



A life of systemic thinking: a tribute to Serge Frontier

Laurent SEURONT^{1,2,3} and Christophe LUCZAK^{1,4}

(1) *Laboratoire d'Océanologie & Géosciences, CNRS UMR 8187 LOG, Université Lille 1 - Sciences et Technologies, Station Marine, Wimereux, France. E-mail: laurent.seuront@univ-lille1.fr*

(2) *School of biological Sciences, Flinders University, Adelaide, SA5001, Australia*

(3) *South Australian Research and Development Institute, Aquatic Sciences, West Beach, SA5022, Australia*

(4) *Université d'Artois, IUFM, Centre de Gravelines, 40, rue Victor Hugo, BP 129, 59820 Gravelines, France*



Serge Frontier (1934-2011)

On July 7, 2011 the French scientific community lost one of its most memorable characters. Serge Frontier (1934-2011) genuinely loved people, science, mathematics, nature, books, wine, his cats and Edgar Morin; in short, he loved and enjoyed life. During his years as a Professor at the University of Sciences and Technologies of Lille, Serge taught to generations of students, inspired a lot of them, and none were left untouched. We are two of his (many) students who were lucky enough to get out of the lecture

theatres crowd, to have the privilege to create bonds with him and to receive his mentoring during the stammering of our scientific careers as Master and PhD students in the mid-1990s. Neither one of us would have gone anywhere close to where we are without his extraordinary source of inspiration — we are not taking many risks claiming that many other scientists are in the very same situation — and we dedicate this short tribute to Serge's achievements as a systemic thinker.

S. Frontier started his career exploring the zooplankton of the Indian Ocean, and spent a significant amount of his early career working in Madagascar as an oceanographer at the Nosy Bé Research Centre of the Office of Scientific and Technical Research Overseas (ORSTOM, that became the Research Institute for Development, or IRD, in 1998), before earning his doctorate from the University of Aix-Marseille (1974). In addition to the considerable amount of work devoted to the description of zooplankton morphology and taxonomy, and their space-time patterns of abundance and diversity, Serge developed much more fundamental aspects of plankton ecology related to the optimisation of sampling and enumeration procedures, and the statistical analysis of zooplankton diversity, dispersion and microdistribution. This culminated with the publication of his first monograph, *Méthode statistique* (1980), which owed a lot to the *a priori* unfortunate confusion between the Professorship in Gynecology at the Faculty of Medicine of Rabat (Morocco), that Serge got instead of the expected Professorship in Synecology. Serge subsequently became a Professor at the University of Sciences and Technologies of Lille (Lille 1) where he taught with passion for nearly 20 years, before retiring as an Emeritus in 1997. He led during this period both the Station Marine de Wimereux, a research Department of the University of Sciences and Technologies of Lille, and a laboratory in Numerical Ecology, a discipline for which he has been recognized internationally, as illustrated by the preface of the acclaimed book *Numerical Ecology* by Pierre Legendre and Louis Legendre, who “*acknowledge the outstanding collaboration of Professors Serge Frontier (Université des Sciences et Techniques de Lille) and F. James Rohlf (State University of New York at Stony Brook) who critically reviewed our manuscripts for the first French and English editions, respectively. Many of their suggestions were incorporated into the texts which are at the origin of the present edition*”.

Among other achievements, Prof. Frontier was one of the very first marine ecologists, if not one of the first ecologists, to adopt as early as the 60s a functional approach to the structure of ecosystems. In particular, in his review untitled *Diversity and structure in aquatic ecosystems* (1985), he was the first one to provide an objective, quantitative and sound synthesis of (i) the characterization of the variations of structure in ecosystems from a functional perspective, through a pioneering use of information theory and rank-frequency diagrams (that he developed for instance to describe and characterize ecological successions as early as in 1969 and sometimes referred to as ‘*the Frontier diagram*’ e.g. Devaux (1976), (ii) the intrinsic issues related to sampling strategies, to subsequently develop novel procedures to assess plankton abundance and analyse the structure of plankton

communities using a multivariate perspective, and (iii) to discuss the critical issue of observation scales in the understanding and modelling of ecosystems (issues that are still widely and wildly debated today; see e.g. Levin (1992, 1999 & 2010), Schneider (2001), Leibold et al. (2004), Denny et al. (2004)). Serge subsequently extensively developed the theoretical (and philosophical) aspects of system theory (von Bertalanffy, 1968) and complex systems (Morin, 1977 & 1980) in ecology. This ultimately led to introduce a systemic approach that can be defined as a theoretical and applied framework to study complex systems *sensu* Morin (1980) — but see also Morin (2008) for a synthesis — hence to deal with the intrinsic complexity of ecosystems that includes a range of concepts and processes such as e.g. interactions, emergence, adaptability and self-organisation that occur over a range of spatial and temporal scales which need to be explicitly taken into account (Frontier & Pichod-Viale, 1992; Frontier, 1997 & 1999; Frontier & Leprêtre, 1998).

He was also a pioneer (Frontier & Legendre, 1986; Frontier, 1987) in identifying the potential strengths of fractal theory to address fundamental questions in these complex ecological systems, such as the dynamics of species diversity, biomass, gradients and interfaces; see also Frontier (1994) for a derivation of the Pareto distribution from a fractal model and the subsequent fractal characterization of rank-frequency diagrams. Noticeably, his first contributions on fractals (Frontier & Legendre, 1986; Frontier, 1987) were published years before the work by George Sugihara & Robert May in *Trends in Ecology and Evolution* (1990), and subsequent reviews and monographs on the topic, e.g. Kenkel & Walker, 1993 & 1996; Hastings & Sugihara, 1993.

The evolution of his work, that spans a range of fields including plankton ecology, benthic ecology, marine mammal ecology and ecosystem studies, together with his genuine interest in students and his dedication to teaching, led him to spend a considerable amount of work in synthesizing his thinking in a series of books (Frontier, 1983 & 1999; Frontier & Pichod-Viale, 1993 & 1998; Frontier et al., 2004, 2007 & 2008). In particular, *Statistique pour les Sciences de la Vie et de l'Environnement* (Frontier et al., 2001 & 2007) and *Ecosystèmes. Structure, Fonctionnement, Evolution* (Frontier & Pichod-Viale, 1990 & 1993; Frontier et al., 2004 & 2008) became keystone references for French undergraduate and graduate students. In a *publish or perish* era, the amount of Serge’s publications could be considered as relatively low, but each of his papers was a major contribution to the scientific knowledge in the field of ecology. Even if his impact on the international community has been fairly limited, probably due to his preference for writing in French, it is undeniable that his early level of

conceptualisation on ecosystem structure and function in the context of system complexity (Frontier, 1977, 1978b & 1985) was well in advance on his time, and is still at the core of the actual debate on ecosystem theory; see e.g. Jorgensen & Muller (2000), Jorgensen (2002), Begon et al. (2005), Solé & Bascompte (2006), Schneider & Willig (2011).

Beyond academic performance, what will be reminded of Serge Frontier, is his kindness, curiosity and genuine interest in nearly everything. He is, and will be, badly missed.

References

- Begon M., Townsend C.R. & Harper J.L. 2005.** *Ecology: From Individuals to Ecosystems*. Blackwell Publishing Ltd.: Malden. 755 pp.
- Denny M.W., Helmuth B., Leonard G.H., Harley C.D.G., Hunt L.J.H. & Nelson E.K. 2004.** Quantifying scales in ecology: lessons from a wave-swept shore. *Ecological Monographs*, **74**: 513-532.
- Devaux J. 1976.** Intérêt de l'utilisation des diagrammes de Frontier pour délimiter les stades des successions phyto-planctoniques. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, série D*, **282**: 1499-1501.
- Hastings H.M. & Sugihara G. 1993.** *Fractals. A User's Guide for the Natural Sciences*. Oxford University Press: Oxford. 23 pp.
- Jorgensen S.E. & Muller F. 2000.** *Handbook of Ecosystems Theories and Management*. CRC Press: Boca Raton. 600 pp.
- Jorgensen S.E. 2002.** *Integration of Ecosystems Theories: a Pattern*. Kluwer Academic Publishers: New York. 420 pp.
- Kenkel N.C. & Walker D.J. 1993.** Fractals and ecology. *Abstracta Botanica*, **17**: 53-70.
- Kenkel N.C. & Walker D.J. 1996.** Fractals in the biological sciences. *Coenoses*, **11**: 77-100.
- Legendre P. & Legendre L. 2012.** *Numerical ecology*. 3rd English edition Elsevier: Amsterdam. 1006 pp.
- Leibold M.A., Holyoak M., Mouquet N., Amarasekare P., Chase J.M., Hoopes M.F., Holt R.D., Shurin J.B., Law R., Yiman D., Loreau M. & Gonzalez A. 2004.** The meta-community concept: a framework for multiscale community ecology. *Ecology Letters*, **7**: 601-613.
- Levin S.A. 1992.** The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology*, **73**: 1943-1967.
- Levin S.A. 1999.** *Fragile Dominion. Complexity and the Common*. Helix books/Perseus publishing: Cambridge. 272 pp.
- Levin S.A. 2010.** Crossing scales, crossing disciplines: collective motion and collective action in the global commons. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, **365**: 13-17.
- Morin E. 1977.** *La Méthode. Volume I. La Nature de la Nature*. Seuil: Paris. 398 pp.
- Morin E. 1980.** *La Méthode. Volume II. La Vie de la Vie*. Seuil: Paris. 471 pp.
- Morin E. 2008.** *On Complexity*. Hampton Press: Cresskill. 127 pp.
- Scheiner S.M. & Willig M.R. 2011.** *The Theory of Ecology*. University of Chicago Press: Chicago. 404 pp.
- Solé R.V. & Bascompte J. 2006.** *Self-Organization in Complex Ecosystems*. Princeton University Press: Princeton. 373 pp.
- Sugihara G. & May R.M. 1990.** Applications of fractals in ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, **5**: 79-86.
- Schneider D.C. 2001.** The rise of the concept of scales in ecology. *Bioscience*, **51**: 545-553.
- Von Bertalanffy L. 1968.** *General System Theory: foundations, development, applications*. Braziller: New York. 289 pp.

Books by Serge Frontier

- Bour W., Frontier S. & Petit D. 1971.** *Zooplankton d'une baie eutrophique tropicale (Baie d'Ambaro, côte-ouest de Madagascar)*. Documents scientifiques Centre O.R.S.T.O.M. Nosy Bé, n° 24, multigr., 95 p. + 67 pl.
- Frontier S. 1978.** *Activités océanographiques françaises en Océan indien (étude du milieu, océanographie biologique et halieutique) de 1966 à 1977*, ORSTOM: Paris. 164 pp.
- Frontier S. 1980.** *Méthode Statistique*. Masson: Paris. 246 pp.
- Frontier S. (ed) 1983.** *Stratégies d'Echantillonnage en Ecologie*. Masson: Paris. 494 pp.
- Frontier S. (ed) 1986.** *Evaluation et optimisation des plans d'échantillonnage en écologie littorale*. Rapport ATP PIREN 9.82.95, 354 pp.
- Frontier S. (ed) 1990.** *Biométrie et océanographie*. Actes de colloque n°10 IFREMER/Société française de Biométrie, Plouzané, 177 pp.
- Frontier S. 1999.** *Les Ecosystèmes. Que sais-je?* Presses Universitaires de France: Paris. 128 pp.
- Frontier S., Davault D., Gentilhomme V. & Lagadeuc Y. 2001, 2007.** *Statistique pour les Sciences de la Vie et de l'Environnement*. Dunod: Paris. 377 pp
- Frontier S., Pichod-Viale D. 1990, 1993.** *Ecosystèmes. Structure, Fonctionnement, Evolution*. Masson: Paris. (1st and 2nd ed).
- Frontier S., Pichod-Viale D., Leprêtre A., Davault D. & Luczak C. 2004, 2008.** *Ecosystèmes. Structure, Fonctionnement, Evolution*. Dunod, Paris. (3rd and 4th ed).

Publications by Serge Frontier

- Belgrano A., Legendre P., Dewarumez J.M. & Frontier S. 1997.** Spatial structure and ecological variation of mero-plankton on the French-Belgian coast of the North Sea. *Marine Ecology Progress Series*, **128**: 43-50.
- Belgrano A., Legendre P., Dewarumez J.M. & Frontier S. 1997.** Spatial structure and ecological variation of mero-plankton on the Belgian-Dutch coast of the North Sea. *Marine Ecology Progress Series*, **128**: 51-59.
- Bour W. & Frontier S. 1974.** Zooplankton de la région de Nosy Bé : 9. Répartition spatio-temporelle des chaetognathes dans la province néritique. Contribution à l'étude d'une baie eutrophique tropicale. *Cahiers ORSTOM, série Océanographie*, **12**: 207-219.
- Brunet C., Brylinski J.M. & Frontier S. 1992.** Productivity, photosynthetic pigments and hydrology in the coastal front of

- the Eastern English Channel. *Journal of Plankton Research*, **14**: 1541-1552.
- Cuisinet H., Davoult D., Dewarumez J.M., Etienne M., Moguedet P. & Frontier S. 1986.** Echantillonnage en milieu benthique littoral et sublittoral : réalisation de plans d'échantillonnage à différentes échelles et implications sur les résultats des analyses numériques. In: *Evaluation et optimisation des plans d'échantillonnage en écologie littorale* (S. Frontier ed), pp. 101-154. Rapport ATP PIREN CNRS 9.82.65.
- Dallot S., Etienne M., Frontier S., Gallet P. & Ibanez F. 1986.** Etude des séries chronologiques dans le plancton. In: *Evaluation et optimisation des plans d'échantillonnage en écologie littorale* (S. Frontier ed), 191-230. Rapport ATP PIREN CNRS 9.82.65.
- Dewarumez J.M., Davoult D., Sanvicente-Anorve L. & Frontier S. 1992.** Is the muddy heterogeneous sediment assemblage an ecotone between the pebbles community and the *Abra alba* community in the Southern Bight of the North Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, **30**: 229-238.
- Díaz-Castaneda V., Richard A. & Frontier S. 1989.** Preliminary results on colonization, recovery and succession in a polluted area of the southern North Sea (Dunkerque's harbour, France). *Scientia Marina*, **53**: 705-716.
- Díaz-Castaneda V., Frontier S. & Arenas V. 1993.** Experimental reestablishment of a soft-bottom community: Utilization of multivariate analyses to characterize different benthic recruitments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **37**: 387-402.
- Dujet C. & Frontier S. 1986.** Théorie des ensembles flous et écologie. I. Pouvoir séparateur d'un ensemble flou : application à l'étude des systèmes écologiques. In: *Evaluation et optimisation des plans d'échantillonnage en écologie littorale* (S. Frontier ed), 325-331. Rapport ATP PIREN CNRS 9.82.65.
- Field J.G., Wulff F.V., Allen P.M., Fasham M.J.R., Flos J., Frontier S., Kay J.J., Silvert W. & Trainor L. 1985.** II. Ecosystem theory in relation to unexploited marine ecosystems. *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences*, **213**: 241-247.
- Flos J., Ascioti F.A., Carroll J.D., Dallot S., Frontier S., Gower J.C., Haedrich R.L. & Laurec A. 1987.** Data analysis in pelagic community studies. In: *Development in numerical ecology* (P. Legendre & L. Legendre eds), pp. 495-520. Springer Verlag, Berlin.
- Frontier S. 1961.** Mission océanographique de l'avis "Commandant Robert Giraud". *La Revue Maritime*, **182**: 1483-1492.
- Frontier S. 1963a.** Présence de *Creseis chierchiai* (Boas) dans l'Océan Indien. *Cahiers ORSTOM, série Océanographie*, **1**: 229-232.
- Frontier S. 1963b.** Zooplancton récolté en Mer d'Arabie, Golfe Persique et Golfe d'Aden (3^{ème} mission océanographique du "Commandant Robert Giraud"). I. Données générales, répartition quantitative. *Cahiers ORSTOM, série Océanographie*, **1**: 31-60.
- Frontier S. 1963c.** Zooplancton récolté en Mer d'Arabie, Golfe Persique et Golfe d'Aden (3^{ème} mission océanographique du "Commandant Robert Giraud"). II. Ptéropodes : systématique et répartition. *Cahiers ORSTOM Océanographie*, **1**: 233-254.
- Frontier S. 1963d.** Hétéropodes et Ptéropodes du plancton de Nosy Bé. *Cahiers ORSTOM, série Océanographie*, **1**: 213-227.
- Frontier S. 1963e.** Notes sur quelques larves atypiques de Décapodes Brachyours récoltées dans le plancton de Nosy Bé. *Cahiers ORSTOM, série Océanographie*, **1**: 31-59.
- Frontier S. 1965.** Le problème de *Creseis*. *Cahiers ORSTOM, série Océanographie*, **3**: 11-17.
- Frontier S. 1966a.** Zooplancton de la région de Nosy Bé. 1. Programme des récoltes et techniques d'étude & 2. Plancton de surface aux stations 5 et 10. *Cahiers ORSTOM, série Océanographie*, **4**: 3-37.
- Frontier S. 1966b.** Notes morphologiques sur les *Atlanta* récoltées dans le plancton de Nosy Bé (Madagascar). *Cahiers ORSTOM, série Océanographie*, **4**: 131-139.
- Frontier S. 1966c.** Liste complémentaire des Ptéropodes de la baie de Nosy Bé (Madagascar). *Cahiers ORSTOM, série Océanographie*, **4**: 141-146.
- Frontier S. 1968.** Données sur la faune pélagique vivant au large des côtes du Gabon, du Congo et de l'Angola (0 à 18°S ; 6°E à la côte). Hétéropodes et Ptéropodes. *Documents Scientifiques du Centre ORSTOM de Pointe Noire*, document n°417 – S.R. : 1-11, multigr.
- Frontier S. 1969a.** Sur une méthode d'analyse faunistique rapide du zooplancton. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **3**: 18-26.
- Frontier S. 1969b.** Méthodes d'analyse statistique applicables à l'écologie du plancton. *Documents Scientifiques du Centre ORSTOM de Nosy Bé*, **7**, 33 pp.
- Frontier S. 1970.** Zooplancton de la région de Nosy Bé. 4. Plancton de surface aux stations 3, 4 et 11. *Cahiers ORSTOM, série Océanographie*, **8**: 3-17.
- Frontier S. 1971a.** Présentation de l'étude d'une baie eutrophique tropicale : la baie d'Ambaro (côte nord-ouest de Madagascar). *Cahiers ORSTOM, série Océanographie*, **9**: 147-148.
- Frontier S. 1971b.** Zooplancton d'une baie eutrophique tropicale (baie d'Ambaro, côte nord-ouest de Madagascar). 1. Indications préliminaires. *Documents Scientifiques du Centre ORSTOM de Nosy Bé*, **24**: 1-7, 12 pl., multigr.
- Frontier S. 1971.** Zooplancton d'une baie eutrophique tropicale (baie d'Ambaro, côte nord-ouest de Madagascar). 5. Etude statistique de la dispersion du plancton. *Documents Scientifiques du Centre ORSTOM de Nosy Bé*, **24**: 55-95, 15 pl., multigr.
- Frontier S. 1972a.** Zooplancton d'une baie eutrophique tropicale (baie d'Ambaro, côté nord-ouest de Madagascar). 6. Répartitions spatiales et annuelles de quelques taxons. Première partie : Cladocères, Euphausiacés, Mollusques. *Documents Scientifiques du Centre ORSTOM de Nosy Bé*, **28**: 12 pp., 51 pl., multigr.
- Frontier S. 1972b.** Calcul de l'erreur sur un comptage de zooplancton. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **8**: 121-132.
- Frontier S. 1972c.** Récoltes de zooplancton effectuées par le centre ORSTOM de Nosy Bé entre mars 1963 et avril 1972. *Archives du Centre ORSTOM de Nosy Bé*, **5**: 1-208.
- Frontier S. 1973a.** Etude statistique de la dispersion du zooplancton. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **12**: 229-262.

- Frontier S. 1973b.** Evaluation de la quantité totale d'une catégorie d'organismes planctoniques dans un secteur néritique. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **12**: 299-304.
- Frontier S. 1973c.** Zooplancton de la région de Nosy Bé. 5. Cladocères. Contribution à l'étude d'une baie eutrophique tropicale. *Cahiers ORSTOM, série Océanographie*, **11**: 259-272.
- Frontier S. 1973d.** Zooplancton de la région de Nosy Bé. 6. Ptéropodes, hétéropodes : première partie. Espèces holonéritiques et néritiques-internes. *Cahiers ORSTOM, série Océanographie*, **11**: 273-289.
- Frontier S. 1973e.** Zooplancton de la région de Nosy Bé. 7. Ptéropodes, hétéropodes : deuxième partie. Espèces néritiques-externes et océaniques-tolérantes. *Cahiers ORSTOM, série Océanographie*, **11**: 291-302.
- Frontier S. 1973f.** Deuxième liste complémentaire des Ptéropodes du plancton de Nosy Bé (Madagascar) et notes morphologiques. *Cahiers ORSTOM, série Océanographie*, **11**: 253-257.
- Frontier S. 1974.** Contribution à la connaissance d'un écosystème néritique tropical : Etude descriptive et statistique du peuplement zooplanctonique de la région de Nosy Bé (Madagascar). Thèse Doctorat d'Etat de l'Université de Marseille. 268 pp.
- Frontier S. 1974b.** L'analyse factorielle est-elle heuristique en écologie du plancton ? *Cahiers ORSTOM, série Océanographie*, **12**: 77-81.
- Frontier S. 1976a.** Etude de la décroissance des valeurs propres dans une analyse en composantes principales : comparaison avec le modèle du bâton brisé. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **25**: 67-75.
- Frontier S. 1976b.** Utilisation des diagrammes rang-fréquence dans l'analyse des écosystèmes. *Journal de Recherche Océanographique*, **1**: 35-48.
- Frontier S. 1977a.** Réflexions pour une théorie des écosystèmes. *Bulletin d'Ecologie*, **8**: 445-464.
- Frontier S. 1977b.** Zooplancton de la région de Nosy Bé (Côte Nord-Ouest de Madagascar). Synopsis des observations. *Document scientifique ORSTOM, Station Zoologique de Villefranche*, **21**: 1-30.
- Frontier S. 1978a.** La microrépartition du plancton : étude statistique, implications méthodologiques, perspectives de recherche. *Vie et Milieu*, **28**: 189-208.
- Frontier S. 1978b.** Interface entre deux écosystèmes : exemple dans le domaine pélagique. *Annales de l'Institut Océanographique*, **54**: 95-105.
- Frontier S. 1978c.** Ecosystèmes d'estuaires dans les baies de la côte nord-ouest de Madagascar. *Bulletin d'Ecologie*, **9**: 39-50.
- Frontier S. (ed) 1980.** Recueil des travaux sur les baies d'Ambaro et d'Ampasindava. ORSTOM: Paris.
- Frontier S. 1983a.** Introduction. In: *Stratégies d'échantillonnage en écologie* (S. Frontier ed), pp. 1-11. Masson: Paris.
- Frontier S. 1983b.** Choix et contraintes de l'échantillonnage écologique. In: *Stratégies d'échantillonnage en écologie* (S. Frontier ed), pp. 15-62. Masson: Paris.
- Frontier S. 1983c.** L'échantillonnage de la diversité spécifique. In: *Stratégies d'échantillonnage en écologie* (S. Frontier ed), pp. 416-436. Masson: Paris.
- Frontier S. 1985.** Diversity and structure in aquatic ecosystems. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, **23**: 253-312.
- Frontier S. 1986a.** Studying fronts as contact interfaces. In: *Marine Interfaces Ecohydrodynamics* (J.C.J. Nihoul ed), pp. 55-66. Elsevier Oceanography series 42: Amsterdam.
- Frontier S. 1986b.** Introduction. In: *Evaluation et optimisation des plans d'échantillonnage en écologie littorale* (S. Frontier ed), pp. 1-7. Rapport ATP PIREN CNRS 9.82.65.
- Frontier S. 1986c.** La méthode des cotations d'abondance appliquée aux pêcheries artisanales. In: *Evaluation et optimisation des plans d'échantillonnage en écologie littorale* (S. Frontier ed), pp. 263-289. Rapport ATP PIREN CNRS 9.82.65.
- Frontier S. 1986d.** Fractals, flous et catastrophes : applications à l'écologie. Implications dans l'échantillonnage. In: *Evaluation et optimisation des plans d'échantillonnage en écologie littorale* (S. Frontier ed), pp. 291-292. Rapport ATP PIREN CNRS 9.82.65.
- Frontier S. 1987.** Applications of fractal theory to ecology. In: *Development in numerical ecology* (P. Legendre & L. Legendre eds), pp. 335-378. Springer Verlag: Berlin.
- Frontier S. 1991** Transferts d'échelle en océanographie. In: *Le transfert d'échelle, Séminfor IV : Quatrième Séminaire Informatique de l'ORSTOM* (C. Mullon ed), pp. 365-377. ORSTOM, Paris.
- Frontier S. 1991** Les outils mathématiques nouveaux du transfert d'échelle : géométrie fractale, relateurs arithmétiques, théorie des catastrophes, dynamique chaotique, analyse non standard. In : *Le transfert d'échelle, Séminfor IV : Quatrième Séminaire Informatique de l'ORSTOM* (C. Mullon ed), pp. 379-403. ORSTOM: Paris
- Frontier S. 1994.** Species-diversity as a fractal property of biomass. In: *Fractals in the natural and applied sciences* (M.M. Novak ed), pp. 119-127. Elsevier: North Holland.
- Frontier S. 1997a.** Conséquences d'une vision systémique de l'écologie. In: *Environnement : représentations et concepts de la nature* (J.M. Besses & I. Roussel eds). pp. 109-170. L'Harmattan: Paris.
- Frontier S. 1997b.** Préface. In: *Modélisation et simulation d'écosystèmes* (P. Coquillard & D.R.C. Hill eds), p. III-IV. Masson: Paris.
- Frontier S. & Ibanez F. 1974.** Utilisation d'une cotation d'abondance fondée sur une progression géométrique, pour l'analyse des composantes principales en écologie planctonique. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **14**: 217-224.
- Frontier S. & Bour W. 1976.** Note sur une collection de chaetognathes récoltée au-dessus du talus continental près de Nosy Bé (Madagascar). *Cahiers ORSTOM, série Océanographie*, **14**: 267-272.
- Frontier S. & Viale D. 1977.** Utilisation d'une cotation d'abondance mise au point en planctologie pour l'évaluation des troupeaux de cétacés en mer. *Journal de Recherche Océanographique*, **2**: 15-22.
- Frontier S. & Sournia A. 1981.** The Shore environment. In: *Vol. 1: Methods. Vol. 2: Ecosystems* (J.H. Price, D.E.G. Irvine & W.F. Farnham eds), Academic Press: New York, *Bulletin des*

- bibliothèques de France*, 7: 447-448
- Frontier S. & Legendre P. 1986.** Théorie des fractals et écologie. In: *Evaluation et optimisation des plans d'échantillonnage en écologie littorale* (S. Frontier ed), pp. 293-324. Rapport ATP PIREN CNRS 9.82.65.
- Frontier S. & Etienne M. 1990.** Etude de la diversité spécifique par le moyen des diagrammes rangs-fréquences : modélisation, variabilité d'échantillonnage. In: *Biométrie et océanographie* (S. Frontier ed), pp. 145-177. IFREMER/Société française de Biométrie: Plouzané.
- Frontier S. & Pichod-Viale D. 1992.** Ecologie et systémique. In: *Systémique. Théorie et applications* (F. Le Gallou & B. Bouchon-Meunier eds), pp. 224-247. Lavoisier: Paris.
- Frontier S. & Leprêtre A. 1998.** Développements récents en théorie des écosystèmes. *Annales de l'Institut océanographique*, 74: 43-87.
- Frontier S., Bour W. & Petit D. 1971.** Zooplancton d'une baie eutrophique tropicale (baie d'Ambaro, côté nord-ouest de Madagascar). 3. Situation écologique de la baie : étude d'une radiale côte-océan. *Documents scientifiques du Centre ORSTOM de Nosy Bé*, 24: 25-38, 26 pl., multigr.
- Frontier S., Le Fèvre J. & Pichod-Viale D. 1992.** Hiérarchies, dépendances d'échelles et transferts d'échelles en océanographie. In: *Hiérarchies et échelles en écologie* (P. Auger, J. Baudry & F. Fournier eds), pp. 187-223. Naturalia: Paris.
- Laurec A., Le Guen J.-C. & Frontier S. 1983.** Collecte de l'information pour une gestion rationnelle des stocks halieutiques. In: *Stratégies d'échantillonnage en écologie* (S. Frontier ed), pp. 385-415. Masson: Paris.
- Le Fèvre J. & Frontier S. 1988.** Influence of temporal characteristics of physical phenomena on plankton dynamics, as shown by North-West European marine ecosystems. In: *Toward a theory on biological-Physical interactions in the World Ocean* (B.J. Rothschild ed), pp. 245-272. Kluwer Academic Press: Dordrecht.
- Petit D. & Frontier S. 1971.** Zooplancton d'une baie eutrophique tropicale (baie d'Ambaro, côté nord-ouest de Madagascar). 4. Cycle annuel des poids secs (année 1969). *Documents scientifiques du Centre ORSTOM de Nosy Bé*, 24: 39-54, 8 pl., multigr.
- Plante R., Frontier S., Le Loeuff P. & Reys J.-P. 1983.** Stratégies d'échantillonnages et fluctuations naturelles dans les écosystèmes benthiques. Deux exemples en milieu tropical. *Oceanologica Acta* n° sp., Actes du 17^{ème} EMBS, Brest : 153-157.
- Seuront L., Lagadeuc Y., Schmitt F., Schertzer D., Lovejoy S. & Frontier S. 1996.** Multifractal structure of phytoplankton biomass and temperature in the ocean. *Geophysical Research Letters*, 23: 3591-3594.
- Sournia A. & Frontier S. 1967.** Terminologie des phénomènes liés au temps en écologie. *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, 2^{ème} série*, 39: 1001-1002.
- Sioukou-Frangou I., Papathanassiou E., Leprêtre A. & Frontier S. 1998.** Zooplankton assemblages and influence of environmental parameters on them in a Mediterranean coastal area. *Journal of Plankton Research*, 20: 847-870.
- Viale D. & Frontier S. 1980.** La Vallée du Fango (Haute-Corse) réserve de Biosphère. *Forêt méditerranéenne*, 2: 89-94.
- Viale D. & Frontier S. 1989.** Size-structure of *Stenella coeruleoalba* stranded on the French Mediterranean coasts. *Acta Oecologia*, 10: 295-307.
- Viale D. & Frontier S. 1993.** Surface megafauna related to Western Mediterranean circulation. *Aquatic Living Resources*, 7: 105-126.