



université PARIS-SACLAY

# "PHYSIQUE-STATISTIQUE DES ÉVÉNEMENTS EXTRÊMES GÉOPHYSIQUES " PAR DAVIDE FARANDA

**Discipline : Sciences de l'environnement**

## **Résumé :**

Comment modéliser le comportement moyen, la variabilité et les événements extrêmes de systèmes complexes ? Complexe est ce que nous percevons comme spatialement, temporellement et dynamiquement riche et esthétiquement beau. Cette richesse se décline sous la forme de tourbillons turbulents, de la rage d'un orage ou de la diffusion exponentiellement rapide d'un virus ou d'une crise économique. Dans mes activités de recherche, j'ai combiné le point de vue de la physique statistique et de la théorie des systèmes dynamiques pour concevoir des outils mathématiques qui agissent comme des loupes sur les systèmes complexes. La première question spécifique que j'ai abordée est de déterminer le nombre de variables, d'équations ou de données dont nous avons besoin pour décrire un événement spécifique, que cela se révèle ou non extrême pour le système que nous examinons. L'un des résultats de cette recherche est la possibilité d'étudier certains des systèmes les plus complexes comme par exemple un ensemble de vortex turbulents dans une géométrie confinée (écoulement de von Karman) avec trois équations dynamiques simples. Ces équations ne décrivent pas seulement l'état moyen du système, mais elles permettent une prévisibilité à court terme de son mouvement.

Nous avons ainsi découvert que les événements extrêmes dans la circulation atmosphérique tels que les cyclones montrent souvent une structure plus simple que le comportement moyen de l'atmosphère : ils agissent comme des condensats où quasiment tous les degrés de liberté de la dynamique sont gelés. Cela implique qu'ils correspondent à des briques spécifiques de la géométrie mathématique sous-jacente et parfois inconnue de ces systèmes : les points fixes instables de la dynamique. Équipés de ces outils statistiques, nous pouvons donc rechercher l'empreinte de points fixes instables dans les phénomènes naturels et découvrir leur correspondance avec les événements extrêmes rencontrés dans la vie quotidienne: jusqu'à présent - et j'en donne un aperçu dans ce manuscrit - nous avons découvert qu'ils apparaissent comme des tourbillons turbulents extrêmes dans l'atmosphère, comme des tempêtes, des ouragans, des tremblements de terre ou même comme des états spécifiques du cerveau. Enfin, je rends également compte de mon activité imparfaite mais stimulante dans la communication de la beauté et de la richesse de systèmes complexes et de leurs extrêmes en images, sons et même avec un jeu vidéo sur les extrêmes climatiques.

***Abstract:***

How to model complex systems? Complex is what we perceive as spatially, temporally and dynamically rich and esthetically beautiful. This richness is declined in the shapes of turbulent vortices, the rage of a storm, the exponentially fast diffusion of a virus or an economic crisis. In research activity, I have combined the point of view of statistical physics and dynamical systems theory to devise mathematical tools that act as magnifying glasses for complex systems. The first specific question I have tackled is to determine how many variables, equations or data we need to describe a specific event, whether this turns out or not to be extreme for the system we examine. One of the outcomes of this investigation is the possibility of studying some of the most complex systems we can figure out, namely an ensemble of turbulent vortices in a confined geometry with just three simple dynamical equations. These equations do not only describe the mean state of the system but they allow for short term predictability of its motion. Another counterintuitive result is that extreme events of the atmospheric circulation such as tropical or extratropical cyclones yield often a simpler structure than the mean behavior of the atmosphere: they act as condensates where all but few degrees of freedom of the dynamics are frozen. They correspond to specific bricks of the underlying and unknown mathematical geometry of those systems, namely the unstable fixed points of the dynamics. Equipped with these statistical tools, we can search the footprint of unstable fixed points in natural phenomena and discover their correspondence with extreme events encountered in the everyday life: so far – and I give an overview of these research in this manuscript - we have discovered that they appear either as extreme turbulent vortices in the atmosphere, or as storms, hurricanes, earthquakes or even as specific states of the brain. Finally, I also give an account of some imperfect but stimulating way to communicate the beauty and the richness of complex systems and their extremes to other human beings, in images, sounds and even with a video-game on climate extremes.

## INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

### MEMBRES DU JURY

**M Michel Crucifix, Professeur et DR FNRS, UC Louvain (Rapporteur)**

**Mme Anne-Laure Fougères, Professeur, Uni Claude Bernard Lyon (Rapporteur)**

**M Benoit Saussol, Professeur, Université de Bretagne Occidentale (Rapporteur)**

**Mme Liliane Bel, Professeur, AgroParisTech (Examineur)**

**M Philippe Bousquet, Professeur, UVSQ LSCE CEA Saclay (Examineur)**

**M Sandro Vaienti, Professeur, Uni Toulon & CPT Marseille (Examineur)**

**Mme Dubrulle Bérengère, DR CNRS, SPEC CEA Saclay (Examineur)**

**M Pascal Yiou, Ingénieur de Recherche, LSCE CEA Saclay (Tuteur)**

**Contact :**

DSR - Service FED : [theses@uvsq.fr](mailto:theses@uvsq.fr)