



Disponible en ligne sur www.sciencedirect.com



C. R. Geoscience xxx (2008) xxx–xxx

<http://france.elsevier.com/direct/CRAS2A/>

External Geophysics, Climate, and Environment

Ecosystems and extreme climatic events

Ecosystèmes et événements climatiques extrêmes

Foreword

Extreme climatic events have always occurred. In Europe, well-known recent examples include the 2003 heat wave, the 1999 windstorm and the recurring flood events in many parts of the continent [3]. Nevertheless, some are expected to increase in frequency or intensity with the climate change resulting from anthropogenic greenhouse gases and aerosol emissions. Unfortunately, it is not yet possible to predict precisely where and when the next heat wave, windstorm, heavy precipitation, or drought will take place.

Modern societies are increasingly vulnerable to extreme events, partly because they are under many kinds of stress – most in proportion to the increasing impact of Man on the biosphere. This increasing vulnerability is mainly due to changes in demography, economy, and the environment [21]. The interactions among these are crucial to understand the catastrophic nature of extreme events – an understanding that requires multidisciplinary approaches to improve the efficacy of public decision processes. Can ecological and sociological systems adapt to extreme climatic events? What are the conditions and patterns of resilience inherent in these systems? Answering these questions implies exchanges between scientific disciplines, including those addressing past, present and future conditions of life on Earth, those focusing on Man and society, as well as those considering the biophysical environment. It also implies exchanging methods and results of observations, experimentation and modeling in order to build scenarios of possible future conditions.

Avant-propos

Des événements climatiques extrêmes se sont toujours produits. En Europe, des exemples récents ont marqué les mémoires – vague de chaleur de 2003, tempête de 1999, inondations répétées en divers pays du continent [3]. On s'attend cependant à un accroissement de certains de ces événements, en fréquence ou en intensité, avec le changement climatique dû aux émissions anthropogéniques de gaz à effet de serre et aérosols. Malheureusement, il n'est pas encore possible de préciser où et quand se produiront les prochaines vagues de chaleur, tempêtes, fortes précipitations ou sécheresses.

Les sociétés modernes sont de plus en plus vulnérables aux événements extrêmes, en partie parce qu'elles sont sous l'emprise de diverses sortes de stress – la plupart en proportion de l'impact croissant de l'Homme sur la biosphère. Cette vulnérabilité croissante dépend essentiellement de transformations démographiques, économiques et environnementales [21]. Les interactions entre ces transformations sont fondamentales pour comprendre la nature catastrophique des événements extrêmes – une compréhension qui demande des approches multidisciplinaires dans un souci d'efficacité des processus de décision publique. Les systèmes écologiques et sociologiques peuvent-ils s'adapter aux événements climatiques extrêmes ? Quelles sont les conditions et les modalités de la résilience inhérente à ces systèmes ? Répondre à ces questions implique des échanges entre disciplines scientifiques, y compris entre celles qui s'intéressent aux conditions de la vie sur terre dans le passé, le

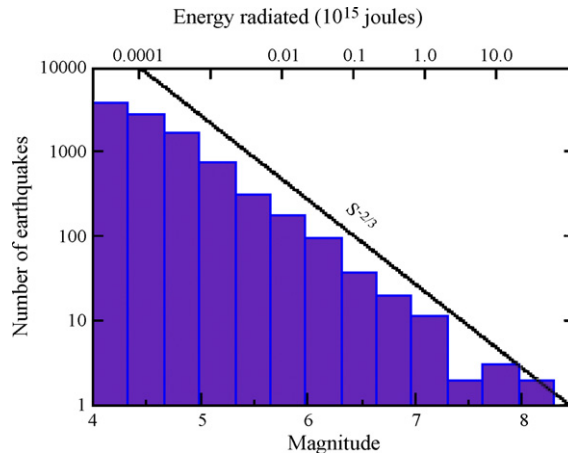


Fig. 1. Histogram of the number of earthquakes in 1995 as a function of their magnitude (logarithmic scale): the earthquake distribution is well described by a power law [22].

Histogramme du nombre de séismes en 1995 en fonction de leur amplitude (échelle logarithmique) : la distribution des séismes est bien décrite par une loi de puissance [22].

Theoretically, extreme climatic events are where the ratio between the greatest impact and a typical impact is large.¹ It often happens that the frequency decreases as a power law of their size (Fig. 1): frequency \propto [size]^{- α} .

Under certain conditions ($\alpha < 2$), the largest event in a series becomes comparable to the sum of sizes of all the events in that series [3]. In other words, the magnitude of an extreme event causing a natural disaster is comparable to the magnitude of all the others together.

For ecologists, various definitions of extreme events have been proposed. It is widely accepted that extremes exceed some sort of limit in terms of magnitude, duration and frequency. They are also sensitive to normal ranges in local climate in relation to some time horizon, for example 50 years. According to the Extreme Events Working Group (XEWG) of the American Long Term Ecological Research (LTER) Climate Committee, “*extreme climatic events are statistically rare in frequency, magnitude, and/or duration for a single climate parameter or combination of parameters for a particular ecosystem. The ability to recognize and categorize extreme events is dependent upon the length of reliable observational records. An extreme climatic event may or may not induce an ecological response*” [9]. This definition acknowledges the link between climate extremes and ecological

présent et l’avenir, entre celles qui traitent de l’Homme et de la Société et celles qui considèrent l’environnement biophysique. Implique aussi des échanges à propos des méthodes et des résultats des observations, des expérimentations et des modélisations pour construire des scénarios des conditions à venir possibles.

Théoriquement, les événements climatiques extrêmes sont typiques des séries d’événements, dans lesquels le rapport de taille entre l’événement le plus grand et un événement typique de la série est grand.⁴ Il arrive souvent que la fréquence des événements décroisse comme une loi de puissance de la taille (Fig. 1) : fréquence \sim [taille]^{- α} .

Sous certaines conditions ($\alpha < 2$), l’événement le plus grand de la série devient comparable à la somme des tailles de tous les événements réunis de cette série [2] ; autrement dit, l’ampleur d’un événement extrême est comparable à l’ampleur de tous les autres événements de la série pris ensemble.

En écologie, diverses définitions ont été proposées. Il est largement reconnu que les extrêmes dépassent une certaine limite en termes d’ampleur, de durée et de fréquence et sont sensibles aux variations normales du climat local au cours d’une certaine période de temps, 50 ans, par exemple. Selon l’Extreme Events Working Group (XEWG) du comité américain du Long-Term

¹ See: B. Derrida, Quelques modèles simples donnant lieu à des événements extrêmes, in: *Écosystèmes et Événements Climatiques Extrêmes*, Académie des Sciences, Rapport Science et Technique (in preparation).

⁴ Voir : B. Derrida, Quelques modèles simples donnant lieu à des événements extrêmes, in: *Écosystèmes et événements climatiques extrêmes*, Académie des sciences, Rapport Science et Technique (en préparation).

response, which itself may be extreme if “*statistically rare in frequency, magnitude, and/or duration, or a persistent alteration of ecological properties at any level of organization*”. Another definition comes from the field of population ecology: “*an extreme event is an episode in which the acclimatory capacities of an organism or population are substantially exceeded*” [11]. The extremes generally considered in studies of climate change are either rare – typically corresponding to the 10th or 90th percentile – intense, or severe through their biophysical impacts.

The disastrous character of extreme, including climatic, events for scientists investigating human systems is characterized “*not simply by some set of innate attributes, but by the interaction of those attributes with the system that it is affecting*” [2]. This leads one to view disasters “*not as isolated phenomena, but as emergent properties of interactions within or between complex, dynamic systems*”.

The collection of 15 papers in this volume addresses five fundamental questions related to interactions between ecosystems (including socio-ecosystems) and extreme climatic events: what can be predicted using the most recent climatic *models*? What can be learned from *past climatic events*? How do *ecosystems* react to extreme climatic events? What can be the expected consequences for *human* populations and societies? How can societies prepare for possible *future* extreme climatic events? It is not intended to give definitive answers to these crucial questions,² but to offer some current approaches and perspectives for better understanding how ecosystems and socio-ecosystems may respond to extreme climatic events in the future.

1. Models

Planton et al. outline methodologies commonly used to evaluate the impact of climate change on extremes, and present expected climate extremes for the globe and for France [20]. They point to likely increases in heat wave episodes over land surfaces, which are linked to mean warming and to an increase in temperature variability. Further, they point to likely increases in heavy precipitation events over most areas, which are linked to changes in the distribution of precipitation intensity. Due to regional variability, they show that global trends for drought duration and wind-related

Ecological Research (LTER), « *les événements climatiques extrêmes sont statistiquement rares en fréquence, ampleur et/ou durée pour un seul paramètre ou une combinaison de paramètres pour un écosystème donné. La capacité à reconnaître et classer les événements extrêmes dépend de la longueur des séries d’observations crédibles. Un événement climatique extrême peut ou non induire une réponse écologique* » [9]. Cette définition reconnaît le lien entre extrêmes climatiques et une réponse écologique qui peut elle-même être extrême si « *statistiquement rare en fréquence, ampleur, et/ou durée, ou altération persistante de propriétés écologiques à un niveau quelconque d’organisation* ». Une autre définition vient de l’écologie des populations : « *un événement extrême est un épisode dans lequel les capacités d’acclimation d’un organisme ou d’une population sont substantiellement dépassées* » [11]. Les extrêmes généralement considérés dans les études d’impact du changement climatique sont rares – correspondant typiquement au dixième ou quatre-vingt-dixième percentile – intenses, ou sévères par leurs conséquences.

Les chercheurs en sciences humaines soulignent que le caractère désastreux d’un événement extrême, y compris climatique, dépend « *non simplement d’un certain ensemble d’attributs propres, mais de l’interaction de ces attributs avec le système qu’ils affectent* » [2]. Cela conduit à voir les désastres « *non comme des phénomènes isolés, mais comme des propriétés émergentes d’interactions au sein ou entre des systèmes dynamiques complexes* ».

Le présent ensemble de 15 articles aborde cinq questions liées aux interactions entre écosystèmes (y compris socioécosystèmes) et événements climatiques extrêmes : que peut-on prédire à partir des *modèles* climatiques les plus récents ? Qu’apprendre des *événements climatiques passés* ? Comment les *écosystèmes* réagissent-ils aux événements climatiques extrêmes ? Quelles peuvent être les conséquences attendues pour les populations et sociétés *humaines* ? Comment préparer nos sociétés aux événements climatiques extrêmes *à venir* ? L’objectif n’est pas ici d’apporter des réponses complètes et définitives à ces questions essentielles,⁵ mais plutôt de présenter quelques-unes des approches et perspectives développées pour comprendre comment les écosystèmes et les socioécosystèmes peuvent répondre aux événements climatiques extrêmes dans l’avenir.

² See: Écosystèmes et événements climatiques extrêmes, Académie des sciences, Rapport science et technique (in preparation).

⁵ Voir : Écosystèmes et événements climatiques extrêmes, Académie des sciences, Rapport science et technique (en préparation).

extremes are not consistent between models and downscaling methodologies. Over France, statistics such as the number of annual heat wave days are highly sensitive to internal climate variability at the scale of Western Europe.

Climate variability at the regional scale is also an important issue in tropical areas. For example, tropical cyclones are known as among the most violent and destructive climate extremes in the world. André et al. highlight that relationship between cyclonic activity and climate warming remains questionable [1]. The possible effect (signal) is probably little different from the strong variability that characterizes cyclonic activity (noise), and an interpretation of the ratio ‘signal/noise’ needs observational data – direct or indirect – for the long term, which is difficult to achieve. Climate simulations would allow disentanglement of relationships between cyclonic activity and climate change, and it is expected that simulations of future climate will improve spatial resolution within the next few years. Similar conclusions, in general, have been found for climate change models.

Le Treut et al. note that the four successive Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) reports offer a remarkably stable diagnostic of climate change in response to increasing atmospheric greenhouse gases, although models have been of increasing complexity and resolution over 20 years of scientific research [15]. This diagnostic has been successful in alerting governments and decision makers on the reality of the risk. However, much better information is required to define the infrastructures needed for adaptation of societies or ecosystems to climate change. These might include quantitative estimates of the changes, regional distribution of their effects, and associated evaluation of their variations – including the possibility of more frequent extreme events. Increasing model resolution is an important and necessary challenge in this perspective.

2. Past climatic events

Predicting the response of the biota to future climate change can be complex. Combes introduces this topic recalling that the history of our planet has been profoundly and frequently subjected to extreme events, principally climatic ones [6]. These events impose severe sorting of species or even phyla, but usually not between individuals of a species. During mass extinctions, the events open ecological niches and redistribute the ‘cards’ of life, giving survivors opportunities to radiate evolutionarily.

1. Modèles

Planton et al. exposent les méthodologies habituellement utilisées pour évaluer l’impact du changement climatique sur les extrêmes, et présentent les événements climatiques extrêmes attendus pour le globe et la France [20]. Ils soulignent la forte probabilité d’épisodes de canicule sur les continents, en liaison avec le réchauffement moyen et l’accroissement de la variabilité des températures. Ils soulignent aussi la forte probabilité d’épisodes de fortes précipitations sur beaucoup de régions, en liaison avec un changement de la distribution des intensités des précipitations. Ils montrent que la variabilité régionale conduit à des tendances globales moins cohérentes selon les modèles et les méthodes de réduction d’échelle, en ce qui concerne les durées de sécheresse et les extrêmes liés au vent. En France, des statistiques comme le nombre de jours de canicule, sont très sensibles à la variabilité climatique régionale qui affecte l’Europe de l’Ouest.

La variabilité climatique à échelle régionale est aussi une question importante en région tropicale. Ainsi, les cyclones tropicaux sont parmi les extrêmes climatiques les plus violents et destructeurs au monde. André et al. montrent que la relation entre l’activité cyclonique et le réchauffement climatique reste sujette à question [1]. L’effet possible (signal) est probablement peu différent de la forte variabilité qui caractérise l’activité cyclonique (bruit) et une interprétation du rapport « signal/bruit » demande des observations – directes ou indirectes – sur le long terme, difficiles à obtenir. Les simulations du climat pourraient permettre, au cours des prochaines années, de démêler les relations entre l’activité cyclonique et le changement climatique, lorsque l’amélioration des résolutions spatiales aura pu être suffisante. L’article suivant conclut semblablement au sujet des modèles de changement climatique en général.

Le Treut et al. notent que les quatre rapports successifs du Groupe intergouvernemental d’experts sur l’évolution du climat (GIEC) offrent un diagnostic remarquablement stable du changement climatique, en réponse à l’augmentation des gaz à effet de serre dans l’atmosphère, bien que les modèles aient été d’une complexité et d’une résolution croissantes en 20 années de recherche scientifique [15]. Ce diagnostic a réussi à alerter les gouvernements et les décideurs sur la réalité du risque. Cependant, l’information doit être beaucoup plus précise pour définir les infrastructures nécessaires à l’adaptation des sociétés ou des écosystèmes au changement climatique. Cela peut comprendre les estimations quantitatives des changements, la distribution régionale de leurs effets et l’évaluation associée de leurs variations

Claude Combes suggests that the term “pre-adaptation” is probably the best one to express that, when an unexpected and sudden event occurs, a particular species has the “right genes” to continue to sustain viable populations.

In a similar perspective, Guiot et al. explore interactions between climate models and paleovegetation data, using pollen and tree rings as bioindicators [10]. They identify weaknesses of investigative approaches that are not well supported by causal relationships. Their investigations of climate variability focus on ecophysiological processes, through a mechanistic model, to use past data to provide better insights into the potential niches of species. Interaction between models and data lead them to interpret changes in the vegetation data, giving a better understanding of hidden processes and a preview of anticipated future changes.

Escarguel et al. contrast the changes experienced by the mammalian metacommunity of the Quercy and Limagne area (Massif Central, France). The changes occurred over a ca 16 Myr time interval spanning a marked extinction event – the *Grande Coupure de Stehlin* at the Eocene/Oligocene boundary [7]. Their results indicate that local and regional populations or communities show distinct evolutionary dynamics, involving at least partially independent sets of controlling parameters. Their data provide a unique ‘deep-time key’ into major current ecological debates, such as how the modes, rates and control parameters of α , β and γ diversities evolved through time; the fact that local communities’ species assemblages are randomly sorted from a common regional pool, or not; and the way by which phylogeny shapes the structural and functional properties of communities and metacommunities, and control their evolution.

Lister and Stuart also focus on the response of large mammals to climate change. They examine the transition from the last glacial stage to the present interglacial, ca 25–10 ka [16]. The response seen was mediated by replacement of the mosaic steppe-tundra vegetation of northern Eurasia by tundra in the far north and by forest further south, dramatically affecting species such as the woolly rhinoceros, the woolly mammoth and the giant deer. They identify prolonged range reductions and geographically complex processes taking thousands or tens of thousands of years, often accompanied by loss of genetic variation and, presumably, adaptive flexibility. Small, terminal refuges allowed some species to survive for thousands of years before becoming extinct. Survival and possible re-expansion of survival species depended

– y compris la possibilité d’événements extrêmes plus fréquents. L’accroissement de la résolution des modèles est un défi important et nécessaire dans cette perspective.

2. Événements climatiques passés

Prédire la réponse du vivant à de futurs changements climatiques peut se révéler très complexe. Combes introduit ce sujet en rappelant que l’histoire de notre planète a été profondément et fréquemment perturbée par des événements extrêmes, principalement de nature climatique [6]. Ces événements imposent un tri sévère, non entre individus d’une espèce donnée, mais entre espèces ou même entre phylums. Lors des extinctions de masse, ils ouvrent des niches écologiques et redistribuent les cartes de la vie, offrant aux survivants des possibilités de radiation évolutive. Claude Combes suggère que le terme « préadaptation » exprime probablement le mieux l’idée selon laquelle, quand un événement inattendu et soudain se produit, une espèce donnée a les « bons gènes » pour continuer à produire des populations viables.

Dans une perspective similaire, Guiot et al. explorent les interactions entre modèles climatiques et données de paléobotanique, en utilisant des pollens et des cernes annuels comme indicateurs [10]. Ils mettent en évidence les faiblesses des approches qui s’appuient insuffisamment sur des relations causales. Leurs investigations de la variabilité climatique se concentrent sur des processus écophysologiques par le biais d’un modèle mécaniste, afin d’utiliser des données du passé pour obtenir une meilleure compréhension des niches potentielles des espèces. L’interaction entre modèles et données les amène à interpréter les changements observés dans les données de végétation, permettant une meilleure compréhension de processus plus ou moins cachés et une chance d’anticipation des changements à venir.

Escarguel et al. comparent les changements de la métacommunauté des mammifères du Quercy et de la Limagne (Massif central, France) sur une période dépassant environ 16 millions d’années et marquée par un événement d’extinction – la *Grande Coupure de Stehlin*, à la limite Eocène/Oligocène [7]. Leurs résultats indiquent que les populations ou les communautés locales et régionales présentent des dynamiques évolutives distinctes, impliquant l’existence de groupes de paramètres de contrôle au moins partiellement indépendants. Leurs données offrent une clé d’entrée « en temps profond » unique dans plusieurs grands débats écologiques actuels tels que : les modalités, taux et paramètres de contrôle de l’évolution des diversités α , β et γ dans le temps ; le tri au hasard des assemblages d’espèces à partir,

on population densities in the source areas, dispersal rates in relation to speed of habitat change, and the environment of the target area – especially the presence of competitors or predators, including humans. Dispersion may have been impossible where the source and target areas were separated by areas of unsuitable habitats, a situation similar to the present day where the environment has been greatly modified by humans.

3. Ecosystems

Discussing the effects of extreme meteorological events on ecosystems, Jentsch and Beierkuhnlein illustrate that modifications in extreme weather events pose stronger threats to ecosystem functioning than global trends and shifts in average conditions [12]. They present the rationale for the increasing frequency and magnitude of extreme weather events in the near future, and discuss recent findings on meteorological extremes. They suggest that biodiversity and turnover rates can be used to indicate forthcoming risks. Of particular importance are the interactions in ecological communities, especially insect outbreaks.

Uncommon floods or droughts ecologically are important in resetting or altering physical and chemical conditions underpinning the long-term development of biotic communities along rivers. Naiman et al. present the theoretical rationale for maintaining flow variability to sustain ecological communities and processes [19]. They illustrate the importance of flow variability in two case studies, one from a semi-arid savanna river in South Africa and the other from a temperate rainforest in North America. Determining the discharge patterns needed for environmental sustainability challenges scientists in a world where rivers experience human-altered flow regimes relative to their natural state. The authors highlight that rivers can deliver ecosystems goods and services to society only if ecologically-appropriate flow variability is maintained.

In this perspective, knowledge of past catastrophic events improves flood risk mitigation policy. It provides additional information on uncommon events and helps explain how society reacts to catastrophic events. Coeur and Lang review flood management strategies of European cities during previous centuries [5]. Their collaboration between a hydrologist and a historian on extreme floods lead them to promote the use of historical information for flood risk management. This is accomplished through:

ou non, d'une *pool* régional commun ; la construction par phylogénie des propriétés structurelles et fonctionnelles des communautés et métacommunautés, et le contrôle de leur évolution dans le temps.

Lister et Stuart analysent la réponse des grands mammifères au changement climatique, lors de la transition du dernier stade glaciaire à l'actuel interglaciaire, environ 25–10 ka [16]. Cette réponse s'est produite par l'intermédiaire du remplacement d'une mosaïque de végétation steppe-toundra eurasiennne par une toundra à l'extrême nord et une forêt plus au sud, affectant d'une façon dramatique des espèces telles que le rhinocéros laineux, le mammoth laineux et l'élan irlandais. Les réductions des aires de distribution ont correspondu à des processus géographiquement complexes, s'étendant sur des milliers ou des dizaines de milliers d'années, souvent accompagnés de perte de variabilité génétique et, probablement, de flexibilité adaptative. De petites zones de refuge ont permis à quelques espèces de survivre pendant des milliers d'années avant de s'éteindre. La survie et l'expansion possible des espèces en survie ont pu dépendre des densités de populations dans les aires d'origine, des taux de dispersion par rapport à la vitesse de transformation des habitats, et des conditions de l'environnement des aires d'arrivée – particulièrement la présence de compétiteurs ou de prédateurs, y compris humains. La dispersion peut avoir été impossible, quand les aires d'origine et d'arrivée étaient séparées par des aires d'habitats impropres, une situation similaire à la situation actuelle dans un environnement modifié par l'homme.

3. Écosystèmes

Discutant les effets des événements météorologiques extrêmes sur les écosystèmes, Jentsch et Beierkuhnlein rappellent que les modifications de ces événements affectent plus fortement le fonctionnement des écosystèmes que celles des tendances globales des conditions moyennes [12]. Ils présentent les raisons d'un accroissement de la fréquence et de l'ampleur des événements météorologiques extrêmes dans un avenir proche et les résultats récents obtenus sur les extrêmes météorologiques. Ils suggèrent une possibilité d'indication des risques par la biodiversité et les taux de renouvellement. Les interactions dans les communautés écologiques, notamment les explosions des populations d'insectes prennent ici une importance particulière.

Les crues et les sécheresses exceptionnelles contribuent de manière importante à la remise à zéro des conditions physiques et chimiques soutenant le développement à long terme des communautés

- the development of a regional flood data base, with both historical and current data to provide feedback on recent events and to improve the flood risk education and awareness;
- the commitment to keep a persistent/perennial management of a reference network of hydrometeorological observations.

This provides reference data for climate change studies for past climatic variability and for calibration/validation of Global Circulation Models.

Besides rivers, forests are another type of ecosystem frequently considered for their dynamics in relation to extreme climatic events. Bréda and Badeau focus on tree growth and dieback due to climate or insect outbreaks [4]. They show that forest tree species exhibit contrasting responses to climatic hazards, depending on their sensitivity to water shortages or temperature hardening. A drought or a pest disease is an extreme event if visible and durable symptoms are induced (leaf discoloration, mortality of perennial organs, tree dieback and mortality). These symptoms, lagging one or several years after a climatic event, are illustrated from specific cases of forest decline in progress since the 2003 European drought or since previous severe droughts in France. They conclude that a coupled approach linking dendrochronology and ecophysiology assists in accessing the vulnerability of forest stands, and suggest management practices to mitigate extreme drought and cope with selective mortality.

4. Humans

Historic human populations have more or less resisted numerous adverse events linked to climate changes. Leridon reviews information on the world's population over the last 70,000 years and possible factors influencing its size [14]. Well-documented episodes of climate change, wars, famines or epidemics have likely induced short-term reductions in the total population, but adaptation and recovery mechanisms allowed populations to surmount periods of decline. The greatest danger for a population was most often not climate but epidemics, wars and famines. These often occurred simultaneously or in rapid succession. Current projections indicate a further growth of the population from 6.5 billion today to ca 9 billion in 2050, and a possible stabilization of ca 10 billion by the end of the century. At the moment, there is no way of estimating whether severe climatic events will result in catastrophic effects on population, although one may expect

biotiques le long des rivières. Naiman et al. présentent les raisons théoriques du maintien de la variabilité du débit en deux études de cas, une à partir d'une rivière semi-aride de la savane en Afrique du Sud et l'autre à partir de cours d'eau de la forêt pluviale en Amérique du Nord [19]. Déterminer les régimes de débit nécessaires à la durabilité environnementale représente un véritable défi, dans un monde où ces régimes ont été altérés par rapport à leurs états naturels. Les auteurs soulignent que les rivières ne peuvent offrir des biens et services à la société, que si des régimes de débit écologiquement appropriés sont maintenus.

Dans cette perspective, la connaissance des événements catastrophiques historiques peut inspirer les politiques d'atténuation des risques d'inondation. Elle fournit une information supplémentaire sur les événements peu communs et permet d'expliquer comment la société a réagi à ces événements. Cœur et Lang analysent la gestion des crues de villes européennes au cours des derniers siècles [5]. Cette analyse commune d'un hydrologue et d'un historien conduit à promouvoir l'utilisation d'une information historique pour la gestion des risques de crues par :

- le développement d'une base régionale des crues, comprenant à la fois des données historiques et actuelles, afin d'acquérir un bon retour d'information sur les événements récents et d'améliorer l'éducation et la prise de conscience du risque de crue ;
- l'engagement de conserver un réseau pérenne de référence des observations météorologiques, afin de fournir des données de référence pour des études de changement climatique, à la fois sur la variabilité climatique du passé et sur la calibration/validation des modèles globaux de circulation.

À côté des rivières, les forêts représentent un autre type d'écosystèmes dont la dynamique est souvent considérée en rapport avec les événements climatiques extrêmes. Bréda et Badeau concentrent leur étude sur la croissance et le dépérissement des arbres à la suite d'aléas climatiques ou de ravageurs [17]. Ils rappellent que les espèces d'arbres forestiers présentent des réponses contrastées aux aléas climatiques, en fonction de leur sensibilité aux déficits en eau ou à la sévérité des températures. Une sécheresse ou une maladie due à des ravageurs est un événement extrême, si des symptômes durables sont induits (décoloration des feuilles, mortalité d'organes pérennes, dépérissement et mortalité des arbres). Ces symptômes, qui apparaissent une ou plusieurs années après un événement climatique, sont illustrés par des cas spécifiques de déclin en cours

an increase in the likelihood of new international migrations.

Martin also proposes that epidemics are emblematic of extreme events but that humans may control them by preventive measures [17]. However, even when tools as effective as vaccines are available, the rapidity of the reaction after the initial cases and the coordinated and combined action of microbiologists and epidemiologists are equally important determinants of spread. Avian flu virus and cases of dengue virus introduction provide contemporary examples of prevention of epidemics, including a vector-borne pathogen. The Global Outbreak Alert and Response Network (GOARN) – collaboration between existing institutions and networks that pool their human and technical resources to detect, alert and fight outbreaks – has been especially effective in the regard.

Another danger for populations is famine induced by low harvests. Fraser et al. [8] focus on how harvests in China's eastern provinces were sensitive to drought between 1960 and 2000. Surprisingly, few empirical studies or predictive models quantify the reasons why harvests may or may not be sensitive to changes in environmental conditions. Factors contributing to harvest sensitivity result from individual decisions, which depend on demographic, economic and public policy considerations. The complexity of interactions is difficult to model in any sort of a predictive way. Examining the relation between rainfall and grain harvest anomalies in eastern China, the authors take a preliminary step at quantifying the underlying characteristics sensitive to below normal precipitation. On the one hand, issues regarding rural demographics are important in determining the link between agricultural productivity and rainfall for rice harvests. On the other hand, agricultural management issues (such as mechanization) are more important for maize and wheat harvests.

5. The future

Examining the possible future of social and ecological systems as well as future extreme events are two aspects of the same challenge. Mermet suggests that preparing for extreme events means preparing for a future that will encompass both extreme events and profound transformations in ecosystems and societies [18]. It is important to realize that natural events or transformations expected to occur 50 years or more from now will occur in a world fundamentally changed from the one known today. In addition, the stochastic

depuis la sécheresse de 2003, ou attribués à des sécheresses sévères antérieures. Les auteurs préconisent une approche liant la dendrochronologie et l'écophysiologie dans l'évaluation de la vulnérabilité des parcelles forestières et suggèrent des pratiques de gestion pour atténuer les effets des sécheresses extrêmes et faire face à une mortalité sélective.

4. Humains

Les populations humaines ont plus ou moins résisté dans le passé à de nombreux événements adverses liés à des changements climatiques. Leridon analyse les données disponibles sur la population mondiale des derniers 70 000 ans et quelques facteurs possibles l'influençant [14]. Des épisodes bien documentés de changement climatique, guerres, famines ou épidémies ont très probablement induit des diminutions soudaines de la population globale, mais des mécanismes d'adaptation et de rétablissement ont permis aux populations de surmonter les périodes de déclin. Le plus grand danger pour une population venait le plus souvent, non du climat, mais d'épidémies, de guerres et de famines, se produisant simultanément ou se succédant rapidement. Les principales projections indiquent une croissance de la population mondiale d'aujourd'hui 6,5 milliards à neuf milliards en 2050 et une stabilisation possible autour de dix milliards à la fin du siècle. Actuellement, nous n'avons pas de moyens pour estimer si des événements climatiques sévères produiront des effets catastrophiques sur la population, mais nous pouvons nous attendre à ce qu'ils entraînent de nouvelles migrations internationales.

Martin présente les épidémies comme emblématiques des événements extrêmes que les humains peuvent contrôler par des mesures préventives [17]. Cependant, même quand des moyens aussi efficaces que des vaccins sont disponibles, la rapidité de la réaction après les premiers cas, ainsi que l'action coordonnée et combinée des microbiologistes et des épidémiologistes sont déterminantes. L'introduction des virus et des cas de grippe aviaire et de dengue fournissent des exemples des possibilités de prévention d'épidémies causées par des maladies infectieuses. Paul Martin décrit le « Global Outbreak Alert and Response Network (GOARN) » – mis en place par l'OMS, c'est un réseau de collaborations entre institutions existantes et leurs propres réseaux qui mettent en commun leurs potentiels humains et leurs ressources techniques pour combattre les épidémies.

Un autre danger pour les populations est la famine induite par de mauvaises récoltes. L'article de Fraser

nature of extreme events severely limits the use of narrowly predictive modeling and calls for the opening of wide conjectural investigation and debate. Preparing for extreme events is inevitably, at least in part, preparing for unexpected and long lasting consequences.

The papers of this special issue strengthen the theoretical and practical bases in the various research domains related to extreme climatic events. They highlight two necessary improvements frequently emphasized in the increasingly abundant literature on the topic [23]: to integrate the theoretical foundations of the various research domains, and to fill the gap between advancing science and technology, and society's ability to capture and use the advances. Lessening the tolls of hazards and disasters on societies and ecosystems points to the necessity for proactive, collaborative efforts between researchers and practitioners. It also urges for a breakthrough in the culture and strategy of addressing crises: *"today's events occur in contexts that have become fundamentally unstable, in continuous mutation; connectivity is the leitmotiv of our strengths and weaknesses; speed is the name of the game. Any event, not only 'Category 5' disruptions, can trigger the unthinkable domino effects of conflation"* [13]. Hopefully, this special issue offers a step toward the urgent need for collaborative efforts to improve our understanding of extreme climatic events and to enhance our ability to reduce society's vulnerability in a rapidly changing world.

Acknowledgments

The papers of this special issue of the C. R. Geoscience were presented at the colloquium *Ecosystems and Extreme Climatic Events* of the Academy of Sciences, held at the Foundation Simone and Cino Del Duca, Paris, on 4–6 July 2007. The scientific committee of this colloquium³ expresses its warm thanks to the Foundation, as well as to the authors, participants, and Service des Colloques of the Academy of Sciences. The Committee is also very grateful to the reviewers for advice, thereby improving the quality of the papers, and to the Scientific Secretariat of Geoscience for helping in the realization of this special issue. I am particularly grateful to

³ The Scientific Committee included: Jean-Claude André, Pierre Auger, Anny Cazenave, Claude Combes, Henri Décamps, Jean Der-court, Bernard Derrida, Lucien Laubier⁽⁺⁾, Yvon Le Maho, Ghislain de Marsily, Michel Petit, Claudine Schmidt-Lainé, Philippe Taquet.

et al. [8] porte sur la sensibilité des récoltes de plusieurs provinces de la Chine orientale entre 1960 et 2000. Étonnamment, peu d'études empiriques ou de modèles prédictifs donnent une analyse quantitative des raisons de la plus ou moins grande sensibilité des récoltes aux changements des conditions environnementales. Les facteurs qui contribuent à la sensibilité des récoltes résultent de décisions individuelles qui elles-mêmes dépendent de considérations démographiques, économiques et de politique publique, ce qui est difficile à modéliser de manière prédictive. L'examen des relations entre les précipitations et les récoltes anormales dans l'Est de la Chine conduit les auteurs à une étape préliminaire de la caractérisation de la sensibilité régionale à des précipitations inférieures à la normale. Pour les récoltes de riz, des questions de démographie rurale contribuent à déterminer les liens entre la productivité agricole et les précipitations. Pour les récoltes de maïs et de blé, des questions de gestion agricole (telles que la mécanisation) paraissent plus importantes.

5. Avenirs

Étudier les futures conditions sociales et écologiques possibles et les futurs événements extrêmes sont deux aspects d'un même défi. Mermet suggère que se préparer aux événements extrêmes signifie se préparer à un avenir qui comprendra à la fois des événements extrêmes et de profondes transformations des écosystèmes et des sociétés [18]. Il importe de réaliser que les événements naturels ou les transformations attendus pour les cinquante prochaines années ou plus se produiront dans un monde profondément transformé par rapport à celui que nous connaissons aujourd'hui. De plus, la nature stochastique des événements extrêmes limite sévèrement l'usage de modélisations étroitement prédictives et appelle à ouvrir un ample débat d'investigation conjecturale : se préparer aux événements extrêmes est inévitablement, pour une part au moins, se préparer à des conséquences inattendues et se prolongeant sur le long terme.

Les articles de ce numéro spécial soulignent la réalité d'un renforcement des bases théoriques en divers domaines de la recherche, liés aux événements climatiques extrêmes. Ils appellent deux améliorations dont la nécessité est fréquemment soulignée dans la littérature consacrée à ce sujet [23] :

- intégrer les bases théoriques des divers domaines de recherche ;

Robert J. Naiman for his general remarks and help for the English version of this foreword.

Henri Décamps

*ÉcoLab, laboratoire d'écologie fonctionnelle,
UMR 5245, CNRS-UPS-INPT, 29, rue Jeanne-Marvig,
31055 Toulouse cedex, France
E-mail address: hdecamps@cict.fr
<http://www.ecolab.ups-tise.fr>*

- et combler le fossé existant entre, d'une part la science et la technologie, et d'autre part l'aptitude de la société à s'emparer des avancées obtenues et à les utiliser.

Diminuer le poids des aléas et des catastrophes sur la société et les écosystèmes passe par des efforts de collaboration entre chercheurs et décideurs. Passe aussi par une percée culturelle et stratégique sur la question des crises :

« les événements d'aujourd'hui se produisent dans des contextes devenus fondamentalement instables, en mutation continue ; connectivité est le leitmotiv de nos forces et de nos faiblesses ; rapidité est le nom du jeu. Tout événement, non seulement les perturbations de « catégorie 5 », peut déclencher des effets dominos impensables » [13].

Puisse ce numéro spécial offrir une étape vers une meilleure compréhension collective des événements climatiques extrêmes, partant d'une meilleure aptitude à diminuer la vulnérabilité des sociétés humaines dans un monde en transformation rapide.

Remerciements

Les articles de ce numéro spécial de *Géoscience* ont été présentés lors du colloque *Écosystèmes et événements climatiques extrêmes* de l'Académie des sciences, à la Fondation Simone et Cino del Duca, Paris, les 4–6 juillet 2007. Le comité scientifique de ce colloque⁶ exprime ses vifs remerciements à la Fondation, ainsi qu'aux auteurs, aux participants et au Service des Colloques de l'Académie des Sciences. Le comité est aussi particulièrement reconnaissant aux lecteurs qui ont vérifié et amélioré la qualité des articles, et au Secrétariat Scientifique de *Géoscience* pour une aide précieuse dans la réalisation de ce numéro spécial. J'ajoute mes sincères remerciements à Robert J. Naiman pour ses remarques et l'amélioration de la version anglaise de cet avant-propos.

Henri Décamps

*ÉcoLab, laboratoire d'écologie fonctionnelle,
UMR 5245, CNRS-UPS-INPT, 29, rue Jeanne-Marvig,
31055 Toulouse cedex, France
Adresse e-mail : hdecamps@cict.fr
<http://www.ecolab.ups-tise.fr>*

⁶ Le comité scientifique comportait: Jean-Claude André, Pierre Auger, Anny Cazenave, Claude Combes, Henri Décamps, Jean Der-court, Bernard Derrida, Lucien Laubier^(†), Yvon Le Maho, Ghislain de Marsily, Michel Petit, Claudine Schmidt-Lainé, Philippe Taquet.

References

- [1] J.C. André, J.F. Royer, F. Chauvin, Les cyclones tropicaux et le changement climatique, *C.R. Geoscience* (2008), doi:10.1016/j.crte.2008.07.003.
- [2] P. Bak, C. Tang, K. Wiesenfeld, Self-organized criticality, *Phys. Rev. A* 38 (1988) 364–374.
- [3] M. Beniston, D.B. Stephenson, O.B. Christensen, C.A.T. Ferro, C. Frei, S. Goyette, K. Halsnaes, T. Holt, K. Jylhä, B. Koffi, J. Palutikof, R. Schöll, T. Semmler, K. Woth, Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate projections, *Clim. Change* 81 (2007) 71–95.
- [4] N. Bréda, V. Badeau, Forest tree responses to extreme climatic and biotic events: towards a selection according to hazard tolerance, *C.R. Geoscience* (2008), doi:10.1016/j.crte.2008.08.003.
- [5] D. Cœur, M. Lang, Use of documentary sources on past flood events for flood risk management and land planning, *C.R. Geoscience* (2008), doi:10.1016/j.crte.2008.03.001.
- [6] C. Combes, The role of extreme events in evolution, *C.R. Geoscience* (2008), doi:10.1016/j.crte.2008.01.003.
- [7] G. Escarguel, S. Legendre, B. Sigé, The Palaeogene mammalian metacommunity of the Quercy and Limagne area (Massif Central, France), *C.R. Geoscience* (2008), doi:10.1016/j.crte.2007.11.005.
- [8] E.D.G. Fraser, M. Termansen, N. Sun, D. Guan, E. Simelton, P. Dodds, K. Feng, Y. Yu, Quantifying socio-economic characteristics of drought-sensitive regions: evidence from Chinese provincial agricultural data, *C.R. Geoscience* (2008), doi:10.1016/j.crte.2008.07.004.
- [9] D.G. Goodin, Climate committee takes aim at extreme climatic events, *LTER Network Newslett.* (2004) <http://intranet.lternet.edu>.
- [10] J. Guiot, C. Hély-Alleau, H. Wu, C. Gauchere, Interactions between vegetation and climate variability: what are the lessons of models and paleovegetation data, *C.R. Geoscience* (2008), doi:10.1016/j.crte.2008.01.001.
- [11] V.P. Gutschick, H. BassiriRad, Extreme events as shaping physiology, ecology, and evolution of plants : toward a unified definition and evaluation of their consequences, *New Phytol.* 160 (2003) 21–42.
- [12] A. Jentsch, C. Beierkuhnlein, Research frontiers in climate change: effects of extreme meteorological events on ecosystems, *C.R. Geoscience* (2008), doi:10.1016/j.crte.2008.07.002.
- [13] P. Lagadec, Over the edge of the world, *Crisis Response J.* 3 (2007) 48–49.
- [14] H. Leridon, Human populations and climate: Lessons from the Past and Future Scenarios, *C.R. Geoscience* (2008), doi:10.1016/j.crte.2008.06.005.
- [15] H. Le Treut, G. Gastineau, L. Li, Uncertainties attached to global or local climate changes, *C.R. Geoscience* (2008), doi:10.1016/j.crte.2008.06.003.
- [16] A.M. Lister, A.J. Stuart, The impact of climate change on large mammal distribution and extinction: evidence from the last glacial/interglacial transition, *C.R. Geoscience* (2008), doi:10.1016/j.crte.2008.04.001.
- [17] P. Martin, Epidemics: lessons from the past and current patterns of response, *C.R. Geoscience* (2008), doi:10.1016/j.crte.2007.12.005.
- [18] L. Mermet, In preparation of Future and Extreme Situations: orientations for affirmed conjectural research on social and ecological systems, *C.R. Geoscience* (2008), doi:10.1016/j.crte.2008.04.004.
- [19] R.J. Naiman, J.J. Latterell, N.E. Pettit, J.D. Olden, Flow Variability and the Biophysical Vitality of River Systems, *C.R. Geoscience* (2008), doi:10.1016/j.crte.2008.01.002.
- [20] S. Planton, M. Déqué, F. Chauvin, L. Terray, Expected impacts of climate change on extreme climate events, *C.R. Geoscience* (2008), doi:10.1016/j.crte.2008.07.009.
- [21] D. Sarewitz, R. Pielke Jr., Extreme events: a research and policy framework for disasters in context, *In. Geol. Rev.* 43 (2001) 406–418.
- [22] J.P. Sethna, Crackling Noise and Avalanches: Scaling, Critical Phenomena, and the Renormalization Group, *Arxiv preprint cond-mat/0612418* (2006).
- [23] D. Wenger, Hazards and disasters research: how would the past 40 years rate? – an invited comment, *Nat. Hazards Obs.* 31 (2006) 1–3.