

External geophysics, climate and environment

# Climatic history of the African and Arabian deserts

## Histoire climatique des déserts d’Afrique et d’Arabie

### Avant-propos

La fascination exercée par les grands déserts du Sahara et du Rub-al-Khali remonte aux récits des géographes de l’Antiquité, comme Strabon au 1<sup>er</sup> siècle AD qui décrit l’Arabie méridionale ou de géographes arabes du Moyen Âge, comme Ibn Batouta qui traversa le Soudan pour atteindre Tombouctou au 14<sup>e</sup> siècle : la splendeur du royaume perdu de Saba et des cités caravanières du Sahara, la richesse du commerce des épices, du sel et des esclaves ont longtemps alimenté une vision romantique d’un désert à la fois riche et hostile ; vision renforcée par les nombreuses découvertes archéologiques et paléontologiques, ainsi que par les superbes gravures rupestres des massifs sahariens qui témoignent de la présence de populations néolithiques pratiquant l’élevage et la culture des céréales, et d’une faune abondante et variée de grands animaux : éléphants, girafes, hippopotames, crocodiles, tortues, gazelles, antilopes, buffles, bubales . . . en bordure de grands lacs actuellement asséchés. On sait à présent que les déserts n’ont pas toujours été les vastes étendues arides et inhospitalières que l’on connaît aujourd’hui. À quand remonte leur origine, comment les variations du climat y ont-elles été enregistrées et comment les hommes s’y sont-ils adaptés ? Répondre à ces questions était l’enjeu du colloque qui a été organisé par l’Académie des sciences à Paris au mois de septembre 2008 et qui a présenté des avancées récentes en termes d’acquisition de données et de modélisation climatique. Les avancées françaises actuelles dans le domaine se situent dans la longue lignée des recherches archéologiques et paléontologiques menées, depuis les années cinquante par

### Foreword

Fascination for the vast Sahara and Rub-al-Khali deserts is as old as the accounts of the geographers of Antiquity such as Strabon who described southern Arabia during the first century AD or the Middle Age geographers, such as Ibn Batouta who crossed Sudan as far as Tombuktu during the 14th century. The splendours of the Saba realm and the Saharan caravan sites, the richness of spice, salt and slave-trades have nourished for a long time a romantic vision of a desert, both rich and hostile at once. That vision was strengthened by abundant archaeological discoveries and, particularly, the famous rock engravings and paintings in the Saharan massifs, giving evidence to the presence of numerous Neolithic populations who practised husbandry and cereal cultivation, and palaeontological findings testifying to the presence of a highly diverse fauna with elephants, giraffes, hippos, crocodiles, turtles, gazelles, antelopes, buffalos, and bubales around the edges of presently dried bodies of water. It is now well known that deserts were not always the vast arid and inhospitable areas we observe today. The current French research on the history of the tropical deserts from northern Africa and the Arabian peninsula follows a tradition initiated since the 1950s by great archaeologists and palaeontologists such as Camille Arambourg, Henriette Alimen, Jean Chavailon, Yves Coppens in the Sahara, Jean-Pierre Tixier, Marie-Louise Inizan in Arabia and by great naturalists and paleo-environmentalists such as Theodore Monod, Hugues Faure – who published as early as 1964, one of the first synthetic papers upon Quaternary Saharan lakes

Camille Arambourg, Henriette Alimen, Jean Chavaillon, Yves Coppens au Sahara, Jean-Pierre Tixier et Marie-Louise Inizan en Arabie, pour ne citer que quelques unes des personnalités scientifiques qui ont marqué notre histoire ; mais également des recherches environnementales menées par Théodore Monod, Hugues Faure qui publiait dès 1964 un des tout premiers articles de synthèse sur les lacs quaternaires du Sahara, Nicole Petit-Maire, Pierre Rognon, Françoise Gasse, Jean-Charles Fontes et Paul Sanlaville, dont les travaux ont permis d'exceptionnelles avancées dans le domaine de la connaissance des déserts d'Afrique et d'Arabie.

*L'évolution des déserts d'Afrique et d'Arabie est étroitement associée au fonctionnement des moussons africaine et indienne*

Dans son introduction au colloque, S. Janicot dresse le bilan des connaissances actuelles sur le fonctionnement de la mousson d'été en Afrique du Nord et en Inde. S. Janicot [10] passe en revue toute l'étendue des mécanismes impliqués dans la variabilité climatique aux échelles intrasaisonnière et interannuelle, indispensables pour appréhender la vulnérabilité et l'adaptation des populations au changement climatique, mécanismes pour certains encore mal connus ou mal contraints par les modèles. Cette synthèse met également en évidence toute l'importance des rétroactions des surfaces continentales et océaniques sur la circulation atmosphérique globale.

*Les déserts aux échelles de temps géologiques*

Les témoins sédimentaires du désert du Kalahari et du Tchad montrent une origine ancienne des zones désertiques d'Afrique : la désertification du Kalahari aurait débuté dès la limite Oligocène-Miocène il y a 17–16 Ma, bien avant celle du Tchad où les premiers témoignages d'aridité sont datés de 8–7 Ma. À partir de ce constat, B. Senut et al. [16], analysent les conséquences de la désertification sur la migration et l'évolution des animaux et des plantes. M. Schuster et al. [15] centrent leur analyse sur les variations de l'environnement associé aux sites paléontologiques étudiés par la Mission paléanthropologique au Tchad. Car le niveau du Lac Tchad n'a cessé de fluctuer, au cours des temps, de sa surface actuelle, très réduite de quelques milliers de kilomètres carrés seulement, jusqu'à une surface immense, d'environ 115 000 km<sup>2</sup> au Quaternaire. On a alors parlé de « méga-lac ». C'est, avec d'autres facteurs environnementaux, tout l'impact de ces étendues lacustres considérables sur le climat de

– Nicole Petit-Maire, Pierre Rognon, Françoise Gasse, Jean-Charles Fontes et Paul Sanlaville.

When were tropical deserts established? Were they sensitive to global climate change? How has mankind adapted in such arid environments? Answering these questions was the aim of the colloquium held at the “*Académie des sciences*”, Paris, in September 2008. The colloquium presented the most recent advances in data acquisition about desert areas from northern Africa and past climate and environmental modelling.

*Evolution of African and Arabian deserts is closely linked to the functioning of African and Indian monsoons*

In his introduction to the Colloquium, S. Janicot [10] reviewed the whole range of mechanisms involved in monsoon variability at intra-seasonal and inter-annual time scales, essential for understanding the vulnerability and adaptation of populations to climate change. Some of these mechanisms are poorly known or badly constrained by models. In particular, Janicot's synthesis highlights the major role of the retro-actions of continental and oceanic surfaces on global atmosphere circulation.

*Deserts on geological time scales*

Sedimentological evidence from the Kalahari and Chad deserts reveals the ancient origin of the desert regions in Africa. The onset of Kalahari aridification could be ascribed to the Oligocene-Miocene boundary, some 17–16 Ma ago, far before that of Chad, where the first evidence of aridity is dated back to 8–7 Ma ago. On the basis of such observations, B. Senut et al. [16] analyze the consequences of aridification on migration and evolution of animals and plants. M. Schuster et al. [15] focus their analysis on the environmental variations connected to the palaeontological sites studied by the “*Mission paléo-anthropologique au Tchad*”. The level of Lake Chad has never stopped fluctuating through time, from the huge surface of Mega-Lake Chad reaching up to 115 000 km<sup>2</sup> during the Quaternary period, to its present-day surface of only a few thousand square kilometres. Together with other environmental factors, the impact of that huge lacustrine surface area influenced the monsoonal climate, as demonstrated by P. Sepulchre et al. [17]. Using the LMDz model of atmospheric circulation, the authors show that the Mega-Lake could have had a negative effect on the hydrological balance, because

mousson, qui est analysé par P. Sepulchre et al. [17]. Ces auteurs montrent, à l'aide du modèle de circulation atmosphérique LMDz, que le méga-lac a pu avoir un effet négatif sur la balance hydrologique, la convection étant réduite en raison de la présence d'une grande surface froide et l'eau évaporée n'étant pas recyclée au sein du bassin.

#### *Les déserts au temps des alternances glaciaires-interglaciaires*

La discontinuité des séries sédimentaires représente la principale limite à nos connaissances des milieux aujourd'hui désertiques. À ceci s'ajoutait, il y a encore quelques années, une autre contrainte, méthodologique cette fois, liée aux difficultés de dater directement les archives paléoenvironnementales anciennes ou non accessibles par le radiocarbone. F. Preusser [14] focalise son attention sur l'histoire des systèmes dunaires, qui reflète celle des sécheresses qui ont marqué l'histoire environnementale de la Péninsule arabique. La datation par luminescence des dunes lui permet de remonter à la pénultième glaciation correspondant au stade isotopique 6 des séquences marines. Pour F. Preusser, l'édification des massifs dunaires n'est pas seulement le reflet de la sécheresse du climat ; elle résulte également des variations du niveau marin qui, en s'abaissant, entraîne la mise à nu de grandes étendues d'où provient le matériel éolien. Si F. Preusser s'intéresse prioritairement aux archives des périodes arides de la Péninsule arabique, D. Fleitmann et A. Matter [4] centrent leur analyse sur celles des périodes humides, les spéléothèmes. Les grottes d'Oman et du Yémen ont en effet livré des enregistrements uniques des périodes humides qui ont ponctué les derniers cycles glaciaires-interglaciaires depuis 330 000 ans. La croissance des spéléothèmes enregistre avec une très grande précision toutes les caractéristiques des précipitations (leur composition isotopique) à l'origine de la dissolution de la calcite.

#### *La période humide holocène*

C'est dans les zones désertiques, que la période holocène revêt son aspect le plus étonnant. L'intensification du cycle saisonnier de l'insolation dans l'hémisphère nord a conduit à une activité renforcée de la mousson au cours de cette période. L'utilisation de deux séries de simulations effectuées avec le modèle couplé IPSL-CM4 et sa composante atmosphérique pour les climats de 9500 ans BP, 6000 ans BP et des périodes pré-industrielles a permis à C. Marzin et P. Braconnot [12] d'étudier le rôle

convection was reduced as a result of a large cold area and the fact that evaporated water was not recycled in the basin itself.

#### *Deserts during the interglacial-glacial alternations*

The discontinuity of sedimentary series is the main limitation of our knowledge on past desert environments. Added to that, only few years ago, another constraint, methodological, was related to the difficulties of dating paleoenvironmental archives, either too old or not datable by radiocarbon techniques.

F. Preusser's contribution [14] focuses on the history of dune systems reflecting the droughts which punctuated the palaeoenvironmental history of the Arabian Peninsula. Luminescence dating of dunes allows the author to go back to the penultimate glaciation corresponding to the marine isotopic stage 6. For Preusser, however, sand accumulation on land is not only linked to climate dryness, as it is also favoured by the expansion of large bare continental land masses during periods of low sea level. Whilst Preusser is mainly interested in the records of arid periods, D. Fleitmann and A. Matter [4] focus their analysis on speleothems from Oman and Yemen which yielded unrivalled archives of humid periods over the last 330 000 years. The growth of speleothems very precisely records, especially through the isotopic composition of calcite, all the characteristics of rainfall, allowing one to identify the origin.

#### *The Humid Holocene Period*

It is in the desert areas that the Holocene period reveals its most striking aspect. An intensified seasonal cycle of insolation in the Northern Hemisphere led to strengthened monsoon activity during this period. Using two sets of simulations performed with the IPSL-CM4 coupled model and its atmospheric component for the climates of 9500 yr BP, 6000 yr BP and of the pre-industrial periods, C. Marzin and P. Braconnot [12] investigate the role of ocean feedback on the amplitude and timing of the African, Indian and East-Asian monsoons and reveal strong differences between the three systems during the Holocene.

The increase in Atlantic monsoon rainfall during the Early Holocene was responsible for the northward migration of tropical plants from savannahs and gallery-forests (J. Watrin et al. [18]). These plants reached the desert while co-existing with steppic plants of (semi-) desert type. Which biomes have that

des surfaces océaniques sur l'amplitude et le calendrier des moussons africaine, indienne et est – asiatique et de révéler les fortes différences de ces trois systèmes au cours de l'Holocène. En Afrique sèche, J. Watrin et al. [18] démontrent que l'augmentation de l'activité de la mousson atlantique a eu pour effet de provoquer la migration des plantes tropicales des savanes et forêts galeries vers le nord et leur intrusion dans des zones qui étaient restées steppiques. Elles auraient alors co-existé des plantes aujourd'hui appartenant à des aires dissociées. Quels biomes cet agencement exceptionnel, sans analogue actuel, aurait-il alors formés ? Sous quelles contraintes climatiques ? C'est l'objet de l'article C. Hély et al. [7], qui utilisent plusieurs scénarios climatiques pour modéliser la répartition des biomes d'Afrique nord-tropicale au cours de l'Holocène. M. Cremaschi et A. Zerboni [3] illustrent, au Fezzan en Libye, l'importance du changement paléogéographique et montrent la formation de grands lacs et systèmes fluviaux dans un secteur aujourd'hui totalement désertique. Ces auteurs analysent les conséquences de ces changements paléo-environnementaux pour les populations humaines. Au fur et à mesure de l'aridification du climat, alors que l'accès aux ressources en eau devenait de plus en plus difficile, les populations néolithiques du Fezzan ont dû se concentrer autour des oasis et définir des stratégies de subsistance, au moyen d'une organisation sociale de plus en plus complexe. C'est également cet aspect du développement des sociétés humaines face à l'aridité du climat qui est abordé par A. Holl [8] à Tichitt, dans le Sud de la Mauritanie. Ce site, ou plutôt cet ensemble de sites, d'une exceptionnelle variété archéologique, paléontologique et paléoenvironnementale donne en effet accès à des informations très précises sur l'utilisation des ressources naturelles par les populations néolithiques. On voit également, à Tichitt, à quel point les conditions environnementales, et notamment la morphologie du relief, ont influencé les sociétés humaines. Il en est de même au Yémen où R. Crassard [2] a pu participer à des fouilles exceptionnelles qui ont fourni un matériel lithique remarquable. La spécificité des industries découvertes dans l'Hadramawt est très certainement liée à l'extrême fragmentation du relief, qui a fait de cette région une véritable zone de développement endémique, à l'abri de toute influence extérieure.

Comment les sociétés perçoivent-elles le changement climatique et y réagissent-elles ? C'est l'objet des réflexions menées par S. Cleuziou [1] qui passe en revue l'archéologie d'un des secteurs aujourd'hui les mieux documentés de la Péninsule arabique, l'Oman. Sur la côte omanaise du Ja'alan, fouillée par son équipe depuis 1985, plus de 4000 structures archéologiques ont été

exceptionnel arrangement, without any present-day analogue, formed? Under which climatic constraints did they appear? To answer those questions is the purpose of the article by C. Hély et al. [7] who use several climatic scenarios for modelling the distribution of tropical North-African biomes during the Holocene Period. M. Cremaschi and A. Zerboni [3] illustrate the Holocene Humid Period with examples from Fezzan, Libya, where great lakes and fluvial systems formed. The authors analyse the influence of the Holocene Humid Period and the subsequent increase in aridity on human activities. As soon as the access to water resources became progressively more difficult, the Neolithic populations of Fezzan concentrated around oases and defined specific subsistence strategies through complex social organization. Such a development of human societies, coping with climatic aridity, is also tackled by A.F.C. Holl [8] at Tichitt, in South Mauritania. The site, or group of sites, with exceptional archaeological, palaeontological and palaeoenvironmental diversity, provides very precise information on the use of natural resources by Neolithic populations. At Tichitt, one can also observe how important was the influence of environmental conditions, and particularly, relief morphology, on human societies. Likewise, the exceptional excavations in the Hadramawt region, Yemen, provided R. Crassard [2] with a remarkable lithic material, which allowed him to assess that the specificity of the industries discovered was very likely linked to the extreme fragmentation of the relief. The latter induced a true local endemic development area without any outer influence.

How do societies perceive climate change and react to it? It is S. Cleuziou's objective [1], and he carried out detailed archaeological studies of one of the best documented regions of the Arabian Peninsula, i.e., Oman. On the Omanese coast of Ja'alan, which has been studied since 1985 by Cleuziou's team, more than 4000 archaeological structures were identified (J. Giraud [5]). Their large number and very precise dating allows mapping settlement locations through time and identifying those which were best adjusted to seasonal rainfall variations. However, the mankind–environment relationship cannot be limited to the simple comparison between cultural and environmental (/climate) changes. If Man closely depends upon access to natural resources, he is, nevertheless, able to adapt to extreme conditions of tropical deserts, through complex social and political structures. A purely deterministic approach of the Man–environment relationship would be meaningless.

dénombrées (J. Giraud, [5]). Leur nombre et leur datation très précise permettent de tracer des cartes de localisation de sites d'occupation en fonction du temps, et surtout, d'identifier les sites les plus adaptés aux variations saisonnières du climat. Mais la relation homme – environnement ne peut se résumer à la seule mise, sur une même échelle de temps, des changements culturels et des changements environnementaux. Si l'homme est étroitement dépendant de l'accessibilité aux ressources naturelles, il n'en reste pas moins capable de s'adapter, même aux conditions extrêmes des déserts tropicaux, à l'aide de structures sociales et politiques complexes et une approche uniquement déterministe de la relation homme–milieu serait un non-sens.

#### *La fin de la période humide holocène*

De quand date le désert que nous connaissons aujourd'hui ? Comment les plantes se sont-elles adaptées au passage de conditions humides aux conditions arides de la fin de l'Holocène ? A.-M. Lézine [11] et S. Ivory et A.-M. Lézine [9] apportent, avec les premières données palynologiques à haute résolution et continues des zones désertiques du Tchad, d'Oman et du Pakistan, quelques éléments de réponse : l'adaptation lente des communautés végétales herbacées, l'effet de seuil enregistré par les arbres tropicaux et le rôle de l'eau disponible, non seulement par le biais des précipitations, mais dans le sol sont évoqués pour décrire l'évolution végétale des zones désertiques au cours des six derniers millénaires. C'est le fonctionnement des systèmes hydrologiques que C. Grenier et al. [6], ainsi que P. Maugis et al. [13] se sont attelés à comprendre et modéliser. Il est en effet indispensable, pour reconstituer le climat à partir d'archives sédimentaires, de prendre en compte les zones de recharge des nappes phréatiques ou les écoulements de surface plus ou moins distants du site lacustre étudié et de quantifier le calendrier et les processus de réponse des systèmes hydrologiques au changement climatique. C. Grenier et al. détaillent la première étape d'une modélisation paléohydrologique dans la région des Ouniangas au Nord du Tchad où subsiste un des seuls points d'eau libre du Sahara, en s'intéressant aux écoulements de surface. Le lac Yoa aurait ainsi bénéficié au cours de l'Holocène, non seulement de l'apport des eaux souterraines de l'aquifère nubien comme c'est le cas aujourd'hui, mais aussi de l'apport de rivières depuis les massifs du Tibesti et des Erdis. P. Maugis et al. quant à eux, concentrent leur analyse sur le rôle des fluctuations du niveau marin au cours de l'Holocène, dans le positionnement des nappes

#### *End of the Holocene Humid Period*

When was the present-day desert established? How have plants adapted to the transition between wet and arid conditions at the end of the Holocene? A.-M. Lézine [11] and S. Ivory and A.-M. Lézine [9] contribute to answering these questions, with the first continuous and high resolution palynological records from desert areas in Chad, Oman and Pakistan. The slow adaptation of the continental herbaceous plant communities, the threshold effect recorded by tropical trees, the role of water availability through rainfall and ground waters are analysed to understand the vegetation adaptation to climate change during the last 6 millennia. In arid areas, no reliable palaeoenvironmental and palaeoclimatic reconstructions can be carried out without a precise understanding of the hydrological system, including not only surficial but also underground waters, in order to quantify the response timing and processes leading to climate change. C. Grenier et al. [6] and P. Maugis et al. [13] attempt an understanding and modelling of the hydrology in two specific lake systems of the Sahara and the Sahel. C. Grenier et al. show that, in addition to continuous input from the Nubian Aquifer as nowadays, Lake Yoa (Ouniangas, northern Chad) could have benefited during the Holocene period from river input from distant recharge areas, including the Tibesti Massif and part of the Erdis. In the Niayes coastal region, in Senegal, Maugis et al. analyse the role played by sea level fluctuations in the level of surficial water tables.

In summary, starting from numerous new data on climatic records in deserts and introducing them in atmospheric circulation models, especially monsoons, the present thematic issue relates climate evolution from what was called the "Green Sahara" to the present-day deserts, and the history of aridification with its impact on eco-systems and its consequences for human societies.

Anne-Marie Lézine

*Laboratoire des sciences du climat et  
de l'environnement, UMR1572 CNRS-CEA UVSQ  
Ormes des Merisiers, 91191 Gif-sur-Yvette cedex,  
France*

*E-mail address: [anne-marie.lezine@lsce.ipsl.fr](mailto:anne-marie.lezine@lsce.ipsl.fr)*

phréatiques de surface dans la zone littorale des Niayes du Sénégal.

Ainsi, à partir de nombreuses données nouvelles sur les archives climatiques que recèlent les déserts – Sahara et régions proches de l’Arabie et de l’Inde – et de leur confrontation aux modèles de circulation atmosphériques, en particulier les moussons, ce fascicule thématique retrace l’évolution climatique depuis ce que l’on a appelé « le Sahara vert » jusqu’au désert actuel et l’histoire de l’aridification, son impact sur les écosystèmes et ses implications pour les sociétés humaines.

Anne-Marie Leziné

*Laboratoire des sciences du climat et  
de l’environnement, UMR1572 CNRS-CEA UVSQ  
Ormes des Merisiers, 91191 Gif-sur-Yvette cedex,  
France*

*Adresse e-mail : anne-marie.lezine@lsce.ipsl.fr*

## References

- [1] S. Cleuziou, Extracting wealth from a land of starvation by creating social complexity: a dialogue between archaeology and climate? *C. R. Geosci.* 341 (2009) 726–738.
- [2] R. Crassard, Modalities and characteristics of human occupations in Yemen during the Early/Mid-Holocene, *C. R. Geosci.* 341 (2009) 713–725.
- [3] M. Cremaschi, A. Zerboni, Early to Middle Holocene landscape exploitation in a drying environment: two case studies compared from the central Sahara (SW Fezzan, Libya), *C. R. Geosci.* 341 (2009) 689–702.
- [4] D. Fleitmann, A. Matter, The speleothem record of climate variability in southern Arabia, *C. R. Geosci.* 341 (2009) 633–642.
- [5] J. Giraud, The evolution of settlement patterns in the eastern Oman from the Neolithic to the Early Bronze Age (6000–2000 B.C.), *C. R. Geosci.* 341 (2009) 739–749.
- [6] C. Grenier, P. Paillou, P. Manguis, Assessment of Holocene surface hydrological connections for the Ounianga lake catchment zone (Chad), *C. R. Geosci.* 341 (2009) 770–782.
- [7] C. Hély, P. Braconnot, J. Watrin, W. Zheng, Climate and vegetation: simulating the African Humid Period, *C. R. Geosci.* 341 (2009) 671–688.
- [8] A.F.C. Holl, Coping with Uncertainty: Neolithic Life in the Dhar Tichitt-Walata, Mauritania, (ca 4000–2300 BP), *C. R. Geosci.* 341 (2009) 703–712.
- [9] S.J. Ivory, A.-M. Lézine, Climate and environmental change at the end of the Holocene Humid Period: A pollen record off Pakistan, *C. R. Geosci.* 341 (2009) 760–769.
- [10] S. Janicot, A comparison of Indian and African monsoon variability at different time scales, *C. R. Geosci.* 341 (2009) 575–590.
- [11] A.-M. Lézine, Timing of vegetation changes at the end of the Holocene Humid Period in desert areas at the northern edge of the Atlantic and Indian monsoon systems, *C. R. Geosci.* 341 (2009) 750–759.
- [12] Ch. Marzin, P. Braconnot, The role of the ocean feedback on Asian and African monsoon variations at 6 kyr BP and 9.5 kyr BP, *C. R. Geosci.* 341 (2009) 643–655.
- [13] P. Manguis, L. Aguiar, C. Grenier, Hydrogeological modeling as a tool supporting the interpretation of pollen proxies for palaeoclimate reconstitution: the Senegalese “niayes” case-study, *C. R. Geosci.* 341 (2009) 783–793.
- [14] F. Preusser, Chronology of the impact of Quaternary climate change on continental environments in the Arabian Peninsula, *C. R. Geosci.* 341 (2009) 621–632.
- [15] M. Schuster, P. Düringer, J.-F. Ghienne, C. Roquin, P. Sepulchre, A. Moussa, A.-E. Lebatard, H. Taisso Mackaye, A. Likius, P. Vignaud, M. Brunet, Chad Basin: paleoenvironments of the Sahara since the Late Miocene, *C. R. Geosci.* 341 (2009) 603–611.
- [16] B. Senut, M. Pickford, L. Ségalen, Neogene Desertification of Africa, *C. R. Geosci.* 341 (2009) 591–602.
- [17] P. Sepulchre, G. Ramstein, M. Schuster, Modelling the impact of tectonics, surface conditions and Sea Surface Temperatures on Saharan and sub-Saharan climate evolution, *C. R. Geosci.* 341 (2009) 612–620.
- [18] J. Watrin, A.-M. Lézine, C. Hély, (contributors: P. Cour, A. Ballouche, D. Duzer, H. Elenga, A. Frédoux, P. Guinet, S. Jahns, H. Kadomura, J. Maley, A.-M. Mercuri, I. A. Pons, I. Reynaud-Farrera, J.C. Ritchie, U. Salzmann, E. Schulz, M.G. Tossou, A. Vincens, M.P. Waller), Plant migration and plant communities at the time of the “green Sahara”, *C.R. Geosci.* 341 (2009) 656–670.