dengue viruses. *Journal of Virology*, 74(7) : 3227–3234.
- [170] WHO, 1998. Dengue and dengue haemorrhagic fever. Dans *WHO Fact Sheet*, Geneva. 117 p.

Bibliographie thématique sur la dynamique du contact forêt–savane

La liste ci-dessous comporte les articles que j'ai utilisés pour me familiariser avec le problème de la dynamique de l'interface forêt–savane. Il s'agit donc d'une sélection. Le premier critère a été l'accessibilité des documents : beaucoup de documents en littérature grise restent malheureusement quasiment introuvables. Le deuxième est la pertinence du contenu pour mon étude. Il manque en particulier beaucoup d'articles relativement anciens (antérieurs aux années 1970) : ils comportent souvent des descriptions passionnantes des zones de transition, mais malheureusement rarement de données chiffrées. Néanmoins, une bibliographie complète des articles antérieurs à 1969 et traitant du sujet est disponible dans :

J.M. AVENARD, 1969. *Reflexions sur l'état de la recherche concernant les problèmes posés par les contacts forêts-savanes. Essai de mise au point et bibliographie*. ORSTOM, Paris. 154 p. qui reste un ouvrage de référence.

1 Evolution des limites forêt savane lors de l'holocène

M SERVANT, J MALEY, B TURCQ, M-L ABSY, P BRENAC, M FOURNIER et M-P LEDRU, 1993. Tropical forest changes during the late quaternary in African and South American lowlands. *Global and Planetary Change*, 7:25–40.

1.1 Afrique

A. VINCENS, H. ELENGA, I. REYNAUD-FARRERA, D. SCHWARTZ, A. ALEXANDRE, J. BERTAUX, A. MARIOTTI, L. MARTIN, J.D. MEUNIER, F. NGUESTOP, M. SERVANT, S. SERVANT-VILDARY et D. WIRRMANN, 1999. Forests response to climate changes in Atlantic Equatorial Africa during the last 4000 years B.P. and inheritance on the modern landscapes. *Journal of Biogeography*, 26:879–885.

J. MALEY, 2001. La destruction catastrophique des forêts d'Afrique Centrale survenue il y a environ 2500 ans BP exerce encore une influence majeure sur la

dynamique et la répartition actuelle des formations végétales. *Systematics and Geography of Plants*, 71:777–796.

Cameroun

F.V. NGUETSOP, M. SERVANT et S. SERVANT VILDARY, 1998. Paléolimnologie et paléoclimatologie de l'ouest Cameroun au cours des 5000 dernières années, à partir de l'étude des diatomées du lac Ossa. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Sciences de la terre et des planètes*, 327:39–45.

Centrafrique

J. RÜNGE, 2002. Holocene landscape history and palaeohydrology evidenced by stable carbon isotope ($\delta^{13}\text{C}$) analysis of alluvial sediments in the Mbari Valley ($5^\circ\text{N}/23^\circ\text{E}$), Central African Republic. *Catena*, 48:67–87.

Congo

R. DESCHAMPS, R. LANFRANCHI, A. LE COCQ et D. SCHWARTZ, 1988. Reconstitution d'environnements quaternaires par l'étude de macrorestes végétaux (pays Bateke, R.P. du Congo). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 66:33–44.

A. VINCENS, D. SCHWARTZ, J. BERTAUX H. ELENGA et C. DE NAMUR, 1998. Late Holocene climatic changes in western Equatorial Africa inferred from pollen lake Sinnda, Southern Congo. *Quaternary Research*, 50:34–45.

H. ELENGA, A. VINCENS, D. SCHWARTZ, A. FABING, J. BERTAUX, D. WIRRMANN, L. MARTIN et M. SERVANT, 2001. Le marais estuarien de la Songolo (sud Congo) à l'Holocène moyen et récent. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 172:359–366.

1.2 Amérique

H. HOOGIEMSTRA et T. van der HAMMEN, 1998. Neogene and quaternary development of the intertropical rain forest : the forest refugia hypothesis, and a literature overview. *Earth-Science Reviews*, 44:146–183.

F.E. MAYLE, R. BURBRIDGE et T.J. KILLEEN, 2000. Millennial-scale dynamics of southern Amazonian rain forests. *Science*, 290:2290–2294.

Colombie

M. WILLE, H. HOOGIEMSTRA, B. VAN GEEL, H. BEHLING, A. de JONG et K. van der BORG, 2003. Submillenium-scale migrations of the rainforest-savanna boundary in Colombia : ^{14}C wiggle-matching and pollen analysis of core Las Margaritas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193:201–223.

Brésil

T. DESJARDINS, A. CARNEIRO FILHO, A. MARIOTTI, A. CHAUVEL et C. GIRARDIN, 1996. Changes of the forest-savanna boundary in Brazilian Amazonia

during the Holocene revealed y stable isotope ratios of soil organic carbon. *Oecologia*, 109:749–756.

P. A. COLINVAUX, P. E. DE OLIVEIRA, J. E. MORENO, M. C. MILLER et M. B. BUSH, 1996. A long pollen record from lowland Amazonia : forest and cooling in glacial times. *Science*, 274:85–88.

2 Etude de la dynamique forêt savane dans le passé récent

2.1 Généralités

I BACKÉUS, 1992. Distribution and vegetation dynamics of humid savannas in Africa and Asia. *Journal of Vegetation Science*, 3:345–356.

P.A. FURLEY, J. PROCTOR et J.A. RATTER, éditeurs, 1992. *Nature and Dynamics of Forest-Savanna Boundaries*. Chapman and Hall, New York.

B. HOPKINS, 1992. Ecological processes at the forest-savanna boundary. Dans FURLEY et coll., eds. *Nature and Dynamics of Forest-Savanna Boundaries*, Chapman and Hall, New York, pages 37–62.

2.2 Afrique

L.J.T. WHITE et R. OSLISLY, 2000. L'okoumé (*Aucoumea klaineana*) : expansion et déclin d'un arbre pionnier en Afrique centrale. Dans M. SERVANT et S. SERVANT-VILDARY, éditeurs. *Dynamique à Long Terme Des Écosystèmes Forestiers Intertropicaux*, UNESCO, Paris, pages 325–338.

D. SCHWARTZ, H. ELENGA, A. VINCENS, J. BERTAUX, A. MARIOTTI, G. ACHOUDONG, A. ALEXANDRE, C. BELINGARD, C. GIRARDIN, B. GUILLET, J. MALEY, C. de NAMUR, I. REYNAUD-FERRARA et J. YOUTA HAPPI, 2000. Origine et évolution des savanes des marges forestières en Afrique Centrale Atlantique (Cameroun, Gabon, Congo) : approche au échelles millénaires et séculaires. Dans M. SERVANT et S. SERVANT-VILDARY, éditeurs. *Dynamique à Long Terme Des Écosystèmes Forestiers Intertropicaux*, UNESCO, Paris, pages 325–338.

Cameroun

B GUILLET, G. ACHOUDONG, J. YOUTA HAPPI, V. KAMGANG KABEYENE BEYALA, J. BONVALLOT, B. RIÉRA, A. MARIOTTI et D. SCHWARTZ, 2001. Agreement between floristic and soil organic carbon isotope ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, ^{14}C) indicators of forest invasion of savannas during the last century in Cameroon. *Journal of Tropical Ecology*, 17:809–932.

J. YOUTA HAPPI, 1998. *Arbres Contre Graminées : La Lente Invasion de la Savane Par la Forêt Au Centre-Cameroun*. Thèse de doctorat, Université Paris IV.

Centrafrique

Y. BOULVERT, 1990. Avancée et recul de la forêt centrafricaine. Changements climatiques, influence de l'homme et notamment des feux. Dans R. LANFRANCHI et D. SCHWARTZ, éditeurs. *Paysages Quaternaires de L'Afrique Centrale Atlantique*, ORSTOM, Paris, pages 353–366.

Congo

A. FABING, 2000. *Bilan spatial et structurel de l'antagonisme pression anthropique/dynamique forestière naturelle en zone de forte croissance urbaine. Le cas de Pointe Noire et sa région (Rep. du Congo)*. Thèse de doctorat, Université de Strasbourg.

H. de FORESTA, 1990. Origine et évolution des savanes intramayombiennes (R.P. du Congo). II. Apports de la botanique forestière. Dans R. LANFRANCHI et D. SCHWARTZ, éditeurs. *Paysages Quaternaires de L'Afrique Centrale Atlantique*, ORSTOM, Paris, pages 326–335.

D. SCHWARTZ, H. de FORESTA, A. MARIOTTI, J. BALESSENT, J.P. MASSIMBA et C. GIRARDIN, 1996. Present dynamics of the savanna-forest boundary in the Congolese Mayombe : a pedological, botanical and isotopic (^{13}C and ^{14}C) study. *Oecologia*, 106:516–524.

Togo

K.A. GUELLY, B. ROUSSEL et M. GUYOT, 2003. Installation d'un couvert forestier dans les jachères de savanes au Sud-Ouest Togo. *Bois et Forêts des Tropiques*, 235:37–48.

Côte d'Ivoire

A. AUBRÉVILLE, 1953. Les expériences de reconstitution de la savanes boisée en Côte d'Ivoire. *Bois et Forêts des Tropiques*, 32:4–10.

E. ADJANOHOUN, 1964. *Végétation des savanes et des roches découverts en Côte d'Ivoire*, volume mém. 7. ORSTOM, Paris. 178 p.

J.M. DAUGET et J.C. MENAUT, 1992. Evolution sur 20 ans d'une parcelle de savane boisée non protégée du feu dans la réserve de Lamto. *Candollea*, 47(2):621–630.

L. GAUTIER, 1990. Contact forêt-savane en Côte d'Ivoire centrale : évolution du recouvrement ligneux des savanes de la Réserve de Lamto (sud du V-Baoulé). *Candollea*, 45(2):627–641.

Zone de lisière cultivée : R. SPICHIGER et C. PAMARD, 1973. Recherches sur le contact forêt-savane en Côte-d'Ivoire : étude du recrû forestier sur des parcelles cultivées en lisière d'un îlot forestier dans le sud du pays Baoulé. *Candollea*, 28:21–37.

Gabon

M.A. DELEGUE et M. FUHR, 1997. Volet « dynamique des lisières forêt-savane ». Bilan 1993-1996. Rapport technique, Projet « Aménagement forestier

en zone de savanes côtières du Gabon ». 33 p.

M. FUHR, M.A. DELÈGUE, R. NASI et J.-M. MINKOUÉ, 1998. *Dynamique et croissance de l'okoumé en zone côtière de Gabon*, volume 16 de *Série FORAFRI*. CIRAD, Montpellier.

M. FUHR, R. NASI et M.A. DELÈGUE, 2001. Vegetation structure, floristic composition and growth characteristics of *Aucoumea klaineana* Pierre stands as influenced by stand age and thinning. *Forest Ecology and Management*, 140:117–132.

M. FUHR, R. NASI et J.M. MINKOUÉ, 1998. Les peuplements d'okoumés éclaircis au Gabon. *Bois et Forêts des Tropiques*, 256:5–20.

M.A. DELÈGUE, M. FUHR, D. SCHWARTZ, A. MARIOTTI et R. NASI, 2001. Recent origin of a large part of the forest cover in the Gabon coastal area based on stable carbon isotope data. *Oecologia*, 129:106–113.

R. NASI, 1997. Les peuplements d'okoumés au Gabon. *Bois et Forêts des Tropiques*, 251:5–27.

L.J.T. WHITE, 1995. Etude de la végétation - rapport final. Rapport technique, Ecofac-Gabon/ Agreco. 132 p.

J. BIRAUD, 1954. Reconstitution naturelle et amélioration des peuplements d'okoumés au Gabon. *Bois et Forêts des Tropiques*, 35:5–9.

Nigeria

J.O. ADEJUWON, 1971. Savanna patches within forest areas in Western Nigeria : a study of the dynamics of forest savanna boundary. *Bulletin de l'IFAN, série A*, XXXIII(2):327–344.

2.3 Amérique

Colombie

J. CAVELIER, T.M. AIDE, C. SANTOS, A.M. EUSSE et J.M. DUPUY, 1998. The savannization of moist forests in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Journal of Biogeography*, 25:901–912.

Belize

M. KELLMAN et K. MIYANISHI, 1982. Forest seedlings establishment in Neotropical savannas : observations and experiments in the Mountain Pine Ridge savanna, Belize. *Journal of Biogeography*, 9:193–206.

Venezuela

H. FÖLSTER, N. DEZZEO et J.A. PRIESS, 2001. Soil–vegetation relationship in base-deficient premontane forest–savanna mosaic of the Venezuelan Guayana. *Geoderma*, 104:95–113.

Argentine

H.R. GRAU et T.T. VEBLEN, 2000. Rainfall variability, fire and vegetation dynamics in neotropical montane ecosystems on north-western Argentina. *Journal of Biogeography*, 27:1107–1121.

Bolivie

D.K. KENNARD, 2002. Secondary forest succession in a tropical dry forest : patterns of development across a 50-year chronosequence in lowland Bolivia. *Journal of Tropical Ecology*, 18:53–66.

S.M. PANFIL, 2001. *Late Holocene forest and savanna diversity and dynamics across an Amazonian ecotone*. Thèse de doctorat, University of Athens, Georgia.

Brésil

M.J. EDEN et D.F.M. MCGREGOR, 1992. Dynamics of the forest-savanna boundary in the Rio Branco - Rupunami region of norther Amazonia. Dans FURLEY et coll., eds. *Nature and Dynamics of Forest-Savanna Boundaries*, Chapman and Hall, New York, pages 77–89.

2.4 Asie

Inde

A. MARIOTTI et E. PETTERSCHMITT, 1994. Forest savanna ecotone dynamics in India as revealed by carbon isotope ratios of soil organic matter. *Oecologia*, 97:475–480.

J.P. PUYRAVAUD, C. DUFOUR et A. ARAVAJY, 2003. Rain forest expansion mediated by successional processes in vegetation thickets in the Western Ghats of India. *Journal of Biogeography*, 30:1067–1080.

J.P. PUYRAVAUD, J.P. PASCAL et C. DUFOUR, 1994. Ecotone structure as an indicator of changing forest-savanna boundaries (Linganamakki region, southern India). *Journal of Biogeography*, 21:581–594.

3 Feux

3.1 Feux dans la zone de transition

J. BIDDULPH et M. KELLMAN, 1998. Fuels and fire at savanna gallery forest boundaries in southeastern Venezuela. *Journal of Tropical Ecology*, 14:445–461.

D.R. CAHOON, B.J. STOCKS, J.S. LEVINE, W.R. COFER et K.P. O'NEILL, 1992. Seasonal distribution of african savanna fires. *Nature*, 359:812–815.

M.A. COCHRANE et W.F. LAURANCE, 2002. Fire as a large-scale edge effect in Amazonian forests. *Journal of Tropical Ecology*, 18:311–325.

M.A. COCHRANE et M.D. SCHULZE, 1999. Fire as a recurrent event in tropical forests of the eastern Amazon : effects on forest structure, biomass, and species composition. *Biotropica*, 31:2–16.

H.D. EVA et E.F. LAMBIN, 2000. Fires and land-cover change in the tropics : a remote sensing analysis at the landscape scale. *Journal of Biogeography*, 27:765–776.

D. GILLON, 1983. The fire problem in tropical savannas. Dans F. BOULIERE, éditeur. *Tropical savannas*, numéro 13 dans *Ecosystems of the world*, Elsevier, Amsterdam, pages 617–624.

G. Hees de NEGREIROS, D. SANDBERG, E. ALVARADO, T. HINCKLEY, D.C. NEPSTAD et M. PEREIRA, 1996. Fire along the transition between the Amazon forest and the cerrado ecosystems. Conference on Fire and Forest Meteorology, October 27-31,1996 in Lorne, <http://www.fs.fed.us/pnw/fera/publications/fulltext/brasfire.pdf>.

Y. MONNIER, 1981. *La poussière et la cendre*. Agence de Coopération culturelle et technique, Paris. 252 p.

N. PREECE, 2002. Aboriginal fires in monsoonal australia from historical accounts. *Journal of Biogeography*, 29:321–336.

P. STOTT, 1986. The spatial pattern of dry season fires in the savanna forests of Thailand. *Journal of Biogeography*, 13:345–358.

3.2 Expériences écologiques forêt savane

Côte d’Ivoire

E. ADJANOHOUN, 1964. *Végétation des savanes et des roches découverts en Côte d’Ivoire*, volume mém. 7. ORSTOM, Paris. 178 p.

J.M. DAUGET et J.C. MENAUT, 1992. Evolution sur 20 ans d’une parcelle de savane boisée non protégée du feu dans la réserve de Lamto. *Candollea*, 47(2):621–630.

D. LOUPPE, N. OUATTARA et A. COULIBALY, 1995. Effet des feux de brousse sur la végétation. *Bois et Forêts des Tropiques*, 245:59–74.

Ghana

J. BROOKMAN-AMISSAH, J.B. HALL, M.D. SWAINE et J.Y ATTAKORAH, 1980. A re-assessment of a fire protection experiment in north-eastern ghana savanna. *Journal of Applied Ecology*, 17:85–99.

Brésil

A.G. MOREIRA, 2000. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. *Journal of Biogeography*, 27:1021–1029.

Bibliographie concernant la dispersion des graines par le vent

Les références de cette section se rapportent à la dispersion de particules lourdes par le vent, principalement aux graines et aux pollens. Il ne s'agit pas d'une liste exhaustive, mais plutôt d'une sélection d'articles pour une introduction au problème et une revue des méthodes utilisées (résumées au paragraphe 4.1.3)

M. ANDERSEN, 1991. Mechanistic models for the seed shadows of wind-dispersed plants. *American Naturalist*, 137:476–497.

M.L. CAIN, B.G. MILLIGAN et A.E. STRAND, 2000. Long-distance seed dispersal in plant populations. *American Journal of Botany*, 87:1217–1227.

J.S. CLARK, 1998. Why trees migrate so fast : Confronting theory with dispersal biology and the paleorecord. *American Naturalist*, 152:204–224.

J.S. CLARK, M.A. LEWIS et L. HORVATH, 2001. Invasion by extremes : population spread with variation in dispersal and reproduction. *American Naturalist*, 157:537–554.

J.S. CLARK, M. SILMAN, R. KERN, E. MACKLIN et J. HILLERISLAMBERS, 1999. Seed dispersal near and far : patterns across temperate and tropical forests. *Ecology*, 80:1475–1494.

D.F. GREENE et E.A. JOHNSON, 1989. A model of wind dispersal of winged or plumed seeds. *Ecology*, 70:339–347.

D.F. GREENE et E.A. JOHNSON, 1996. Wind dispersal of seeds from a forest into a clearing. *Ecology*, 77:595–609.

S.I. HIGGINS et D.M. RICHARDSON, 1999. Predicting plant migration rates in a changing world : the role of long-distance dispersal. *American Naturalist*, 153:464–475.

T. HOVESTADT, S. MESSNER et H.J. POETHKE, 2001. Evolution of reduced dispersal mortality and 'fat-tailed' dispersal kernels in autocorrelated landscapes. *Proceedings of the Royal Society of London (B)*, 268:385–391.

E. JONGEJANS et P. SCHIPPERS, 1999. Modeling seed dispersal by wind in herbaceous species. *Oikos*, 87:362–37.

M. KOT, M.A. LEWIS et P. VAN DEN DRIESSCHE, 1996. Dispersal data and the spread of invading organisms. *Ecology*, 77:2027–2042.

G.R. MATLACK, 1987. Diaspore size, shape and fall behaviour in wind-dispersed plant species. *American Journal of Botany*, 74:1150–1160.

R. NATHAN, H.S. HORN, J. CHAVE et S. A. LEVIN, 2001. Mechanistic models for tree seed dispersal by wind in dense forests and open landscapes. Dans D.J. LEVEY, W.R. SILVA et M. GALETTI, éditeurs. *Seed Dispersal and Frugivory : Ecology, Evolution and Conservation*, Oxfordshire, UK. CAB International Press. [http://www.edb.ups-tlse.fr/equipe1/chave/Frugivory chapter.pdf](http://www.edb.ups-tlse.fr/equipe1/chave/Frugivory%20chapter.pdf).

R. NATHAN et H.C. MULLER-LANDAU, 2000. Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. *Trends in Ecology and Evolution*, 15:278–285.

R. NATHAN, U.N. SAFRIEL et I. NOY-MEIR, 2001. Field validation and sensitivity analysis of a mechanistic model for tree seed dispersal by wind. *Ecology*, 82:374–388.

M. NURMINIEMI, J. TUFTO, N. NILSSON et O. ROGNLI, 1998. Spatial models of pollen dispersal in the forage grass meadow fescue. <http://citeseer.nj.nec.com/nurminiemi97spatial.html>.

M. NURMINIEMI, J. TUFTO, N. NILSSON et O. ROGNLI, 1998. Spatial models of pollen dispersal in the forage grass meadow fescue. *Evolutionary Ecology*, 12:487–502. <http://citeseer.nj.nec.com/nurminiemi97spatial.html>.

A. OKUBO et S.A. LEVIN, 1989. A theoretical framework for data analysis of wind dispersal of seeds and pollens. *Ecology*, 70:329–338.

R.J. PAKEMAN, 2001. Plant migration rates and seed dispersal mechanisms. *Journal of Biogeography*, 28:795–800.

E. PARADIS, S.R. BAILLIE et W.J. SUTHERLAND, 2002. Modeling large-scale dispersal distances. *Ecological Modelling*, 151:279–292.

J. POWELL et N. ZIMMERMANN, 2002. Multi-scale analysis of active seed dispersal contributes to resolving reid's paradox. <http://www.math.usu.edu/~powell/reids11.pdf>.

I.C. PRENTICE, 1985. Pollen representation, source area, and basin size : toward a unified theory of pollen analysis. *Quaternary Research*, 23:76–86.

A.M. REYNOLDS et J.E. COHEN, 2002. Stochastic simulation of heavy-particle trajectories in turbulent flows. *Physics of Fluids*, 14:342–351.

H.P. SPIJKERBOER, J.E. BENIERS, D. JASPERS, H.J. SCHOUTEN, J. GOU-DRIAN, R. RABBINGE et W. van der WERF, 2002. Ability of the gaussian plume model to predict and describe spore dispersal over a potato crop. *Ecological Modelling*, 155:1–18.

D. STOYAN et S. WAGNER, 2001. Estimating the fruit dispersion of anemochorous forest trees. *Ecological Modelling*, 145:35–47.

J. TUFTO, S. ENGEN et K. HINDAR, 1997. Stochastic dispersal processes in plant populations. *Theoretical Population Biology*, 52:16–26. <http://citeseer.nj.nec.com/tufto97stochastic.html>.

J.D. WILSON, 2000. Trajectory models for heavy particles in atmospheric turbulence : Comparison with observations. *Journal of Applied Meteorology*, 39:1894–1912.

Liste des publications

C. FAVIER, A. FABING, J. CHAVE, D. SCHWARTZ, M. A. DUBOIS, 2004. Modelling forest-savanna mosaic dynamics in man-influenced environments : effects of fire, climate and soil heterogeneity. *Ecological Modelling*, 171:85–102.

C. FAVIER, C. DE NAMUR, M. A. DUBOIS. Forest edge progression strategies in littoral Congo, Central Atlantic Africa. *Journal of Biogeography*, sous presse.

C. FAVIER. Percolation model of fire dynamics. soumis à ***.

C. FAVIER, G. GRÉGOIRE, C. DE NAMUR, M. A. DUBOIS. Continuous description of vegetation transects. soumis à *Journal of Vegetation Science*.

C. FAVIER, M. A. DUBOIS. Mathematical Modelling of Forest-Savanna Ecotone in Africa. *Proceedings of the 13th European Simulation Symposium (ESS'2001). Science of Computer Simulation, October 18-20, 2001, Marseille.*

M. A. DUBOIS, C. FAVIER. Mathematical Modelling of Rift Valley Fever in Senegal. *Proceedings of the 13th European Simulation Symposium (ESS'2001). Science of Computer Simulation, October 18-20, 2001, Marseille.*

Annexes

Annexe A

Modèles stochastiques lagrangiens de flots turbulents

Le principe de l'approche lagrangienne est d'isoler une « particule » de fluide et d'en suivre le mouvement au cours du temps. Le fluide est vu comme une collection de ces particules et, en connaissant leur position et vitesse à l'état initial et en les suivant au cours du temps, on décrit ainsi l'évolution du fluide. Cette approche s'oppose à la vision eulérienne, qui décrit l'évolution des caractéristiques du fluide en un endroit fixe.

Simuler un fluide lagrangien peut passer par suivre un grande quantités de particules liées les unes aux autres par des interactions définies. Ces simulations numériques totales (DNS pour *Direct Numerical Siulations*) [5] nécessitent des temps de calcul énormes.

Une autre approche est de ne regarder qu'une seule particule et de représenter de façon statistique l'influence du reste du fluide sur cette particule.

A.1 Principaux résultats de la turbulence lagrangienne

Il n'est pas question ici de donner plus qu'un aperçu rapide des principales caractéristiques statistiques des grandeurs lagrangiennes. Les justifications théoriques, comme les détails des méthodes numériques ou expérimentales sont à voir ailleurs.

Vitesse du fluide. En commençant par la grandeur sans doute la plus immédiate, la vitesse, il apparaît que la vitesse est un processus stationnaire, c'est-à-dire les lois de probabilité pour chaque instant sont égales et que la loi de probabilité conjointe pour deux instants est invariante pour toute translation dans le temps. De plus la fonction de répartition de la vitesse est gaussienne autour d'une valeur moyenne :

$$f(u) \propto \exp \left[-\frac{(u - \bar{u})^2}{2\sigma_u^2} \right], \quad (\text{A.1})$$

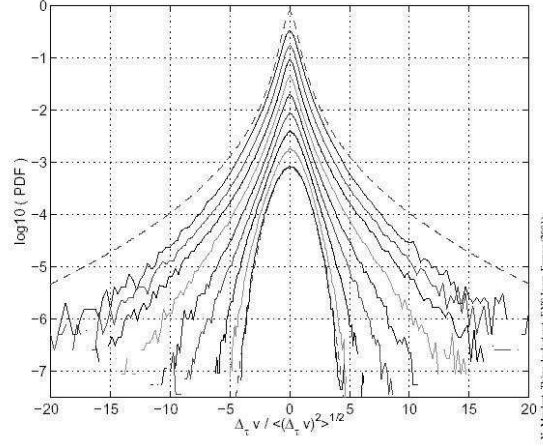


FIG. A.1 – Distribution de probabilité des incréments de vitesses dans un écoulement turbulent (normalisées à leur écart-type) : pour les intervalles de temps très courts, la distribution est à des ailes très larges et converge vers une gaussienne lorsque les intervalles de temps augmentent. Tiré de Mordant [3]

et l'auto-corrélation décroît exponentiellement :

$$\langle u(t) u(t + \tau) \rangle \propto \exp\left(-\frac{t}{T_L}\right). \quad (\text{A.2})$$

Intermittence. Ce n'est en fait pas si simple : les incréments de vitesse sont également stationnaires. A la limite des temps courts, la densité de probabilité des accélérations lagrangiennes est loin d'être une gaussienne : les ailes sont très larges. Par conséquent les densités de probabilités des incréments de vitesse :

$$\Delta_\tau u = u(t + \tau) - u(t) = \int_t^{t+\tau} a(t') dt' \quad (\text{A.3})$$

présentent également des ailes larges qui convergent vers une distribution gaussienne lorsque l'incrément de temps augmente (pour une faible résolution temporelle). Beck [2] propose pour la densité de probabilité des accélérations une forme :

$$f(a) = \frac{1}{(1 + a^2)^{\frac{3}{2}}}. \quad (\text{A.4})$$

Pour aller encore plus loin, bien qu'il y ait une décorrélation rapide de l'accélération, il semble que la décorrélation des valeurs absolues de cette accélération soit beaucoup plus lente (décroissance logarithmique) :

$$\langle |a(t)| |a(t + \tau)| \rangle \propto \ln\left(-\frac{t}{T_L}\right). \quad (\text{A.5})$$

A.2 Modèles stochastiques lagrangiens

Modèle stochastique pour la vitesse. Si on s'arrête au niveau de description de la vitesse, il suffit de chercher un processus stochastique qui converge vers une distribution normale avec une corrélation exponentiellement décroissante. C'est le processus d'Ornstein-Uhlenbeck :

$$dx = udt \tag{A.6a}$$

$$du = -\frac{u}{T_L}dt + 2\frac{\sigma_u}{\sqrt{T_L}}dW. \tag{A.6b}$$

Modèle stochastique pour l'accélération Un modèle pour reproduire une densité de probabilité de l'accélération de la forme $(1 + a^2)^{-\frac{3}{2}}$ avec une décroissance exponentielle de l'auto-corrélation est le suivant :

$$dx = udt \tag{A.7a}$$

$$du = adt \tag{A.7b}$$

$$da = \left(-a - \frac{1}{2}(1 + a^2)\right)u\frac{dt}{T_L} + \sqrt{\frac{1 + a^2}{T_L}}dW. \tag{A.7c}$$

Modèle stochastique pour le taux de dissipation de l'énergie. Enfin, pour reproduire les décroissances lentes sous-jacentes, un modèle possible pour avoir le même comportement est le suivant :

$$dx = udt \tag{A.8a}$$

$$du = -\frac{u}{T_L}dt + \sqrt{C_0\varepsilon}dW. \tag{A.8b}$$

en considérant que le taux de dissipation d'énergie ε est lui-même une variable aléatoire bien particulière.

$$\varepsilon = \langle \varepsilon \rangle \exp(\chi) \tag{A.9}$$

où χ est une variables aléatoire gaussienne avec une fonction de corrélation qui décroît logarithmiquement :

$$\langle |\chi(t)| |\chi(t + \tau)| \rangle \propto \ln\left(-\frac{t}{T_L}\right). \tag{A.10}$$

Un moyen de résoudre numériquement le système d'équations qui en découlent est le MRW (*Multifractal Random Walk*) de Bacry et coll. [1].

Les résultats de ces auteurs montrent que les incréments de vitesse ont les bonnes caractéristiques. Le problème est que le modèle en question n'est pas un modèle itératif : il n'est pas possible de déterminer les termes de ε les uns à la suite des autres.

Pour la dispersion des graines, le but recherché n'étant pas d'aboutir réellement à une courbe de dispersion mais de tester les limites de la modélisation, le modèle le plus simple s'est révélé suffisant.

Bibliographie

- [1] E. BACRY, J. DELOUR et J.F. MUZY, 2002. Multifractal random walk. *Physical Review E*, 64 : 026103.
- [2] C. BECK , 2001. On the small-scale statistics of Lagrangian turbulence. *Physics Letters A* 287 : 240–244.
- [3] N. MORDANT , 2001. Mesure lagrangienne en turbulence : mise en oeuvre et analyse. Thèse de doctorat de l'ENS Lyon.
- [4] S.B. POPE , 1994. Lagrangian PDF methods for turbulent flows. *Annual Review of Fluid Mechanics* 26 : 23–63.
- [5] P.K. YEUNG et S.B. POPE , 1989. Lagrangian statistics from direct numerical simulations of isotropic turbulence. *Journal of Fluid Mechanics* 207 : 531–586.

Annexe B

Fichier de données du programme FORSAT

Le fichier de données du programme FORSAT se présente ainsi (tout est réglable sans accès au code) :

```

*****
*                                                                 *
*              FICHIER DE DONNEES POUR LE MODELE FORSAT          *
*                                                                 *
*****
*                                                                 *
*                                                                 *
*****
*              Conditions initiales                               *
*****
*      Emplacement de la carte de vegetation                     *
*              carteini                                         *
*                                                                 *
*      Emplacement de la carte de fertilite (0 si pas de carte) *
*              0                                                *
*      Emplacement de la carte d'altitude (0 si pas de carte)  *
*              0                                                *
*                                                                 *
*      Nombre de Lignes                Nombre de colonnes      *
*              256                      256                    *
*      Annee de debut   Annee de fin   Periode d'enregistrement *
*              1         800           100                      *
*      Algorithme pour le feu (0:percolation,1:propagation)    *
*              1                                                *
*      Repertoire ou enregistrer les cartes                      *
*              /                                                *
*                                                                 *
*****
*              Parametres environnementaux                       *
*****
*      Facteur climat                Facteur Sol                *
*              1                      1.95                      *
*      Vent (non implemente): force (entre 0 et 1) direction(ss horaire °/N) *
*              0                      0                          *

```

```

*
*****
*
*                               Feux
*
*****
*
*   Nombre d'annees du cycle
*           2
*   Nombre de feux moyens par an (en plus de ceux du cycle)
*           0.0
*   Nombre de feux pour chaque annnee du cycle
*           (<0~: mise \ 'a feu dans toutes les savanes)
*           0 -1
*
*****
*
*                               Parametres numeriques
*
*****
*
*   Type de voisinage (4:VonNeumann)
*           4
*   Nombre max de clusters (mettre un grand nombre)
*           5000
*   Germe pour la generation des nombres aleatoires
*           531
*   Conditions periodiques (0~: non, 1~: oui)
*           0
*
*****
*
*                               Etats des Pixels
*
*****
*
*   Nombre d'Etats differents
*           4
*   Taille des fenetres pour la dissemination~:
*   (diviseur de la taille totale)
*
*                               nb lignes   nb col.
*                               16           16
*
*   Etat apres passage du feu (savane) Proba de mort   Couleur de la foret
*           1                               .005           4
*
*   Description des Etats
*
*   SAVANE      Couleur   Transvers   ProbBruler   NbOrigine   Origine
*           1           2           1           2           7 4
*   PeutIgn    Typecd    D           Pcd1        Pcd2        Typeld      Pld1      Pld2
*           0           4           1           .1          0           1           0.        0
* *
*   PIONNIERS   Couleur   Transvers   ProbBruler   NbOrigine   Origine
*           2           3           0.5         2           7 4
*   PeutIgn    Typecd    D           Pcd1        Pcd2        Typeld      Pld1      Pld2
*           0           0           0           0           0.         1           0.2       0.
* *
*   FORET JEUNE  Couleur   Transvers   ProbBruler   NbOrigine   Origine
*           3           4           0.1         1           7
*   PeutIgn    Typecd    D           Pcd1        Pcd2        Typeld      Pld1      Pld2
*           0           4           1           0.         0.         0           0         0.
* *

```

```

* FORET          Couleur  Transvers  ProbBruler  NbOrigine  Origine  *
                4          1          .005        1          7
*  PeutIgn  Typecd  D      Pcd1    Pcd2    TypeId  Pld1    Pld2  *
                0          0          0          0.0      0.      1          100    0.
*
*  Couleur~:  Numero de l'Etat
*  Transvers~:  Etat suivant dans la succession
*  ProbBruler~:  Probabilite de bruler
*  NbOrigine~:  nombre d'etats qui peuvent disperser des plantules
*                qui permettront la succession
*  Origine~:  Liste de ces etats
*  PeutIgn~:  Possibilite que le feu parte de cet etat (seulement savane)*
*  DISPERSION
*  Typecd~:  type de dispersion a courte distance
*                0,1~:  aucune, 0 parametre
*                2~:  gaussienne, 2 parametres
*                Pcd1~:  amplitude de la gaussienne
*                Pcd2~:  ecart-type de la gaussienne
*                3~:  lineaire, 1 parametre (descend jusqu'a zero)
*                Pcd1~:  valeur a l'origine
*                4~:  constante sur un disque, 1 parametre
*                Pcd1~:  valeur de la proba
*  D~:  dans tous les cas sauf 0, rayon du disque correspondant a la
*                courte distance
*  TypeId~:  type de dispersion a longue distance
*                0~:  aucune, 0 parametre
*                1~:  homogene sur tout l'espace 1 parametre
*                Pld1~:  valeur de la proba
*                > 1~:  par fenetres, memes lois que courte distance
*****

```


Annexe C

Evaluation de la densité locale

Lorsque on regarde la répartition des arbres le long d'un transect ou sur le plan, on note des endroits de plus ou moins forte concentration. Pour quantifier cette concentration, la grandeur densité locale peut être utilisée. Il s'agit d'une grandeur statistique du premier ordre.

C.1 Définition

On considère un ensemble de n individus, dont les coordonnées sont $(\vec{r}_i)_{1 \leq i \leq n}$. La façon la plus immédiate d'appréhender la densité locale en un point quelconque \vec{r} est de considérer qu'il s'agit du rapport entre le nombre d'individus dans un voisinage V de ce point et la surface S_V de ce voisinage (exprimée en nombre d'individus par surface).

$$\rho(\vec{r}) = \frac{\#(\vec{r}_i \in V)}{S_V}. \quad (\text{C.1})$$

De la même façon, on peut définir une densité locale de la grandeur G (par exemple surface terrière, hauteur, etc.)

$$\rho_G(\vec{r}) = \frac{1}{S_V} \sum_{\vec{r}_i \in V} G(\vec{r}_i). \quad (\text{C.2})$$

En considérant que G est égal à 1 pour chaque arbre, on retrouve la densité locale de l'équation (C.1).

C.2 Estimation non-paramétrique de la densité d'une variable aléatoire par la méthode du noyau

Ainsi définie, la densité locale est similaire à l'estimation de la densité de probabilité d'une variable aléatoire à partir d'une série d'expériences par la méthode du noyau (*Kernel Density Estimator*, KDE) :

$$\hat{f}(\vec{r}) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{\vec{r}_i - \vec{r}}{h}\right). \quad (\text{C.3})$$

K est une fonction qui attribue un poids décroissant aux individus alentours en fonction de leur distance au point considéré. Le choix de la fonction K a peu d'importance pour la validité de l'estimation, tant qu'elle garde les propriétés de base :

$$\begin{aligned}\int K(\vec{u}) du &= 1 \\ \int uK(\vec{u}) du &= 0.\end{aligned}$$

Ce choix joue essentiellement sur les caractéristiques de continuité et dérivabilité de l'estimation obtenue. En particulier, en considérant :

$$\begin{aligned}K(\vec{u}) &= 1 \text{ si } -\frac{h}{2} < |\vec{u}| \leq \frac{h}{2} \\ &= 0 \text{ sinon,}\end{aligned}\tag{C.4}$$

on obtient :

$$\hat{f}(\vec{r}) = \frac{\#(\vec{r}_i \mid |\vec{r}_i - \vec{r}| \leq \frac{h}{2})}{n \cdot V(h)},\tag{C.5}$$

qui au facteur de normalisation n près est similaire à la densité locale définie dans l'équation (C.1).

La taille de la fenêtre considérée est par contre déterminante. On peut déterminer une taille optimale de fenêtre pour avoir la meilleure estimation. La taille de la fenêtre peut également être adaptée localement, de telle façon qu'on compte le même nombre m de voisins :

$$\hat{f}(\vec{r}) = \frac{1}{nh(\vec{r})} \sum_{i=1}^m K\left(\frac{\vec{r}_i - \vec{r}}{h(\vec{r})}\right).\tag{C.6}$$

En prenant la fonction porte pour K , cela revient à :

$$\hat{f}(\vec{r}) = \frac{m}{2nh_m^d(\vec{r})},\tag{C.7}$$

où $h_m(\vec{r})$ est la distance au $m^{\text{ième}}$ plus proche individu du point \vec{r} .

C.3 Analyse des inventaires floristiques

Selon la nature de la zone inventoriée, les surfaces considérées pour l'évaluation de la densité locale l'équation (C.2) sont différentes.

C.3.1 Dans le plan

Dans le plan, on considère comme voisinage un cercle de rayon R . L'équation (C.2) devient :

$$\rho(\vec{r}) = \frac{1}{\pi R^2} \sum_{|\vec{r}_i - \vec{r}| \leq R} G(\vec{r}_i).\tag{C.8}$$

C.3.2 Le long d'un transect

Le long d'un transect, le problème est unidimensionnel dans la direction x du transect : on choisit un voisinage de forme rectangulaire de même largeur que la largeur du transect l et de longueur L . L'équation (C.2) devient :

$$\rho(x) = \frac{1}{l \cdot L} \sum_{|x_i - x| \leq L} G(\vec{r}_i). \quad (\text{C.9})$$

La figure C.1 illustre l'utilisation de la méthode des densités locales (les données utilisées sont celles du layon de base YOSI, voir page 118). Une fois trouvée la plage de valeurs optimales de la largeur de la fenêtre, les informations apportées par cette méthode sont plus riches que dans le cas d'un calcul classique sur des quadrats adjacents.

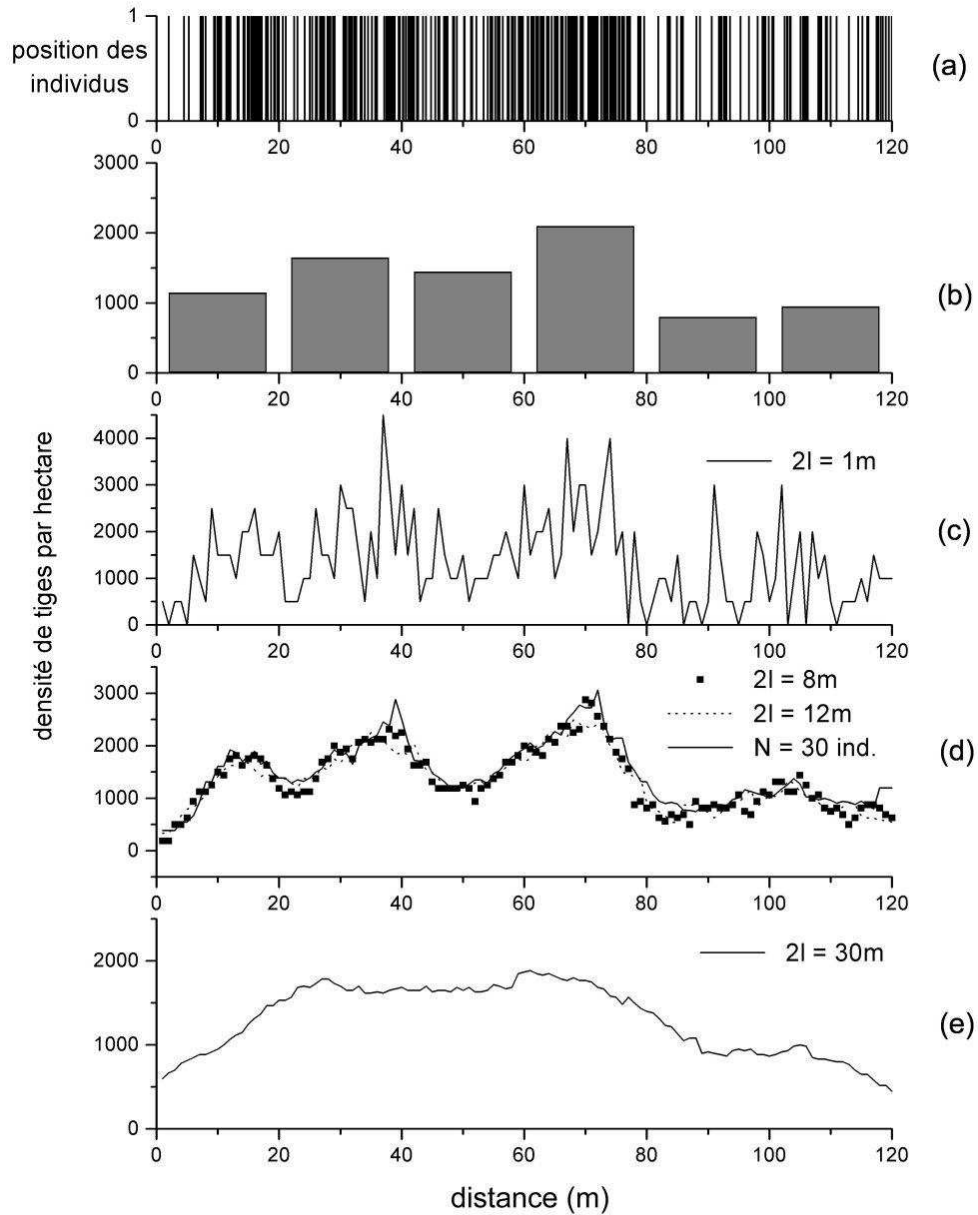


FIG. C.1 – Exemple d'utilisation de la densité locale pour représenter un layon. (a) Chaque barre représente un individu. (b) Profil de densité du transect en utilisant des quadrats adjacents. (c) Estimation de la densité locale avec une résolution trop grande. (d) Estimation de la densité locale avec des résolutions prises dans la plage optimale. (e) Estimation de la densité locale avec une résolution trop faible.