

Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie
marine et continentale



Aix*Marseille
université



COLLOQUE SCIENTIFIQUE

LE SAHARA

impacts de changements environnementaux extrêmes
sur la biodiversité

28-29 NOVEMBRE 2013, AIX-EN-PROVENCE



© J. Migliore

Contact : jeremy.migliore@imbe.fr

+33 (0)4.42.90.84.57 / +33 (0)6.81.11.28.91

AVEC LE SOUTIEN FINANCIER DE :



CONTEXTE SCIENTIFIQUE



Objectifs de la manifestation

L'Institut Méditerranée de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE : Aix-Marseille Université, UMR CNRS / IRD / UAPV) organise une journée de conférences les 28 et 29 novembre 2013 sur le Campus d'Aix-en-Provence – Technopôle de l'Environnement Arbois-Méditerranée.

Ce colloque scientifique intitulé « *Le Sahara, impacts de changements environnementaux extrêmes sur la biodiversité* » a pour objectif de dresser un bilan inédit des dernières avancées scientifiques sur le Sahara, à l'interface entre paléosciences, sciences du climat et de la terre, archéologie, écologie et évolution. De multiples questions pourront ainsi être abordées dans différentes disciplines, en s'orientant notamment sur l'évolution du climat en région saharienne et son incidence sur l'origine, l'évolution et la persistance de la biodiversité.

Il s'agira d'insuffler une vision intégrative alliant l'étude des processus biologiques intervenant des gènes aux écosystèmes, les liens entre changements environnementaux, biodiversité et sociétés, ainsi que les processus biogéographiques impliqués à différentes échelles d'espace et de temps. Nous pourrions ainsi mieux comprendre ce désert démesuré qui constitue un défi à l'existence des êtres vivants, et paradoxalement un très vieux foyer de civilisations préhistoriques. Les échanges devraient ainsi être au rendez-vous, tout en favorisant l'émergence d'un groupe de travail saharo-centré mais dont les approches complémentaires pourront apporter des résultats largement extrapolables, notamment dans le contexte des changements globaux en cours.

Le Sahara, cet inconnu...

Aucun territoire autant que le Sahara ne semble installé dans l'immobilité. L'aridité sans doute, les températures extrêmes et les vents secs. Des étendues de sables (ergs), de pierres (regs) et des massifs montagneux qui paraissent infinis. Comme si le temps, entre Maghreb et Sahel, ne s'écoulait pas. Au fil des explorations cependant, le plus grand désert chaud de notre planète livre peu à peu ses secrets.

Réputé anéantir qui s'y risque, le Sahara n'est pourtant en rien une étendue stérile, dénuée de vie. Bien au contraire, des méduses ou des poissons d'eau douce, des crocodiles, des plantes à fleurs et fougères d'origines tropicale ou méditerranéenne persistent au cœur du Grand Désert, preuves d'un environnement non immuable au fil du temps. L'homme moderne et ses prédécesseurs ont également marqué cet espace de leurs empreintes. Les traces de leurs passages, échanges et innovations technologiques et culturelles font du Sahara un inestimable musée à ciel ouvert.

Le Sahara abrite ainsi une diversité biologique et culturelle unique, encore méconnue. Son étude à travers une approche scientifique pluridisciplinaire nous aide ainsi à mieux comprendre les capacités d'adaptation et de persistance des espèces vivantes sous des conditions environnementales extrêmes.

Le Sahara, un laboratoire privilégié

Face à des archives paléoenvironnementales souvent fragmentaires, difficiles à atteindre et à dater, très vite s'est imposée l'idée que pour reconstruire l'histoire des écosystèmes sahariens, des approches interdisciplinaires devaient prévaloir. Les apports croisés de l'archéologie, des géosciences de l'environnement et des sciences de la vie ont ainsi émergé dès les premières missions d'exploration scientifique.

Avec plus de 8,5 millions de kilomètres carrés depuis l'océan Atlantique jusqu'à la mer Rouge, le Sahara n'est en rien une entité géographique homogène et immuable. Depuis son origine estimée à environ 7-10 Ma, il se caractérise notamment par une histoire climatique tourmentée. Les bioindicateurs continentaux, lacustres et océaniques enregistrent des changements plus ou moins abrupts. Au rythme des cycles astronomiques, de la variabilité de la mousson et des rétroactions probables entre couverture végétale et climat régional, périodes humides et arides se sont succédées tout au long du Quaternaire, la période aride actuelle ayant débuté, selon les régions, entre 5,5 et 2,8 ka BP. Ces variations paléoclimatiques et paléoenvironnementales ont entraîné des expansions et contractions du réseau hydrographique, et une modification de la distribution des écosystèmes, avec pour conséquences adaptation, migration ou disparition de la faune et de la flore. Il en est de même pour l'homme, qui, à l'intérieur des « possibles » générés par ces conditions environnementales, a choisi ses modes de subsistance (chasse-cueillette, élevage) et de vie (nomadisme, sédentarisation), comme en témoigne l'abondance des vestiges archéologiques.

Quant à la biodiversité, les espèces reliques de climats antérieurs et de réseaux hydrographiques passés, persistant encore actuellement dans certains refuges localisés (reliefs), sont les témoins précieux de ces changements environnementaux hors du commun. Elles constituent des archives évolutives qui peuvent servir de modèles pour mieux comprendre la réponse du vivant à des changements climatiques en cours ou annoncés. Avec le développement récent des outils de biologie moléculaire, la dimension évolutive de la biodiversité peut également être appréhendée à travers les approches de phylogénétique, phylogéographie et de génétique des populations.

INSCRIPTION & ORGANISATION



Inscription

- INSCRIPTION GRATUITE MAIS OBLIGATOIRE, par mail : jeremy.migliore@imbe.fr
- SITE INTERNET DU COLLOQUE : www.imbe.fr & <http://www.imbe.fr/colloque-sahara-28-et-29-novembre.html>
- POUR TOUTE INFORMATION COMPLÉMENTAIRE, n'hésitez pas à contacter JÉRÉMY MIGLIORE :

Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale, Aix-Marseille Université, OSU Pythéas, IMBE UMR CNRS 7263 / IRD 237 / UAPV, Campus Aix, Technopôle de l'Environnement Arbois-Méditerranée, Bâtiment Villemin, BP80, Avenue Louis Philibert, 13545 Aix-en-Provence cedex 04, France.

Tél. : +33 (0)4.42.90.84.57 / Mobile : +33 (0)6.81.11.28.91 / Fax : +33 (0)4.42.90.84.48

Lieu et logistique

- **Lieu de la manifestation** : Aix-Marseille Université, Campus Aix-en-Provence, Technopôle de l'Environnement Arbois-Méditerranée : amphithéâtre CEREGE et salle du Forum.



Arrivée par le Nord (Aix-en-Provence)

- Direction : Marseille (par l'A51),
- Sortie : Aix-Les-Milles par la RD9,
- Sortie : Calas – Secteur du Petit Arbois,
- Direction : Petit Arbois par la D543 (Route d'Apt),
- Entrée Rond-point à environ 2 km, sur la gauche, Avenue Louis Philibert, ATTENTION barrière.

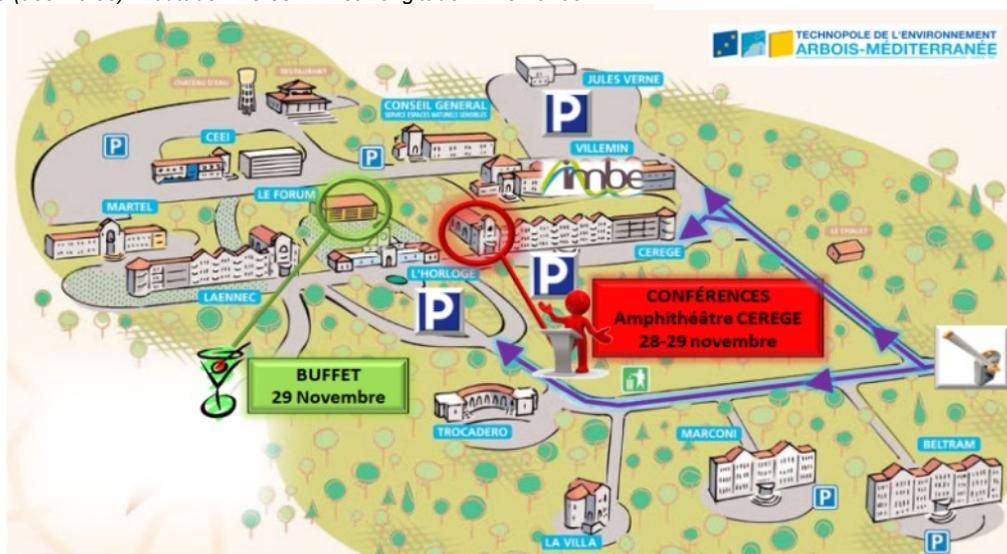
Arrivée par le Sud (Marseille)

- Direction : Aix-en-Provence (par l'A51),
- Sortie : Plan de Campagne,
- Direction : Cabriès - Calas par la D453,
- Traverser Calas jusqu'au rond point de la gremeuse,
- Direction : Petit Arbois par la D543,
- Entrée Rond-point à environ 2 km, sur la gauche, Avenue Louis Philibert, ATTENTION barrière.

Arrivée par l'Ouest (Montpellier / Marignane)

- Suivre : Direction Lyon A7,
- Sortie : Vitrolles – Le Griffon,
- Direction : Les Milles – Calas par la D9,
- Sortie : Calas - Secteur du Petit Arbois,
- Direction : Petit Arbois par la D543 (Route d'Apt),
- Entrée Rond-point à environ 2 km, sur la gauche, Avenue Louis Philibert, ATTENTION barrière.

Coordonnées GPS (décimales) : Latitude : E5.33142° et Longitude : N43.49100°



INSCRIPTION & ORGANISATION



Personnes impliquées

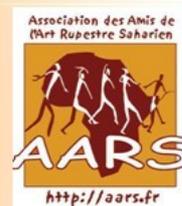
- **Sur une idée originale de :** Jérémy Migliore et Frédéric Médail (IMBE).
- **Comité scientifique :** Frédéric Médail (IMBE, Responsable Axe 1), Frédérique Duquesnoy (LAMPEA), Doris Barboni (CEREGE), Wolfgang Cramer (IMBE, Directeur scientifique), Alberte Bondeau (IMBE, Responsable Equipe 1.2), Philippe Ponel (IMBE, Responsable Equipe 1.1) et Jérémy Migliore (IMBE).
- **Comité d'organisation :** Jérémy Migliore, Nathalie Polvani, Vanina Beauchamps-Assali, Emilie Egea, Maryse Alvitre, Marianick Juin, Nathalie Duong et Frédéric Médail (IMBE).
- **Coordination, gestion et organisation :** Jérémy Migliore (IMBE).

Soutien financier et partenaires

Cette journée d'échanges s'articulera autour des principaux laboratoires de recherches en sciences de l'environnement et de l'homme d'Aix-Marseille Université. L'**Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale** (IMBE) est le laboratoire organisateur, puisque cette manifestation s'inscrit au sein des thématiques de recherche de l'axe 1 « Paléoécologie et processus macro-écologiques ». Plus de renseignements sont disponibles sur le site internet : <http://www.imbe.fr>.

Ce travail réalisé dans le cadre du **laboratoire d'excellence Objectif Terre : Bassin méditerranéen**, portant la référence ANR-11-LABX-0061 a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du projet Investissements d'Avenir A*MIDEX portant la référence n° ANR-11-IDEX-0001-0 (voir le site : <http://www.otmed.fr>). Engagée depuis longtemps dans la promotion du patrimoine de l'humanité qu'est le Sahara, l'**association des Amis de l'Art Rupestre Saharien** participe au financement des bourses de voyages à destination des étudiants des pays du Sud (voir le site : <http://www.aars.fr>). Enfin, le **Technopôle de l'Environnement Arbois-Méditerranée**, cadre d'excellence dans l'environnement nous accueillera dans son espace forum spécialement dédié à l'organisation de telles conférences (<http://www.arbois-med.com>).

AVEC LE SOUTIEN FINANCIER DE :





Programme définitif à venir sur www.imbe.fr

JEUDI 28 NOVEMBRE, APRÈS-MIDI : Un regard sur le passé



THÉ D'ACCUEIL



13h30-14h05 : Frédéric MÉDAIL

Etudier la biodiversité au Sahara, une exploration inachevée...

Studying biodiversity in the Sahara, an incomplete exploration

Institut Méditerranéen de biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE), UMR 7263 Aix-Marseille Université / CNRS / IRD, Aix-en-Provence, France.

Contact : frederic.medail@imbe.fr

14h05-14h40 : Doris BARBONI

Paléo-environnements des anciens Hominidés en Afrique centrale et orientale (titre provisoire)

Palaeo-environments of ancient Hominids in Central and Eastern Africa

Centre de Recherche et d'Enseignement de Géosciences de l'Environnement (CEREGE), UMR 7330 Aix-Marseille Université / CNRS / IRD / Collège de France, Aix-en-Provence, France.

Contact : barboni@cerege.fr

14h40-15h25 : Jean-Loïc LE QUELLEC¹ & Frédérique DUQUESNOY²

Nouveaux éclairages sur l'art rupestre saharien

New insights on the Saharan rock art

¹ Centre d'études des mondes africains (CEMAF), UMR 8171 Université Panthéon-Sorbonne Paris 1 / CNRS, Paris, France.

Contact : JLLQ@rupestre.on-rev.com

² Laboratoire Méditerranéen de Préhistoire Europe Afrique (LAMPEA), UMR 7269 Aix-Marseille Université / CNRS, Aix-en-Provence, France.

Contact : frederique.duquesnoy@netcourrier.com

15h25-16h00 : Robert VERNET

Le Sahara à l'Holocène : diversité ou homogénéité climatique et humaine ?

Sahara in the Holocene: climatic and human diversity or homogeneity?

Institut Mauritanien de Recherches Scientifiques.

Contact : robert.vernet@yahoo.fr



16h00-16h30 : PAUSE CAFÉ



JEUDI 28 NOVEMBRE, APRÈS-MIDI : Un regard sur le passé



16H30-17H05 : Anne-Marie LÉZINE¹ & Christelle HÉLY²

La vulnérabilité du Sahara et du Sahel au changement climatique : apport des paléo-données hydrologiques et palynologiques

The vulnerability of the Sahara and Sahel to climate change: contribution of hydrological and palynological data

¹ Laboratoire d'Océanographie et du Climat : Expérimentations et Approches Numériques (LOCEAN), UMR 7159 Université Pierre et Marie Curie / CNRS / MNHN / IRD, Paris, France.

Contact : anne-marie.lezine@locean-ipsl.upmc.fr

² Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie (CBAE), UMR 5059 Université Montpellier 2 / CNRS / EPHE, Montpellier, France.

17h05-17h40 : Françoise GASSE & Florence SYLVESTRE

Les lacs du Sahara-Sahel depuis 15 000 ans. Impacts du mode d'alimentation et des facteurs locaux sur l'enregistrement du climat

The lakes of the Sahara-Sahel the last 15 000 years. Impacts of hydrological regime and local factors on climate reconstruction

Centre de Recherche et d'Enseignement de Géosciences de l'Environnement (CEREGE), UMR 7330 Aix-Marseille Université / CNRS / IRD / Collège de France, Aix-en-Provence, France.

Contacts : gasse@cerege.fr ; sylvestre@cerege.fr

17h40-18h15 : Morteza DJAMALI¹ & Hossein AKHANI²

Le Sud de l'Iran, une région clé pour comprendre les implications phytogéographiques et floristiques des oscillations climatiques du Quaternaire

Southern Iran, a key area in understanding the phytogeographical and floristic implications of Quaternary climatic oscillations

¹ Institut Méditerranéen de biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE), UMR 7263 Aix-Marseille Université / CNRS / IRD, Aix-en-Provence, France.

Contact : morteza.djamali@imbe.fr

² School of Biology, University College of Science, Department of Botany, University of Tehran, Iran.

Contact : akhani@khayam.ut.ac.ir



REPAS CONVIVIAL SUR AIX-EN-PROVENCE POUR POURSUIVRE LES DISCUSSIONS



VENDREDI 29 NOVEMBRE, MATIN : La biodiversité dans tous ses états



8h00-8h35 : Fatiha ABDOUN

Le cyprès du Tassili : du Pluvial à la rosée

The Tassili cypress: from Pluvial to dew

Laboratoire Ecologie Végétale et Environnement, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, Algérie.

Contact : fatabdoun@yahoo.fr

8h35-9h10 : Jérémy MIGLIORE, Alex BAUMEL, Marianick JUIN, Nathalie DUONG & Frédéric MÉDAIL

Des plantes méditerranéennes témoin des changements environnementaux passés au Sahara : un lien biogéographique revisité par la génétique

Mediterranean plants witness of past environmental changes in the Sahara: a biogeographical link revisited by genetics

Institut Méditerranéen de biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE), UMR 7263 Aix-Marseille Université / CNRS / IRD, Aix-en-Provence, France.

Contact : jeremy.migliore@imbe.fr

9h10-9h45 : Guillaume BESNARD¹, Fabien ANTHELME² & Djamel BAALI-CHERIF³

Histoire évolutive de l'olivier de Laperrine, un arbre emblématique des massifs du Sahara central

Evolutionary history of the Laperrine's olive, an emblematic tree of the central Saharan mountains

¹ Laboratoire Evolution et Diversité Biologique (EDB), UMR 5174 Université Paul Sabatier / CNRS / ENFA, Toulouse, France.

Contact : guillaume.besnard@univ-tlse3.fr

² Laboratoire de botanique et bioinformatique de l'architecture des plantes (AMAP) – UMR 5120 IRD / CIRAD / CNRS, Montpellier, France.

³ Laboratoire de Recherche sur les Zones Arides (LRZA) – Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene / INA, Alger, Algérie.

9h45-10h20 : Muriel GROS BALTHAZARD^{1,2,3}, Claire NEWTON^{2,4}, Sarah IVORRA², Jean-Christophe PINTAUD³, Daniel WEGMANN¹ & Jean-Frédéric TERRAL²

Histoire du dattier (*Phoenix dactylifera* L.) en Afrique : impact de l'homme et du climat

*History of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.) in Africa: human and climate impact*

¹ Université de Fribourg, Fribourg, Suisse.

² Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie (CBAE), UMR 5059 Université Montpellier 2 / CNRS / EPHE / INRAP, Montpellier, France.

³ Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Montpellier, France.

⁴ Laboratoire d'archéologie et de patrimoine, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, Canada.

Contact : muriel.grosb@gmail.com



10h20-10h40 : PAUSE CAFÉ



VENDREDI 29 NOVEMBRE, MATIN : La biodiversité dans tous ses états



10h40-11h15 : Gilles BOËTSCH^{1,2} & Aliou GUISSÉ^{1,2}

Le socio-écosystème de la Grande Muraille Verte entre environnement végétal, restauration écosystémique, santé et bien-être des populations

The socio-ecosystem of the great green wall between plant environment, ecosystem restoration, health and well-being

¹ Unité mixte internationale Environnement Santé Sociétés (ESS), UMI ESS 3189 Université Cheikh Anta Diop de Dakar / Université de Bamako / CNRS / CNRST de Ouagadougou, Dakar, Sénégal.

² Observatoire Hommes-Milieus International (OHMI) Tessékéré, CNRS, Dakar, Sénégal.

Contacts : gilles.boetsch@gmail.com / aliou.guisse@ucad.edu.sn

11h15-11h50 : Salima BENHOUHOU¹ & Nabil BENGHANEM²

Flore et végétation du Sahara algérien : synthèse et perspectives de recherche

Flora and vegetation of the Algerian Sahara: review and perspectives

¹ Ecole Nationale Supérieure Agronomique Hassen Badi, El Harrach, Algérie.

Contact : sbenhouhou@yahoo.fr

² Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie.

Contact : nbenghanem@hotmail.com

11h50-12h10 : Philippe BRUNEAU DE MIRÉ

Une vision du Tibesti au travers de son entomofaune

A view of the Tibesti through its entomofauna

Avon, France.

Contact : bilimir@aol.com

12h10-12h45 : Koenraad DE SMET

La distribution et l'abondance des grands mammifères au Sahara : déclin total, futur dans mains

The distribution and abundance of large mammals in the Sahara: total decline, future in our hands

Sahara Conservation Fund, Belgique.

Contact : koenraad.desmet@gmail.com

VENDREDI 29 NOVEMBRE, MATIN : La biodiversité dans tous ses états



12h45-13h20 : Pierre-André CROCHET¹, José C. BRITO^{2,3}, Raquel GODINHO², Fernando MARTINEZ-FREIRIA², Juan M. PLEGUEZUELOS⁴, Hugo REBELO^{2,5}, Xavier SANTOS², Candida G. VALE^{2,3}, Guillermo VELO-ANTON², Zbyszek BORATYNSKI^{2,6}, Silvia B. CARVALHO², Sonia FERREIRA^{2,3}, Duarte V. GONCALVES^{2,3}, Teresa L. SILVA^{2,3}, Pedro TARROSO², Joao C. CAMPOS^{2,3}, Joa V. LEITE², Joana NOGUEIRA^{2,3}, Francisco ALVARES², Neftali SILLERO⁷, Andack S. SOW⁸, Soumia FAHD⁸ & Salvador CARRANZA⁹

Biodiversité, évolution et menaces dans le Sahara-Sahel : nouveaux éclairages pour la conservation

Unravelling biodiversity, evolution and threats to conservation in the Sahara-Sahel

¹ Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CEFE), UMR 5175 Universités Montpellier 1 et 2 / CNRS / EPHE / CIRAD / IRD / INRA SupAgro, Montpellier, France.

Contact : pierre-andre.crochet@cefe.cnrs.fr

² CIBIO/InBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos da Universidade do Porto, Vairão, Portugal.

³ Departamento de Biologia da, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, Portugal.

⁴ Departamento de Biología Animal, Universidad de Granada, Granada, Espagne.

⁵ School of Biological Sciences, University of Bristol, Bristol, Royaume-Uni.

⁶ Centre of Excellence in Evolutionary Research, Department of Biological and Environmental Science, University of Jyväskylä, Survantie 9, Finlande.

⁷ Centro de Investigação em Ciências Geo-Espaciais (CICGE) da Universidade do Porto, Porto, Portugal.

⁸ Département de Biologie, Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan, Maroc.

⁹ Institute of Evolutionary Biology, CSIC-Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Espagne.

13h20-13h55 : Sébastien TRAPE¹ & Jean-François TRAPE²

La faune aquatique du Sahara : biodiversité, origine et menaces

The aquatic fauna of the Sahara: biodiversity, origin and threats

¹ Laboratoire Biocomplexité des Ecosystèmes Coralliens de l'Indo-Pacifique (CoReUs), UR 227 Institut de Recherche pour le Développement, Banyuls, France.

Contact : sebastien_trape@yahoo.fr

² Laboratoire de Paludologie et Zoologie Médicale, Institut de Recherche pour le Développement, Dakar, Sénégal.

Contact : jean-francois.trape@ird.fr

13h55-14h30 : Thierry HEULIN

Adaptations des bactéries aux déserts chauds et secs

Bacterial adaptations to hot and dry deserts

Laboratoire d'Ecologie Microbienne de la Rhizosphère et Environnements extrêmes (LEMIRE), Institut de Biologie Environnementale et de Biotechnologie (iBEB), UMR 7265 Aix-Marseille Université / CNRS / CEA /, Cadarache, France.

Contact : thierry.heulin@cea.fr



BUFFET DE CLÔTURE





RÉSUMÉS COMMUNICATIONS



© J. Migliore

Étudier la biodiversité au Sahara, une exploration inachevée...

Studying biodiversity in the Sahara, an incomplete exploration...

Frédéric MÉDAIL*

Institut Méditerranéen de biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE), UMR 7263 Aix-Marseille Université / CNRS / IRD / UAPV, Aix-Marseille Université / Campus Aix – Technopôle de l'Environnement Arbois-Méditerranée, Bâtiment Villemin, BP 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 04, France.

* *Contact : frederic.medail@imbe.fr*

Le Sahara, plus vaste désert chaud du monde, avec une superficie voisine de 8,5 millions de kilomètres carrés, demeure l'un des territoires les moins connus sur le plan de la biodiversité. Si le Grand désert n'héberge pas dans l'ensemble une forte richesse en espèces, de l'ordre de 2800 végétaux, 110 mammifères et une centaine de reptiles, il n'en est pas pour autant un désert biologique, loin s'en faut... La diversité des conditions environnementales et une histoire biogéographique complexe expliquent les différences bien tranchées dans l'expression de la biodiversité saharienne.

Quelle ne fût pas la surprise des premiers explorateurs naturalistes ou méharistes d'observer la présence d'un crocodile localisé à quelques gueltas du Sahara central ou sur ses marges occidentales. Au-dessus de mille mètres d'altitude, la coexistence de végétaux issus d'histoires biogéographiques disparates a aussi très vite retenu l'attention des premiers botanistes et biogéographes.

Les montagnes sahariennes forment en effet de véritables "îles-refuges", car leurs reliefs contrastés conduisent à des conditions environnementales hétérogènes et à des situations climatiques plus favorables par rapport aux plaines environnantes. Au fil des vicissitudes climatiques subies depuis des millions d'années, et de processus biologiques variés (persistance locale, vicariance, dispersion à longue distance), ces territoires ont piégé tout un contingent d'espèces de différentes origines, tropicales, méditerranéennes ou asiatiques (espèces irano-touraniennes ou saharo-sindiennes).

Le Sahara a constitué, tour à tour, une barrière effective à la migration des espèces, en limitant les contacts reproductifs entre populations isolées dès le Miocène ou durant les phases arides du Pliocène et Pléistocène, mais aussi un territoire de mélange entre populations végétales de Méditerranée ou d'Afrique tropicale et subtropicale lors des épisodes pluviaux, constituant dans ce cas une vaste zone hybride.

Une telle situation écologique peut fournir des enseignements précieux dans la compréhension des capacités de persistance ou d'adaptation de la biodiversité face à des changements globaux sévères et rapides. Ainsi, le Sahara forme un champ d'investigation unique pour les sciences de la biodiversité. Bien trop négligé ces dernières décennies, il mérite d'être réinvesti car son exploration scientifique apportera de nouveaux éclairages sur la dynamique et la conservation de la biodiversité en situation extrême.

Mots clés : biogéographie, exploration, migration, persistance, refuges.



Nouveaux éclairages sur l'art rupestre saharien

New insights on the Saharan rock art

Jean-Loïc LE QUELLEC^{1*} et Frédérique DUQUESNOY^{2*}

¹ Centre d'études des mondes africains (CEMAF), UMR 8171 Université Panthéon-Sorbonne Paris 1 / CNRS, Paris, France.

² Laboratoire Méditerranéen de Préhistoire Europe Afrique (LAMPEA), UMR 7269 Aix-Marseille Université / CNRS, Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme, BP647, 5 rue du Château de l'Horloge, 13094 Aix-en-Provence cedex 2, France.

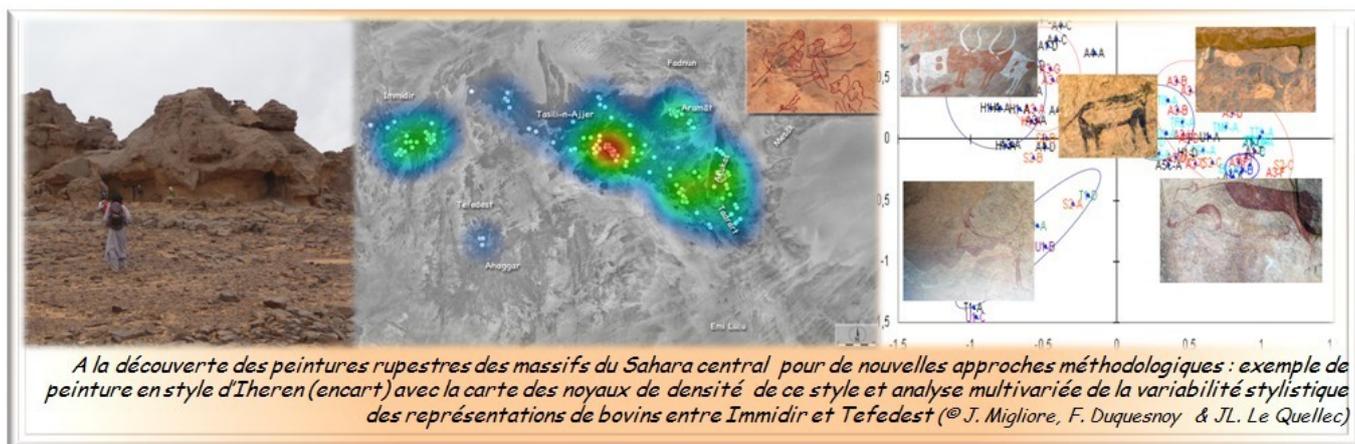
* Contacts : JLLQ@rupestre.on-rev.com / frederique.duquesnoy@netcourrier.com

Depuis le milieu du dix-neuvième siècle, les publications sur les arts rupestres sahariens ont, dans leur immense majorité, visé à faire connaître de nouveaux sites, de nouvelles images. Ce fut tout particulièrement le cas durant les trois dernières décennies, au cours desquelles de très nombreux documents nouveaux ont été signalés, particulièrement au Sahara central et dans le Désert libyque. Les approches théoriques ou les analyses globales sont toujours restées assez rares, et elles ont souvent mal vieilli, à l'exception de la dernière en date qui remonte au milieu des années 1990 (Muzzolini 1995).

Or à l'heure actuelle, la situation géopolitique interdit ou restreint grandement les possibilités de prospection: le terrain d'étude est donc devenu « virtuel », et consiste en la masse documentaire patiemment accumulée par des générations de voyageurs, et qui totalise plusieurs centaines de milliers de documents photographiques. Cela au moment même où nous commençons tout juste à pouvoir appliquer au Sahara central des méthodes modernes d'analyse, et alors que nous estimons avoir une vision enfin satisfaisante de la chronologie des grands styles rupestres sahariens tandis que se renforce leur mise en relation avec les autres vestiges archéologiques (céramique, monuments funéraires...).

Dès lors, comment faire progresser nos connaissances? Tout repose actuellement sur la documentation acquise, qui est malheureusement très dispersée, souvent menacée, et qu'il conviendrait avant tout d'archiver correctement et préserver. Nous montrerons par quelques exemples à quel point cette documentation a été sous-utilisée. En effet, les techniques actuelles de traitement d'image permettent de tirer des informations inédites même à partir de documents supposément connus. La constitution de bases de données géoréférencées et l'usage de diverses méthodes statistiques apportent des résultats nouveaux et laissent entrevoir un renouvellement important du domaine. Si, dans le passé, des spéculations chronologiques contradictoires et des interprétations en clés symboliques, chamaniques ou même raciales ont jeté un certain discrédit sur cette matière, les approches que nous proposons devraient permettre de considérer les images rupestres sahariennes comme une documentation susceptible de contribuer utilement à l'histoire du peuplement de la moitié nord de l'Afrique durant l'Holocène.

Mots clés : art rupestre, SIG, traitement d'image, méthodologie.



Le Sahara à l'Holocène : diversité ou homogénéité climatique et humaine ?

Sahara in the Holocene: climatic and human diversity or homogeneity?

Robert VERNET*

Institut Mauritanien de Recherches Scientifiques.

* Contact : robert.vernet@yahoo.fr

Le Sahara est considéré comme un tout : un désert immense, chaud, aride, sableux. Dans le passé, il a été peuplé chaque fois que les conditions naturelles se sont améliorées. L'homme y a pratiqué la chasse et la cueillette au Paléolithique, puis, pendant quelques millénaires à l'Holocène, dans le cadre du Néolithique, l'élevage, avant de se replier sur les marges lorsque les conditions sont redevenues arides.

La réalité est beaucoup plus complexe. Le Sahara est géographiquement très varié, juxtaposant toute la gamme climatique entre hyper- et semi- aridité ; des paysages aussi divers que des massifs montagneux élevés, des immensités sableuses, des rivages marins et des fleuves allogènes ; enfin, un peuplement humain aux origines multiples.

Le Sahara est donc une mosaïque de « pays ». La préhistoire n'y échappe pas. Mieux connu que le Paléolithique, le Néolithique montre toute la diversité de la région. Il faut impérativement garder à l'esprit ce fait pour comprendre l'évolution du peuplement, de la chronologie et des modes de vie pendant cette longue période. Ne pas le faire conduit à des généralisations et à des raccourcis qui peuvent se révéler abusifs.

Mots clés : Holocène, Sahara vert, Néolithique, paléoclimats, modes de vie.



Une mosaïque de paysages sahariens : Massif de l'Ahaggar vu de l'Assekrem, Algérie (© D. Barbe) / Arbre déchaussé, Mauritanie / Littoral atlantique mauritanien avec amas coquillier âgé de 6000 ans / Peintures rupestres Sahara (© R. Vernet)

La vulnérabilité du Sahara et du Sahel au changement climatique : apport des paléo-données hydrologiques et palynologiques

The vulnerability of the Sahara and Sahel to climate change: contribution of hydrological and palynological data

Anne-Marie LÉZINE^{1*} et Christelle HÉLY²

¹ Laboratoire d'Océanographie et du Climat : Expérimentations et Approches Numériques (LOCEAN), UMR 7159 Université Pierre et Marie Curie / CNRS / MNHN / IRD, Université Pierre et Marie Curie, case 100, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex 05, France.

² Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie (CBAE), UMR 5059 Université Montpellier 2 / CNRS / EPHE, Institut de Botanique, 63 avenue Auguste Broussonnet, 34090 Montpellier, France.

* Contact : anne-marie.lezine@locean-ipsl.upmc.fr

L'examen de plus de 1500 témoins paléohydrologiques datés et de 48 sites palynologiques en Afrique du Nord entre 10 et 28° N permet d'approfondir notre compréhension de la vulnérabilité du Sahara et du Sahel face au changement climatique, principalement aux grandes variations des précipitations de la mousson atlantique au dessus de l'Afrique de l'Ouest. Nous avons analysé la répartition des sites lacustres et palustres de 15 000 ans cal BP jusqu'à nos jours, et l'avons comparée à celle des plantes groupées selon leur affinité phytogéographique. Cette étude nous a permis de discuter des temps de réponse des hydrosystèmes et de l'hétérogénéité spatiale des zones humides dont les causes sont à rechercher auprès de facteurs externes (atmosphériques) et internes (contexte hydrogéologique, rôle des massifs centraux sahariens dans la recharge post-glaciaire des nappes phréatiques). Nous avons mis en lumière le rôle des cours d'eau créés ou réactivés pendant la période humide Holocène pour favoriser la migration vers le Nord des plantes tropicales et favoriser la co-existence de plantes aujourd'hui localisées dans des aires distinctes. Enfin, la couverture végétale montre que le climat, bien que beaucoup plus humide qu'aujourd'hui est toujours resté saisonnier pendant la période humide Holocène et que le maximum de la zone pluvieuse s'est déplacé entre les latitudes 15 et 20° N, zone caractérisée par le maximum de présence de plantes exclusives des milieux forestiers équatoriaux. Cette position septentrionale de la ZCIT (zone de convergence intertropicale) s'accompagne de l'assèchement relatif des latitudes plus méridionales où la dominance des plantes de type soudanien de savane et forêt sèche démontre une saisonnalité plus marquée des précipitations.

Mots clés : Sahara, Sahel, hydrologie, végétation, holocène.



Paysage, Tassili n'Immidir, Algérie (© S. Sant)

Les lacs du Sahara-Sahel depuis 15 000 ans.

Impacts du mode d'alimentation et des facteurs locaux sur l'enregistrement du climat

The lakes of the Sahara-Sahel the last 15 000 years. Impacts of hydrological regime and local factors on climate reconstruction

Françoise GASSE* et Florence SYLVESTRE*

Centre de Recherche et d'Enseignement de Géosciences de l'Environnement (CEREGE), UMR 7330 Aix-Marseille Université / CNRS / IRD / Collège de France, Aix-Marseille Université / Campus Aix, Technopôle de l'Environnement Arbois-Méditerranée, 13545 Aix-en-Provence cedex 04, France.

* Contacts : gasse@cerege.fr / sylvestre@cerege.fr

On se place à l'échelle de l'hydro-système (lac + zone d'alimentation) pour illustrer, à partir d'exemples, le comportement spécifique des lacs en réponse aux changements climatiques. Rappelons que les âges ^{14}C sont à considérer avec prudence si on ne peut montrer que le matériel daté (carbonate ou matière organique) était à l'équilibre isotopique avec le CO_2 atmosphérique au moment du dépôt.

- Le temps de réponse d'une dépression topographique à un changement de précipitation dépend du climat mais aussi du mode d'apport en eau et des facteurs géomorphologiques, hydrologiques et hydrogéologiques locaux et/ou régionaux. Il varie de la saison à quelques milliers d'années selon la distance et la vitesse du transit de l'eau, la profondeur de la nappe.... On distinguera les lacs alimentés par : 1) une rivière d'origine extra-saharienne (cf. lac Tchad actuel...), 2) une nappe superficielle ou le ruissellement répondant aux pluies locales (cf. lacs du Manga, Niger-Nigeria ; L. Gureinat, N. Sudan...), 3) de grands systèmes de drainage souterrains qui retardent et tamponnent les réponses (cf. lac Yoa ; oasis nubiens...).

- Les dépressions hydrologiquement fermées répondent aux variations du bilan « Apport en eau – Evaporation » par des changements de salinité et de composition isotopique des eaux d'ampleur souvent spectaculaire. En témoignent les indicateurs biotiques et abiotiques (micro-organismes, composition isotopique et élémentaire des minéraux authigènes...) qui permettent, sous certaines conditions, d'estimer la fraction d'eau évaporée et l'humidité relative de l'air, pendant les phases d'équilibre hydrologique.

- De brèves phases arides ponctuent la « période Holocène humide » ($\approx 15-5$ ka) et l'Holocène supérieur dans l'ensemble beaucoup plus sec. Bien enregistrées dans les systèmes sensibles, les plus marquées paraissent en phase avec des événements recensés dans les enregistrements marins proches des côtes Africaines et les décharges d'eau douce ou d'icebergs en Atlantique Nord.

- Les données paléolimnologiques et hydrogéologiques suggèrent que, vers 9 ka BP, le gradient isotopique des précipitations le long du flux de mousson atlantique était négatif, contrairement à l'actuel, en réponse au déplacement vers le nord des pluies de mousson combiné à une évaporation moindre des gouttes de pluie dans une atmosphère plus humide. Le Nord du Sahara occidental ($30-32^\circ$ N) et le désert égyptien (au nord de 23° N) paraissent par contre être restés sous l'influence de dépressions extratropicales. Des différences E-W dans l'âge des dépôts pourraient s'expliquer par les flux d'air subsidents sur l'Est du Sahara et de la Méditerranée, liés à l'activité de la mousson indienne.

Mots clés : lacs holocènes, comportement spécifique, hydrochimie élémentaire et isotopique, changements abrupts, facteurs régionaux.



Le Sud de l'Iran, une région clé pour comprendre les implications phytogéographiques et floristiques des oscillations climatiques du Quaternaire

Southern Iran, a key area in understanding the phytogeographical and floristic implications of Quaternary climatic oscillations

Morteza DJAMALI^{1*}, Hossein AKHANI^{2*}

¹ Institut Méditerranéen de biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE), UMR 7263 Aix-Marseille Université / CNRS / IRD / UAPV, Campus Aix – Technopôle de l'Environnement Arbois-Méditerranée, Bâtiment Villemin, BP 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 04, France.

² School of Biology, University College of Science, Department of Botany, University of Tehran, Iran.

* Contacts : morteza.djamali@imbe.fr / akhani@khayam.ut.ac.ir

The so-called Saharo-Sindian or Saharo-Arabian flora is not limited to North Africa and Arabia but extends eastward into the continental Middle East. The flora of southern Iran displays a key biogeographical and climatic transition in which two major floristic regions and climatic systems meet together to create a spectacular change in the landscape. The Saharo-Sindian floristic region is almost suddenly replaced by Irano-Turanian floristic region with a fundamentally different flora over a south-north transect. The climate also follows the same pattern and almost matches the same direction of transition. This phytogeographical configuration accompanied by several floristic peculiarities has significant palaeoclimatic implications and makes this area an interesting natural laboratory to study the impact of past climatic oscillations on the biodiversity and evolution of human societies in the Middle East.

Mots clés : *phytogéographie, paléoécologie, paléoclimatologie, Quaternaire, sociétés humaines, Moyen-Orient, Sud-Iran.*



La paléoécologie, du carottage de sédiments à l'analyse pollinique, au service de la reconstruction des paléo-environnements en Iran (© M. Djamali)

Le cyprès du Tassili : du Pluvial à la rosée

The Tassili cypress: from Pluvial to dew

Fatiha ABDOUN*

Laboratoire Ecologie Végétale et Environnement, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (FSB / USTHB), BP 32 El Alia, Alger, Algérie.

* Contact : fatabdoun@yahoo.fr

Le climat actuel au Sahara Central est marqué par des pluies sans rythme saisonnier et par de plus ou moins longues périodes sèches. Par sa situation médiane, il peut recevoir des influences méditerranéennes et/ou tropicales. L'étendue et la diversité géographique du Sahara et la rudesse des conditions environnementales expliquent que son étude climatologique soit disparate. En dehors des postes météorologiques dont le nombre est anecdotique, la végétation demeure le meilleur indicateur du climat actuel et les restes végétaux macro- et microscopiques (charbons de bois, pollen, graines, etc.) les paléodescripteurs les plus utilisés. Dans ce cadre, le cyprès du Tassili, rescapé de l'aridification du Sahara, est le végétal vivant le mieux indiqué pour témoigner des conditions environnementales et notamment climatiques dans lesquelles il a évolué depuis plusieurs millénaires.

Cette espèce est d'abord connue en région méditerranéenne par le cyprès toujours vert, symbole mythologique de deuil et d'espoir mais aussi, de longévité. La découverte de la *Tarout* des Touareg en 1924, fut aussi celle de l'unique conifère saharien, voire celle de son extinction. Sa position géographique, le nombre limité et la taille de ses derniers représentants ont suscité de multiples interrogations et motivé des spéculations quant à l'âge des arbres et, par confusion, la date du début de l'assèchement du Sahara.

Ces vieux arbres, aux ports remarquables et dont la circonférence atteint 12 m, ont été considérés, dans la littérature scientifique, comme un vestige vivant (mais plus pour longtemps) d'une flore méditerranéenne étendue au cœur d'un Sahara humide. Et pourtant, deux jeunes cyprès ont été trouvés à proximité de leurs géniteurs. L'existence de ses jeunes arbres témoigne d'une régénération naturelle spontanée *in situ* survenant et se maintenant sous des précipitations moyennes annuelles estimées à seulement 30 mm.

Ce fait rend caduque les spéculations relatives à une disparition suite à l'aridification du climat saharien en même temps qu'il relance l'intérêt des approches paléoécologiques dans une zone soustraite à la recherche scientifique depuis près d'un demi-siècle.

L'étude dendrochronologique du cyprès tassilien initiée en 1967, abandonnée puis reprise en 1997 révèle une vitesse de croissance comparable aux individus plantés en Provence et dans l'Atlas saharien. Quant à l'approche anthracologique, elle prouve que l'action anthropique a décimé la pistacheraie tassilienne, fragment de celle du Sahara central dont quelques sujets sont encore vivants dans l'Ahaggar. Et la dégradation se poursuit.

Mot clés : *Cupressus dupreziana*, Sahara central, dendrochronologie, anthracologie, climat, action anthropique.



Tin Tellezit et la caravane d'inventaire / Forêt de pierre et un pied de Cupressus dupreziana / Cyprès en forme conique, Algérie (© F. Abdoun)

Des plantes méditerranéennes témoin des changements environnementaux passés au Sahara : un lien biogéographique revisité par la génétique

Mediterranean plants witness of past environmental changes in the Sahara: a biogeographical link revisited by genetics

Jérémy MIGLIORE*, Alex BAUMEL, Marianick JUIN, Nathalie DUONG & Frédéric MÉDAIL

Institut Méditerranéen de biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE), UMR 7263 Aix-Marseille Université / CNRS / IRD / UAPV, Aix-Marseille Université / Campus Aix – Technopôle de l'Environnement Arbois-Méditerranée, Bâtiment Villemain, BP 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 04, France.

* Contact : jeremy.migliore@imbe.fr

Vaste étendue de sable inhospitalière, dépourvue de vie, voilà comment le désert du Sahara est le plus souvent perçu. Pourtant, au sud de l'Algérie et au Tchad existent des massifs, tels que le Hoggar, la Tassili n'Ajjer, l'Immidir ou le Tibesti, qui ont très vite retenu l'attention des botanistes lors des premières explorations sahariennes, il y a plus d'un siècle. En effet, au-dessus de 1500 mètres d'altitude coexistent des plantes d'origines biogéographiques diverses, avec en particulier des espèces d'affinité méditerranéenne tels que laurier-rose, olivier, myrte, cyprès, globulaire, lavandes, ce qui a de quoi étonner à plus de mille kilomètres des rivages de la Méditerranée ! Comprendre l'histoire évolutive de ces plantes persistant dans ces montagnes refuges, revient à analyser l'origine et la mise en place de la flore au sein des carrefours biogéographiques que sont la Méditerranée et le Sahara. Cette situation unique d'espèces d'origine méditerranéenne piégées dans les montagnes du Sahara central peut fournir également des enseignements précieux dans la compréhension des capacités de persistance ou d'adaptation des végétaux face aux changements globaux, notamment climatiques, annoncés.

Les relations biogéographiques supposées entre le Sahara et la Méditerranée ont pu être décryptées, grâce à une vaste étude réalisée sur le genre *Myrtus*, seul genre parmi 5650 espèces de Myrtaceae à avoir colonisé ces régions. Les approches de phylogéographie et de génétique des populations développées dans cette étude ont été intégratives, en combinant données génétiques (séquences ADN chloroplastique et nucléaire, scans génomiques AFLP et microsatellites) et données fossiles. Le genre *Myrtus* constitue ainsi une archive évolutive précieuse pour mieux comprendre le rôle du Sahara, tour à tour barrière à la migration durant les phases arides, mais aussi territoire d'échanges et de contacts des flores lors des épisodes pluviaux du Pléistocène, comme à l'époque du fameux "Sahara vert", dernière période humide de l'Holocène. Coupler génétique et paléobotanique permet donc de révéler de manière inédite les événements de migration du Myrte survenus depuis la Méditerranée vers le Sahara, tout en analysant les conséquences évolutives de la fragmentation et de l'isolement des populations de Myrte, réfugiées dans les îles-montagnes du Sahara central lors de l'aridification du Grand désert qui a débuté il y a environ 5000 ans. Des approches comparatives en cours sur le laurier rose et la globulaire notamment devraient permettre de généraliser ces résultats afin de voir si les espèces d'affinité méditerranéenne seront capables de migrer et de contribuer au prochain "Sahara vert" ou, au contraire de survivre à des événements d'aridifications drastiques.

Mots clés : changements climatiques, phylogéographie, génétique des populations, paléoécologie, Méditerranée, Sahara, îles-montagnes, Myrtus.



Habitat du Myrte de Nivelles en fond de gorges, le long de cours d'eaux temporaires, au sein des massifs du Sahara central : une espèce, vestige d'un Sahara plus humide au cours de son histoire., Immidir, Algérie (© J. Migliore & O. Bernezat)

Histoire évolutive de l'olivier de Laperrine, un arbre emblématique des massifs du Sahara central

Evolutionary history of the Laperrine's olive, an emblematic tree of the central Saharan mountains

Guillaume BESNARD^{1*}, Fabien ANTHELME², Djamel BAALI-CHERIF³

¹ Laboratoire Evolution et Diversité Biologique (EDB), UMR 5174 Université Paul Sabatier / CNRS / ENFA, 118 route de Narbonne, 31062 Toulouse cedex 9, France.

² Laboratoire de botanique et bioinformatique de l'architecture des plantes (AMAP) – UMR 5120 IRD / CIRAD / CNRS, Boulevard de la Lironde, TA A-51/PS2, 34398 Montpellier cedex 5, France.

³ Laboratoire de Recherche sur les Zones Arides (LRZA) – Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumedienne / INA, BP44, Alger, Algérie.

* Contact : guillaume.besnard@univ-tlse3.fr

L'olivier de Laperrine est une sous-espèce d'olivier (*Olea europaea* subsp. *laperrinei*) endémique des montagnes sahariennes, depuis le Sud Algérien jusqu'au Nord-Est Soudanais. Des études génétiques et phylogéographiques menées sur ce taxon ont permis de mieux comprendre ses stratégies de reproduction et de documenter son histoire depuis le Pléistocène. Ces études ont montré que les individus d'olivier de Laperrine sont capables de persister sur de très longues périodes dans des conditions d'extrême sécheresse, notamment par reproduction végétative. Un retour à une stratégie de reproduction sexuée semble toutefois possible sous des conditions climatiques favorables. Par ailleurs, les analyses phylogéographiques ont montré que les peuplements d'*O. e. laperrinei* présentent des affinités avec les oliviers des régions méditerranéennes et subsahariennes, mais la différenciation génétique élevée entre populations (en particulier sur les marqueurs de l'ADN plastidique qui sont transmis uniquement par la mère) indique que les flux de gènes naturels entre massifs sont faibles, voire inexistant, depuis une longue période. La datation de ces événements reste un challenge qui permettrait de déterminer dans quelles conditions environnementales ces populations se sont séparées. Des croisements entre l'olivier de Laperrine et d'autres sous-espèces d'olivier diploïdes (subsp. *cuspidata* et *europaea*) ont été récemment reportés. Les analyses génétiques ont même montré qu'*O. e. laperrinei* a été impliqué dans la diversification secondaire de l'olivier cultivé au Maghreb. Face aux changements globaux et à l'impact grandissant des activités humaines sur la flore saharienne, le maintien des populations de ce taxon est incertain, notamment dans les monts Bagzane au Niger. Des programmes de conservation sont donc nécessaires pour conserver cette importante ressource génétique de l'olivier.

Mots clés : génétique des populations, montagnes sahariennes, *Olea europaea*, olivier, phylogéographie, reproduction végétative.



Massif du Hoggar avec des oliviers de Laperrine dans le lit de l'oued Akerakar, Algérie (© G. Besnard)

Histoire du dattier (*Phoenix dactylifera* L.) en Afrique : impact de l'homme et du climat

*History of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.) in Africa: human and climate impact*

Muriel GROS-BALTHAZARD^{1,2,3*}, Claire NEWTON^{2,4}, Sarah IVORRA², Jean-Christophe PINTAUD³,
Daniel WEGMANN¹ & Jean-Frédéric TERRAL²

¹ Université de Fribourg, 10 chemin du Musée, 1700 Fribourg, Suisse.

² Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie (CBAE), UMR 5059 Université Montpellier 2 / CNRS / EPHE / INRAP, Institut de Botanique, 163 rue Auguste Broussonnet, 34090 Montpellier, France.

³ Institut de Recherche pour le Développement (IRD), 911 avenue Agropolis, 34394 Montpellier cedex 05, France.

⁴ Laboratoire d'archéologie et de patrimoine, Université du Québec à Rimouski, 300 allée des Ursulines, Rimouski (Qc) G3L 3A1, Canada.

* Contact : muriel.grosb@gmail.com

Le dattier (*Phoenix dactylifera*) constitue la clé de voûte des agrosystèmes oasiens d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient. Les origines de sa domestication remonteraient au quatrième millénaire avant notre ère dans la Péninsule Arabique. Cette hypothèse repose sur différents arguments : c'est au Moyen-Orient que des restes attribués à *P. dactylifera* et pré-datant la domestication ont été retrouvés (tandis qu'ils sont absents en Afrique) indiquant que sa distribution originelle se situait probablement dans cette région. Les restes archéobotaniques attestent de la culture du dattier dès la fin du quatrième millénaire avant notre ère autour du Golfe Persique tandis qu'elle semble plus récente en Afrique (deuxième millénaire avant notre ère). Enfin, les seules populations de dattiers sauvages identifiées à l'heure actuelle se trouvent au Sultanat d'Oman.

Pour vérifier l'hypothèse d'une origine unique au Moyen-Orient, une étude génétique a été réalisée. Des dattiers cultivés échantillonnés en Afrique et au Moyen-Orient ainsi que les dattiers sauvages d'Oman ont été génotypés sur 17 locus microsatellites nucléaires et un minisatellite chloroplastique. Les marqueurs nucléaires indiquent une forte structuration géographique chez le dattier : les dattiers d'Afrique sont parfaitement différenciés des dattiers Moyen-Orientaux. En outre, la différenciation entre ces deux groupes est plus forte que la différenciation entre les dattiers sauvages et cultivés.

La diversité apparaît plus forte dans le groupe africain en comparaison du groupe des cultivés Moyen-Orientaux. La combinaison des données chloroplastiques et nucléaires indiquent une diffusion de la culture, principalement d'Est en Ouest, mais également, dans une moindre mesure d'Ouest en Est. Ces résultats réfutent donc l'hypothèse d'une domestication unique au Moyen-Orient suivie d'une diffusion en Afrique. Au contraire, le dattier aurait également été domestiqué en Afrique. La question d'une domestication primaire ou secondaire dans cette région est à l'heure actuelle étudiée à l'aide d'*Approximate Bayesian Computation*.

En conclusion, il apparaît que la distribution originelle du dattier couvrait également toute ou une partie de l'Afrique du Nord. Les changements climatiques survenus au cours de l'Holocène, sans doute à la même époque où le dattier a été domestiqué ont pu éradiquer ou repousser les populations sauvages dans les zones refuge tandis que les populations cultivées ont été maintenues par l'homme grâce à l'irrigation. La présence potentielle de populations sauvages relictuelles dans cette région nécessite donc d'être approfondie puisqu'elles constitueraient un réservoir de diversité pour l'amélioration variétale.

Mots clés : dattier, domestication, ancêtre sauvage, désertification.



Le socio-écosystème de la Grande Muraille Verte entre environnement végétal, restauration écosystémique, santé et bien-être des populations

The socio-ecosystem of the Great Green Wall between plant environment, ecosystem restoration, health and well-being of populations

Giles BOËTSCH^{1,2*} & Aliou GUISSÉ^{1,2*}

¹ Unité mixte internationale Environnement Santé Sociétés (ESS), UMI ESS 3189 Université Cheikh Anta Diop de Dakar / Université de Bamako / CNRS / CNRST de Ouagadougou, Dakar, Sénégal.

² Observatoire Hommes-Milieus International (OHMI) Tessékéré, CNRS, Dakar, Sénégal.

* Contacts : gilles.boetsch@gmail.com / aliou.guisse@ucad.edu.sn

Touchés par la désertification due au changement climatique et au surpâturage, les états africains sahéliens décident de mettre en place une restauration écologique des systèmes forestiers dégradés. L'environnement végétal en place sert de base à la politique de restauration en accroissant à la fois la densité et en envisageant d'accroître la biodiversité. Cette politique, qui doit être acceptée par les éleveurs locaux, aura des conséquences sur les modes de vie (en particulier plus grande diversité de ressources économiques), l'alimentation (changement et diversité alimentaire) et la santé (maladies transmissibles vs maladies chroniques non-transmissibles ; accès à des équipements sanitaires plus performants) des populations locales.

Affected by desertification due to climate change and overgrazing, Sahelian African states decided to implement an ecological restoration of degraded forest systems. The plant environment in place is the basis for the restoration policy by increasing both the density and considering increasing biodiversity. This policy, which must be accepted by local Fulani herdsmen, will affect lifestyles (especially greater diversity of economic resources), food (dietary diversity and change) and health (communicable diseases vs. chronic non-transmitted diseases, access to health facilities more efficient) of local populations.

Mots clés : écologie humaine, régénération écosystémique, écologie globale, socio-écosystème.



Limiter la progression du désert, Tunisie (© F. Médail)

Flore et végétation du Sahara algérien : synthèse et perspectives de recherche

Flora and vegetation of the Algerian Sahara: review and perspectives

Salima BENHOUBOU^{1*}, Abdelkader Nabil BENGHANEM^{2*}

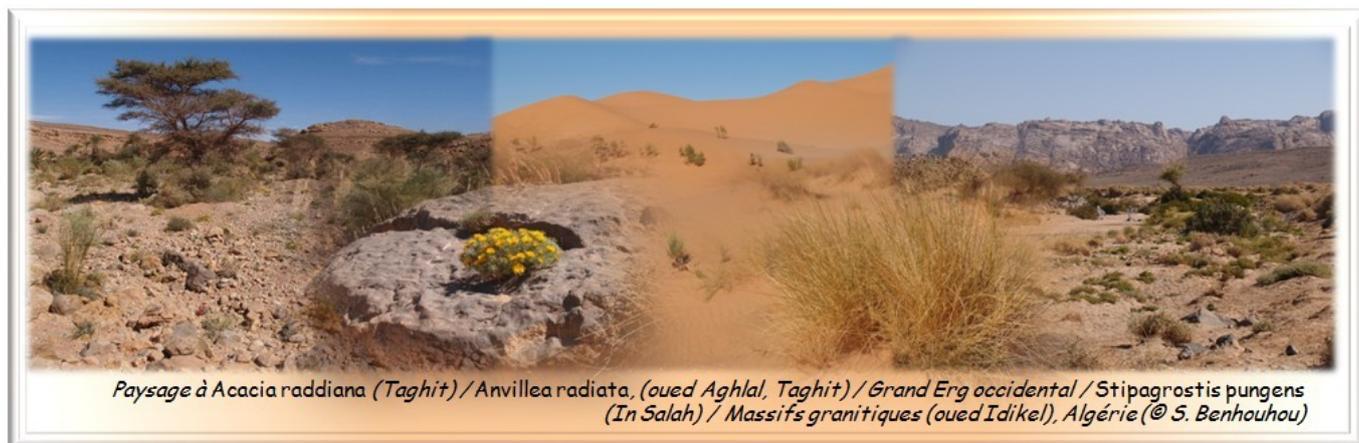
¹ Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Hassen Badi, 16200 El Harrach, Algérie.

² Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie.

* Contacts : sbenhouhou@yahoo.fr / nbenghanem@hotmail.com

Le cadre physique du Sahara algérien est présenté de manière synthétique permettant de cerner l'immensité de ce territoire et d'appréhender la relative faible proportion des habitats favorables au maintien d'une couverture végétale. Ce sont surtout les oueds et les vallées sèches qui contiennent les groupements végétaux les plus diversifiés alors que les habitats dunaires (ergs) sont caractérisés par une grande pauvreté floristique. Les vastes plateaux pierreux, avec leur physionomie monotone, constituent l'habitat le plus pauvre et occupent en proportion le territoire le plus important. La couverture végétale, à déterminisme géomorphologique, est étroitement liée à l'habitat qui l'abrite. C'est au niveau des différents types d'oueds que l'on rencontre le plus grand nombre de groupements, soit 25 associations végétales. Viennent ensuite les groupements des djebels, rocailles et massifs montagneux où 10 associations sont distinguées. Les habitats de type erg, hamada et reg, présentent une faible diversité phytocœnotique avec 11 associations pour les milieux sablonneux et 7 associations pour les plateaux pierreux. Enfin, les zones humides, surtout celles rencontrées au Sahara central, sont caractérisées par 5 associations. L'analyse de la composante floristique, basée sur les flores de Quézel et Santa (1962-63) et Ozenda (2004), a permis la réalisation d'une matrice des taxons de l'écosystème saharien avec 668 taxons dont 147 endémiques. La mise à jour nomenclaturale des taxons a été réalisée à partir de l'index synonymique de la flore d'Afrique du Nord (Dobignard et Chatelain, 2010, 2011 et 2013). Cette synthèse a permis de faire ressortir les objectifs de recherche à mettre en œuvre. Parmi les plus urgents, citons la mise en place de campagnes d'échantillonnage de manière systématique à travers les différentes régions du Sahara algérien et la recherche des limites géographiques des associations végétales, en distinguant plus finement leurs habitats géomorphologiques de prédilection. Ces prospections doivent également permettre de clarifier la hiérarchisation syntaxonomique de la végétation saharienne. Enfin, le choix du cadre de référence nomenclaturale devra être fait sur la base d'un consensus entre botanistes nationaux et internationaux pour tenter de régler les problèmes récurrents des synonymies.

Mots clés : Sahara algérien, végétation, syntaxonomie, flore, valeur patrimoniale, perspectives de recherche



Une vision du Tibesti au travers de son entomofaune

A view of the Tibesti through its entomofauna

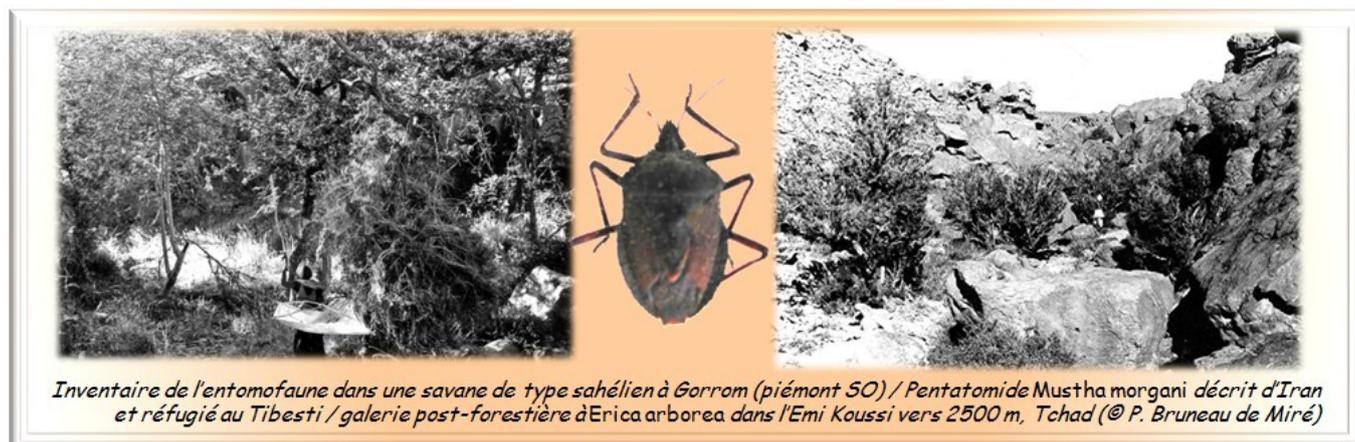
Philippe BRUNEAU DE MIRÉ*

10, rue Charles Meunier, 77210 Avon, France.

* Contact : bilimir@aol.com

Le Tibesti, dont l'altitude dépasse 3000 mètres en étant isolé au cœur du Sahara méridional, offre comme tout massif montagneux des conditions favorables à la différenciation d'une faune dont le caractère relictuel devrait être accentué par l'insularité. L'étude de l'entomofaune infirme ce schéma. Tout se passe comme si l'assèchement présent succédant à une phase humide était un phénomène subactuel ayant effacé presque entièrement l'endémisme sur le massif. On note un effet de versant qui pourrait indiquer qu'il a servi récemment encore de limite entre domaines méditerranéen et tropical. Cependant, en dépit de l'écrasante domination de la faune tropicale, de rares espèces à aire disjointe incitent à penser que des influences tant méditerranéennes qu'irano-touraniennes ont pu se manifester au cours de son peuplement.

Mots clés : Sahara, Tibesti, désertification, biogéographie, faune entomologique.



La distribution et l'abondance des grands mammifères au Sahara : déclin total, futur dans nos mains

The distribution and abundance of large mammals in the Sahara: total decline, future in our hands

Koenraad DE SMET*

Sahara Conservation Fund

* Contact : koenraad.desmet@gmail.com

Longtemps la distribution des mammifères au Sahara est restée mal connue et même à ce jour, il reste des zones immenses où les données sont rares voire absentes. Pensons au Sud Ouest algérien, au Nord du Mali, à l'Est Mauritanien et au Nord du Soudan. Les vides dans les cartes de distributions du lièvre et de la gazelle dorcas sont probablement dus aux manques de données. Mais, souvent les espèces disparaissent avant d'être découvertes ou sont observées en étudiant d'autres espèces comme dans le cas du léopard au Hoggar. Parfois des familles entières n'existent pas pour la science, à l'image des Damans dans les montagnes du Sahara central.

Mais le déclin est omniprésent et alarmant : l'oryx n'existe plus à l'état sauvage, le lycaon a disparu aussi, le guépard n'existe plus au nord du Sahara et la gazelle dama a été presque éliminée.

Au nord la pression humaine est dévastatrice : des champs pétrolifères partout, des millions de moutons transportés par camions après chaque averse et le camion-citerne qui rend tout pâturage accessible. Des milliers de 4x4 haut de gamme et l'omniprésence des téléphones mobiles ne laissent aucune chance au « gibier », sans compter les armes de guerre disponibles partout et à des prix dérisoires. Au Sahel, le surpâturage reste alarmant et les forages ont ouvert tout le territoire pour le bétail. Heureusement la pluviométrie n'est pas si mauvaise.

Ce sont donc surtout des facteurs humains qui nuisent aux populations d'animaux sauvages. Les actions dans le Sud tunisien et dans le Nord-est du Niger où l'on combine protection de l'habitat, coopération avec les populations locales et réintroduction montrent toutefois que ce n'est pas trop tard.

Mots clés : *mammifères, Sahara, menaces, conservation.*



Gazella leptoceros subsistant dans les dunes où le braconnage est difficile / Forêt d'Acacia en régénération depuis trois ans pour le retour de la faune, Burkina Faso / Guépard protégé dans les montagnes où ses proies abondent, mais tué par les bergers quand il s'attaque aux jeunes chameaux / Oryx dammah réintroduit dans les parcs nationaux, Sud Tunisie (@ Koenraad De Smet)

Biodiversité, évolution et menaces dans le Sahara-Sahel : nouveaux éclairages pour la conservation

Unravelling biodiversity, evolution and threats to conservation in the Sahara-Sahel

Pierre-André CROCHET¹, José C. BRITO^{2,3}, Raquel GODINHO², Fernando MARTINEZ-FREIRIA², Juan M. PLEGUEZUELOS⁴, Hugo REBELO^{2,5}, Xavier SANTOS², Candida G. VALE^{2,3}, Guillermo VELO-ANTON², Zbyszek BORATYNSKI^{2,6}, Sílvia B. CARVALHO², Sonia FERREIRA^{2,3}, Duarte V. GONCALVEZ^{2,3}, Teresa L. SILVA^{2,3}, Pedro TARROSO², Joao C. CAMPOS^{2,3}, Joa V. LEITE², Joana NOGUEIRA^{2,3}, Francisco ALVARES², Neftali SILLERO⁷, Andack S. SOW⁸, Soumia FAHD⁸ & Salvador CARRANZA⁹

¹ Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CEFE), UMR 5175 Universités Montpellier 1 et 2 / CNRS / EPHE / CIRAD / IRD / INRA SupAgro, 34293 Montpellier, France.

Contact : pierre-andre.crochet@cefe.cnrs.fr

² CIBIO/InBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos da Universidade do Porto, 4485-661 Vairão, Portugal.

³ Departamento de Biologia da, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 4169-007 Porto, Portugal.

⁴ Departamento de Biología Animal, Universidad de Granada, 18071 Granada, Espagne.

⁵ School of Biological Sciences, University of Bristol, BS8 1UG Bristol, Royaume-Uni.

⁶ Centre of Excellence in Evolutionary Research, Department of Biological and Environmental Science, University of Jyväskylä, Survantie 9, Finlande.

⁷ Centro de Investigação em Ciências Geo-Espaciais (CICGE) da Universidade do Porto, 4169-007 Porto, Portugal.

⁸ Département de Biologie, Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan, Maroc.

⁹ Institute of Evolutionary Biology, CSIC-Universitat Pompeu Fabra, 08003 Barcelona, Espagne.

* Contacts : pierre-andre.crochet@cefe.cnrs.fr / jcbrito@cibio.up.pt

Deserts and arid regions are generally perceived as bare and rather homogeneous areas of low diversity. The Sahara is the largest warm desert in the world and together with the arid Sahel displays high topographical and climatic heterogeneity, and has experienced recent and strong climatic oscillations that have greatly shifted biodiversity distribution and community composition. The large size, remoteness and long-term political instability of the Sahara-Sahel, have limited knowledge on its biodiversity. However, over the last decade, there have been an increasing number of published scientific studies based on modern geomatic and molecular tools, and broad sampling of taxa of these regions. This review tracks trends in knowledge about biodiversity patterns, processes and threats across the Sahara-Sahel, and anticipates needs for biodiversity research and conservation. Recent studies are changing completely the perception of regional biodiversity patterns. Instead of relatively low species diversity with distribution covering most of the region, studies now suggest a high rate of endemism and larger number of species, with much narrower and fragmented ranges, frequently limited to micro-hotspots of biodiversity. Molecular-based studies are also unravelling cryptic diversity associated with mountains, which together with recent distribution atlases, allows identifying integrative biogeographic patterns in biodiversity distribution. Mapping of multivariate environmental variation (at 1 km x1 km resolution) of the region illustrates main biogeographical features of the Sahara-Sahel and supports recently hypothesised dispersal corridors and refugia. Micro-scale water-features present mostly in mountains have been associated with local biodiversity hotspots. However, the distribution of available data on vertebrates highlights current knowledge gaps that still apply to a large proportion of the Sahara-Sahel. Current research is providing insights into key evolutionary and ecological processes, including causes and timing of radiation and divergence for multiple taxa, and associating the onset of the Sahara with diversification processes for low-mobility vertebrates. Examples of phylogeographic patterns are showing the importance of allopatric speciation in the Sahara-Sahel, and this review presents a synthetic overview of the most commonly hypothesised diversification mechanisms. Studies are also stressing that biodiversity is threatened by increasing human activities in the region, including overhunting and natural resources prospection, and in the future by predicted global warming. A representation of areas of conflict, landmines, and natural resources extraction illustrates how human activities and regional insecurity are hampering biodiversity research and conservation. Although there are still numerous knowledge gaps for the optimised conservation of biodiversity in the region, a set of research priorities is provided to identify the framework data needed to support regional conservation planning.

Mots clés : Africa, biodiversity, climate change, conservation, deserts, distribution, diversification, phylogeography, Sahara, Sahel.

La faune aquatique du Sahara : biodiversité, origine et menaces

The aquatic fauna of the Sahara: biodiversity, origin and threats

Sébastien TRAPE^{1*}, Jean-François TRAPE^{2*}

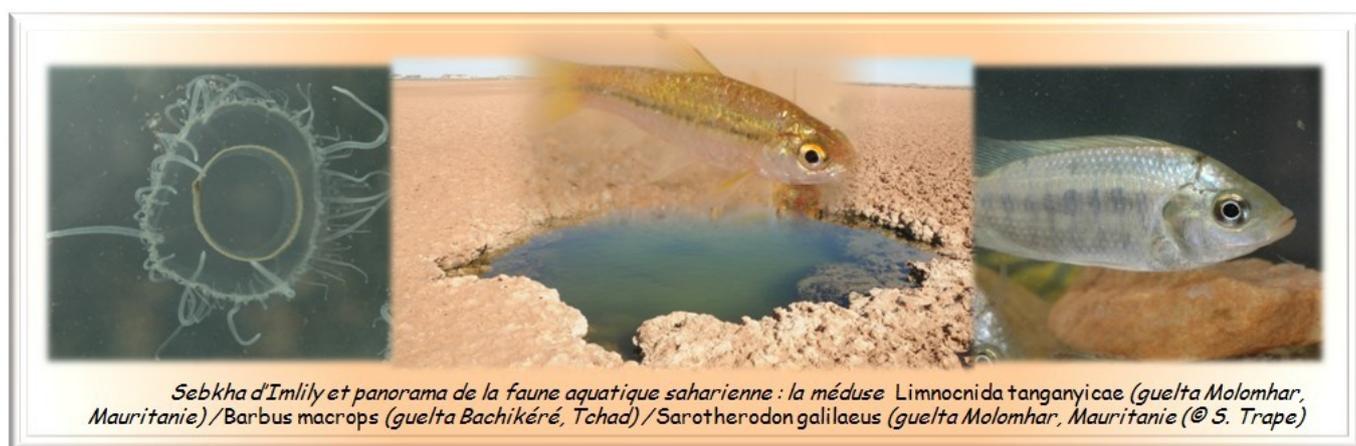
¹ Laboratoire Biocomplexité des Ecosystèmes Coralliens de l'Indo-Pacifique (CoReUs), UR 227 Institut de Recherche pour le Développement, BP 44, 66651 Banyuls, France.

² Laboratoire de Paludologie et Zoologie Médicale, Institut de Recherche pour le Développement, BP 1386 Dakar, Sénégal.

* Contacts : sebastien_trape@yahoo.fr / jean-francois.trape@ird.fr

De nombreux points d'eau temporaires ou permanents, d'eau douce ou saumâtre, existent au Sahara. Généralement situés au sein des reliefs montagneux mais également en plaine dans des dépressions, ils abritent une biodiversité souvent variée (poissons, amphibiens, tortues, crocodiles, mollusques, crustacés, méduses, arthropodes, bactéries et virus). Outre les espèces dont le cycle de vie se déroule entièrement ou en partie dans l'eau, d'autres les utilisent occasionnellement ou régulièrement pour s'abreuver et s'alimenter (mammifères, oiseaux et reptiles). Souvent remarquable par leur origine, car faune relique de l'holocène quand le Sahara était beaucoup plus humide et disposait de réseaux hydrologiques actifs le reliant à l'Afrique tropicale et au Maghreb, la faune du Sahara présente un grand intérêt biologique, biogéographique et évolutif. Elle reste toutefois encore peu étudiée même dans les régions les plus accessibles et anciennement explorées. Des enquêtes récentes de terrain montrent la présence d'espèces jusqu'à présent méconnues, mais aussi la grande vulnérabilité de certaines d'entre elles, parmi les plus remarquables. Plusieurs espèces de poissons ne sont connues que d'une seule collection d'eau sur toute l'étendue du Sahara et plusieurs peuplements en poissons ont disparu depuis les années 1970 sous l'effet de la sécheresse, certains points d'eau permanents étant devenus temporaires. Les crocodiles ont été exterminés par l'homme du Sahara marocain, algérien et tunisien mais persistent toujours en petites populations comprenant quelques adultes dans des gueltas du Tagant en Mauritanie et de l'Ennedi au Tchad. Bien que des mesures de protection existent désormais pour certains sites parmi les plus remarquables, comme les lacs d'Ounianga au Tchad, la plupart ne bénéficient d'aucune mesure de protection et une partie de leur faune aquatique apparaît très vulnérable.

Mots clés : Sahara, faune aquatique, poissons, reptiles, amphibiens.



Adaptations des bactéries aux déserts chauds et secs

Bacterial adaptations to hot and dry deserts

Thierry HEULIN*

¹ Laboratoire d'Écologie Microbienne de la Rhizosphère et Environnements extrêmes (LEMIRE), UMR 7265 Aix-Marseille Université / CNRS / CEA Biologie Végétale et Microbiologie Environnementales (BVME), Institut de Biologie Environnementale et de Biotechnologie (iBEB), CEA Cadarache, 13108 Saint-Paul-lez-Durance, France.

* Contact : thierry.heulin@cea.fr

Hot and dry deserts can be considered as the paradigm of terrestrial extreme environments. All living organisms are submitted to the same major limiting factor: water. Other limiting factors such as temperature, solar radiation and oligotrophy added to the lack of water generated a large diversity of adaptation mechanisms.

We are interested in adaptation mechanisms of microorganisms to desert conditions, especially in the Sahara. For that we have characterized the diversity of microorganisms (bacteria and archaea) using culture-dependent and -independent methods (cloning/sequencing of the 16S rDNA).

We found that about 80% of 16S rDNA sequences did not have any close relative among the described bacterial species, suggesting the presence of a majority of "new" species to be described. These data confirmed that *Firmicutes* (*Bacillus*, *Paenibacillus*...) and *Actinobacteria* (*Arthrobacter*...) represented the dominant bacterial communities in deserts such as Sahara (Chanal *et al.*, 2006; Gommeaux *et al.* 2010; Benzerara *et al.* 2006) and Namib (Prestel *et al.*, 2008). These studies also revealed the abundance and a huge diversity of *Proteobacteria* belonging to the four subgroups (α , β , γ , δ).

Considering the *Proteobacteria*, their adaptation to desiccation deserves to be explored as the mechanisms involved are still largely ignored. For instance, the betaproteobacterium *Ramlibacter tataouinensis* (Heulin *et al.*, 2003), for which the genome was sequenced and analysed (De Luca *et al.*, 2011), is characterized by an original cell cycle including a cyst-dividing phase (Gommeaux *et al.*, 2005, Heulin *et al.*, 2003, De Luca *et al.*, 2011) probably responsible for its adaptation to desiccation and its adaptation to mineral environment (Benzerara *et al.*, 2004a/b).

Benzerara *et al.* (2004a) *Geomicrobiol J* 21:341-9

Benzerara *et al.* (2004b) *Earth Planet Sci Lett* 228:439-49

Benzerara *et al.* (2006) *Meteor Planet Sci* 41(8):1249-65

Chanal *et al.* (2006) *Environ Microbiol* 8(3):514-25

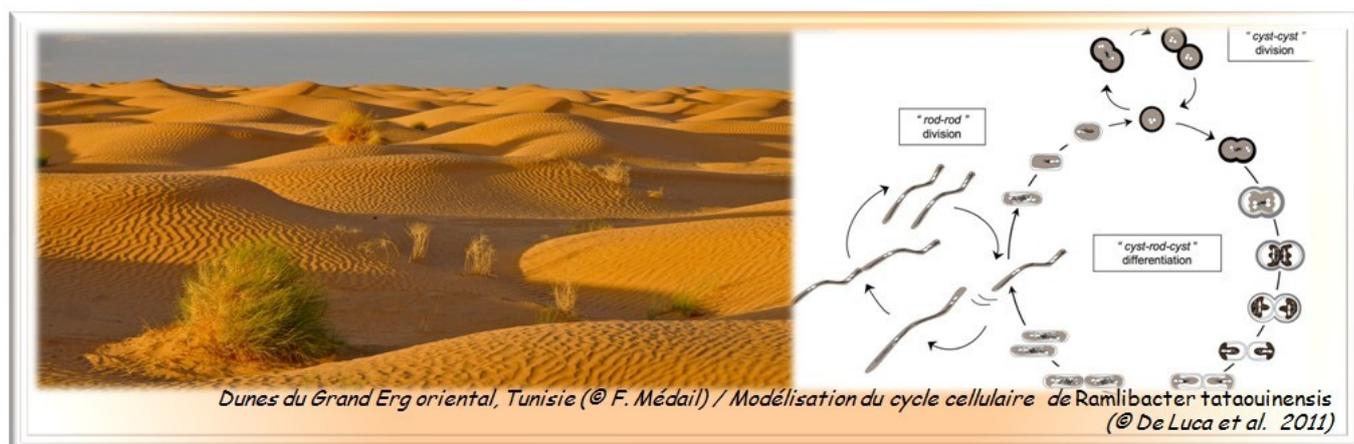
De Luca *et al.* (2011) *PLoS One* 6(9):e23784

Gommeaux *et al.* (2005) *Res Microbiol* 156: 1026-30

Gommeaux *et al.* (2010) *Geomicrobiol J* 27:76-92

Heulin *et al.* (2003) *Int J Syst Evol Microbiol* 53(2):589-94

Mots clés : Sahara, diversity, bacteria, desiccation, adaptation.



Le Sahara, Impacts de changements environnementaux extrêmes sur la biodiversité



Crédit photo : Imbe / Jeremy Migliore

Jeudi 28 novembre après-midi : *Un regard sur le passé*
Vendredi 29 novembre matin : *La biodiversité dans tous ses états*

Bilan des dernières avancées scientifiques sur le Sahara, à l'interface entre paléosciences, sciences du climat et de la terre, archéologie, écologie et évolution

Colloque

Jeudi 28 - Vendredi 29 novembre 2013
Technopôle Arbois-Méditerranée
Amphithéâtre CEREGE - Aix en Provence

Inscription obligatoire
et renseignements :
www.imbe.fr
Jeremy.migliore@imbe.fr



Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie
marine et continentale

