

Batrachochytrium dendrobatidis : ein Chytridpilz, der zum weltweiten Amphibiensterben beiträgt = un chytridiomycète qui menace la survie des amphibiens à l'échelle mondiale

Autor(en): **Tobler, Ursina / Schmidt, Benedikt / Geiger, Corina**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Pilzkunde = Bulletin suisse de mycologie**

Band (Jahr): **88 (2010)**

Heft 3

PDF erstellt am: **17.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-935915>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Batrachochytrium dendrobatidis: ein Chytridpilz, der zum weltweiten Amphibiensterben beiträgt

URSINA TOBLER, BENEDIKT SCHMIDT & CORINA GEIGER

Eine neu entdeckte Pilzkrankheit, die Chytridiomykose, bedroht weltweit Amphibien und hat bereits zum Aussterben von Arten geführt. Ausgelöst wird die Krankheit durch den Chytridiomyzeten *Batrachochytrium dendrobatidis* (griech. batrachos: Frosch, chytra: Topf, *Dendrobates* ist der Gattungsname des Frosches, von dem der Erreger erstmals isoliert wurde; zu Deutsch Amphibienchytridpilz), der die Haut der Amphibien befällt. Vor allem in tropischen Regionen wirkt die Chytridiomykose teilweise verheerend und stellt eine Hauptbedrohung der Amphibien dar: In Mittelamerika beispielsweise breitet sich eine Ausbreitungsfront, welche sich von Westen nach Osten bewegt (Lips et al. 2006). Nachträglich konnte man den Erreger um ca. 1987 in Monteverde in Costa Rica nachweisen und damit vermutlich das Aussterben der Goldkröte (*Bufo periglenes*) retrospektiv erklären. Um ca. 1993 war er bereits bis an die Grenze zu Panama vorgedrungen und zehn Jahre darauf erreichte er den Golf von Panama. Hinter der Krankheitsfront verschwanden verschiedene Froscharten. Den wenigen toten Tieren, die gefunden wurden, sah man keine eindeutigen Symptome an, ledig-

lich ihre Haut löste sich ab, was jedoch bei toten Amphibien keine Seltenheit ist (Abb. 1). Auch in Australien hat der Amphibienchytridpilz zum Verschwinden mehrerer Arten beigetragen, so etwa beim Spitzschnauzen-Tagfrosch (*Taudactylus acutirostris*) (Berger et al. 1998). Seit etwa zehn Jahren beobachtet man auch in spanischen Gebirgen ein durch den Chytridpilz ausgelöstes Verschwinden von Amphibienpopulationen (Bosch et al. 2001, Bosch & Martinez-Solano 2006). Nicht in allen Fällen führt die Chytridiomykose jedoch zum vollständigen Verschwinden einer Art (Kriger & Hero 2008). Besonders häufig sterben tropische Arten in höher gelegenen Regionen aus. Arten, die ein größeres Verbreitungsgebiet haben und auch in tieferen Lagen vorkommen, können dort mitunter trotz Amphibienchytridpilz überleben.

Herkunft und Verwandtschaft

Entdeckt wurde *Batrachochytrium dendrobatidis* erst 1998, als nach der Ursache von Massensterben unter Australischen und Mittelamerikanischen Fröschen gesucht wurde (Longcore et al. 1999). Dabei wurde der Amphibienchytridpilz als



JAIME BOSCH

Abb. 1 An Chytridiomykose verendete Geburtshelferkröten in Penalara, Spanien.

Ill. 1 Des crapauds accoucheurs atteints et décimés par la chytridiomycose à Penalara, Espagne.

Verursacher der Hautkrankheit Chytridiomykose identifiziert, die bei vielen Arten zum Tod führt. Woher der Pilz kam, ist bis heute nicht restlos geklärt. Zwei Hypothesen versuchen die Herkunft des Pathogens zu erklären: Die eine Hypothese besagt, dass es ein neu evoluiertes Krankheitserreger ist oder ein milder Keim, der durch eine Umweltveränderung pathogener wurde (Rachowicz et al. 2005). Als mögliche Ursache einer solchen Steigerung der Pathogenität wird der Klimawandel diskutiert. Die zweite Hypothese besagt, dass der Pilz aus einem endemischen Ursprungsgebiet in neue Gebiete verschleppt wurde, wo er auf naive Arten trifft, die dem Erreger noch nie begegnet sind und keine Abwehrkräfte dagegen besitzen, und dadurch grossen Schaden anrichtet. Bisher gilt ein Krallenfrosch, der 1938 in Südafrika konserviert wurde, als ältester Fund, weshalb eine Verbreitung «Out of Africa» wahrscheinlich ist. Als Verbreitungsweg bietet sich der Handel mit Krallenfröschen für Forschungslaboratorien und für diagnostische Zwecke an: In den 1960er Jahren wurden Krallenfrösche für Schwangerschaftstests verwendet. Spritzt man einem Weibchen den Urin einer schwangeren Frau, legt es innert weniger Tage Eier ab. Auch wenn für diesen Zweck keine Krallenfrösche mehr importiert werden, so werden auch heute noch in Forschungseinrichtungen aller Welt Krallenfrösche – meist Wildfänge – verwendet und importiert. Krallenfrösche selbst erkranken

nicht an Chytridiomykose, obwohl sie vom Erreger infiziert sein und als Reservoir dienen können. Da man den Fröschen die Infektion nicht ansieht, ist die Verbreitung auf alle Kontinente durch den Handel mit Krallen- oder anderen Fröschen nahe liegend (Fisher & Garner 2007).

Die Genetik des Amphibienchytridpilzes deutet darauf hin, dass er aus der Rekombination zweier diploider Elternarten entstanden ist und dass es sich um einen neu evoluierten Erreger handelt: Stämme von *Batrachochytrium* weisen einen hohen Grad an Heterozygotie auf und an jedem Genort liegen höchstens zwei verschiedenen Genvarianten vor, ausserdem (James et al. 2009). Als Elternarten kommen Pilze aus der Klasse der Chytridiomyzeten in Frage, die nächsten Verwandten der Gattung *Batrachochytrium* (Fisher et al. 2009b). Diese parasitieren einzellige Algen oder sind frei vorkommende Zersetzer, wie auch ihre weiteren Verwandten innerhalb des Stammes der Chytridiomycota. *Batrachochytrium dendrobatidis* ist der einzige Vertreter seiner Gattung und einer von nur gerade zwei Vertretern der Chytridiomycota, die Wirbeltiere parasitieren.

Morphologie, Physiologie und Fortpflanzung

Batrachochytrium ist ein diploider Chytridiomyzete, der sich vermutlich ausschliesslich klonal fortpflanzt. Er besitzt zwei Lebensstadien: ein Zoosporangium, das der Vermehrung dient, und Zoosporen, die der Verbreitung dienen; ein Dauerstadium, wie dieses nach sexueller Vermehrung vorkommt, wurde bisher nicht nachgewiesen und auch die Populationsgenetik deutet auf asexuelle Fortpflanzung hin (Morgan et al. 2007).

Die frei schwimmenden Zoosporen sind ca. 3–5 µm lang und besitzen eine 19–20 µm lange Geissel, mit der sie sich fortbewegen. Zoosporen sind in der Regel sphärisch rund, besitzen keine Zellwand und sind besonders auffällig aufgrund ihrer zahlreichen (>5) Liposomen, anhand derer sie sich von anderen Chytridiomyzeten unterscheiden lassen (Longcore et al. 1999). Sie sind meist nur für kurze Zeit schwimmfähig und legen selbständig nur Distanzen von ca. 2 cm zurück, bevor sie ihre Beweglichkeit nach ca. 24 Stunden verlieren. Dabei wenden sie jedoch Chemotaxis an um Amphibi-

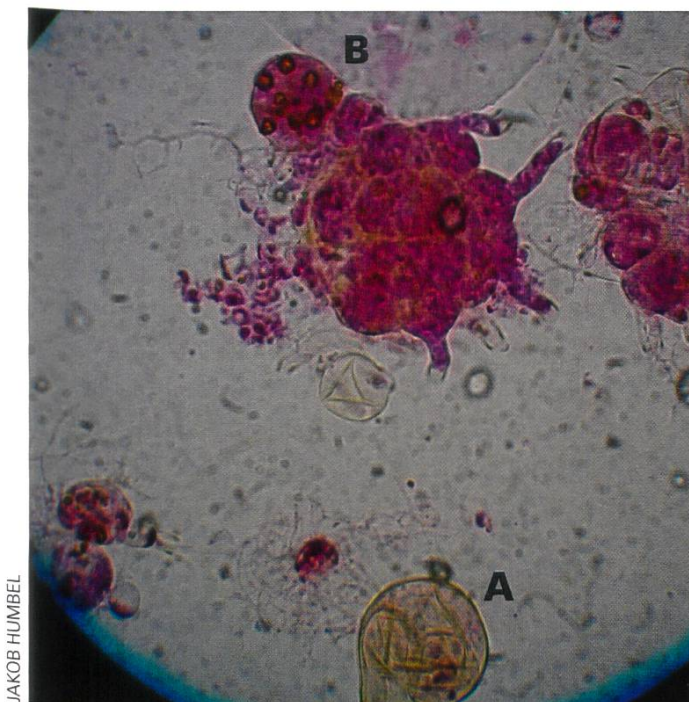


Abb. 2 Zoosporangien von *Batrachochytrium dendrobatidis*. A: entleertes Zoosporangium mit Ausführgang nach links. B: reifes Zoosporangium mit Zoosporen (gelb).

Ill. 2 Zoosporanges de *Batrachochytrium dendrobatidis*. A: zoosporange vide avec l'issue des zoospores vers la gauche. B: zoosporanges mûrs avec des zoospores (jaunes).

bienhaut aufzuspüren und können in geeigneten Medien, z. B. Seewasser, bis zu 7 Wochen infektiös bleiben (Johnson & Speare 2003, Piotrowski et al. 2004). Treffen die Zoosporen auf Amphibienhaut, dringen sie in die Keratinschicht der Haut ein und enzystieren dort, worauf die Vermehrungsphase als Zoosporangium beginnt. Aus dem Keimling wachsen sich fein verzweigende Rhizoide heraus und der Fruchtkörper (Thallus) beginnt zu wachsen. Durch mitotische Teilungen des Zellkerns wird der Thallus nun mehrkernig, manche Thalli teilen sich sogar in zwei oder mehr Zoosporangien auf. Der Thallus wird nun von einer Zellwand aus Chitin umgeben und es bilden sich ein bis mehrere Ausführgänge, die bis zu 10 µm lang sein können. Im Inneren der reifenden Thalli (Zoosporangien), die eine Grösse von maximal 40 µm erreichen, bilden sich um die neu geteilten Zellkerne neue Zoosporen, bis zu 150 pro Zoosporangium (Abb. 2). Wenn diese reif sind, werden sie durch einen oder mehrere Ausführgänge durch die Amphibienhaut hindurch an die Umwelt abgegeben. Dort können sie entweder direkt benachbarte Hautpartien oder einen neuen Wirt infizieren. Der Lebenszyklus beträgt je nach Temperatur etwa 4–5 Tage.

Batrachochytrium verdaut Keratin, also Hornmaterial, und hat eine optimale Wachstumstemperatur von 17–23°C in Kultur, wächst aber von 4–28°C; dies kann je nach Stamm leicht variieren. Ab ca. 30°C stellt der Pilz sein Wachstum ein und stirbt innert weniger Tage ab (Piotrowski et al. 2004, Berger et al. 2005).

Auswirkungen auf Amphibien

Den Befall mit dem Chytridpilz sieht man Amphibien nicht an und auch die Krankheitssymptome sind nicht eindeutig. Ausgehend von der Infektion durch einige wenige Zoosporen breitet sich der Pilz auf der Froschhaut aus. Meist tritt der Tod erst mehrere Tage bis Wochen nach der Infektion ein; es bedarf zuerst einiger Zeit, bis sich der Chytridpilz über grosse Teile der Haut ausgebreitet hat und Symptome verursacht. Ist die Körperhaut grossflächig befallen, wird der Frosch lethargisch, hört auf zu fressen und bewegt sich kaum noch (Daszak et al. 1999). Allerdings gibt es auch Arten, die zwar vom Chytridpilz befallen werden, bei denen er aber nicht zum Tod führt; wahrscheinlich können sie die grossflächige Ausbreitung auf der Haut verhindern. Diese Arten stellen ein Reservoir dar, von dem aus andere Arten angesteckt werden können. Das Wachstum des Chytridpilzes in

der Amphibienhaut löst bei den Tieren eine Verdickung der Hornhautschicht, eine sogenannte Hyperkeratose, aus. Diese stellt vermutlich einen Abwehrmechanismus des Amphibs gegen das Pathogen dar. Da Amphibien jedoch ihren Wasser- und Salzhaushalt über die Haut regulieren, wird dieses Gleichgewicht durch die Infektion gestört. Eine aktuelle Studie konnte belegen, dass die Frösche infolge eines Elektrolytmangels an Herzstillstand sterben (Voyles et al. 2009).

Einige Arten sind jedoch in der Lage, die Ausbreitung des Pilzes auf der Haut einzudämmen. Wie genau sie das tun, ist noch nicht bekannt. Antimikrobielle Hautgifte, die die Frösche aus speziellen Drüsen absondern, wirken teilweise wachstumshemmend auf *Batrachochytrium* (Conlon et al. 2007). Doch auch Arten, die solche Hautgifte besitzen, können anscheinend an Chytridiomykose sterben. Andere wiederum besitzen kaum solche Hautgifte und können eine Infektion trotzdem überleben. Möglicherweise spielen hier symbiotische Hautbakterien eine Rolle (Harris et al. 2006, Woodhams et al. 2007). Die feuchte Amphibienhaut ist ein idealer Nährboden für die verschiedensten Bakterien und Pilze, die untereinander um den Lebensraum Froschhaut konkurrieren. Dazu setzen verschiedene Mikroben eine Reihe an Giften ein um ihre Konkurrenten in Schach zu halten. Da einerseits jeder Millimeter Froschhaut bereits von Mikroben besiedelt ist und andererseits die produzierten Gifte den Chytridpilz im Wachstum hemmen können, repräsentiert die Mikroflora auf der Haut einen weiteren möglichen Abwehrmechanismus gegen den Chytridpilz. Auf solche symbiotischen Hautbakterien setzt auch die Forschung ihre Hoffnung: Man versucht nun Froscharten gegen die Chytridiomykose resistent zu machen, indem man Bakterien auf die Haut aufträgt, die gegen den Chytridpilz wachstumshemmend wirken. Dieser probiotische Ansatz ist sicher viel versprechend, allerdings steckt diese Forschung noch in den Kinderschuhen und die Freisetzung von Bakterien wird kontrovers diskutiert. Eine Möglichkeit, den Amphibienchytridpilz dort zu bekämpfen, wo er bereits vorkommt, hat man somit noch nicht. Die einzige Möglichkeit besteht damit weiterhin in der Bekämpfung seiner Ausbreitung, auch mittels veterinärmedizinischer Kontrollen oder Quarantänen beim internationalen Handel mit Amphibien, wie das Australien beispielsweise vorsieht (die Schweiz leider nicht). Da sich einzelne Stämme des Chytridpilzes in ihrer Virulenz unter-

scheiden (Fisher et al. 2009a), kann eine Kontrolle der Einfuhr verhindern, dass virulente oder virulentere Stämme sich ausbreiten können.

Verbreitung in der Schweiz

Für viele Länder kommt die Verhinderung der Einfuhr reichlich spät. So ist in vielen Ländern nur noch eine Verhinderung der Ausbreitung des Chytridpilzes auf regionaler Ebene möglich. Auch in der Schweiz ist der Chytridpilz sehr weit verbreitet und kommt in ca. 50 % der Gewässer auf der Alpennordseite vor (aus dem Alpenraum und von der Alpensüdseite liegen kaum Daten vor). Die weiträumige Verbreitung lässt darauf schliessen, dass der Pilz nicht erst kürzlich eingeführt wurde. Wie lange er aber tatsächlich schon in der Schweiz vorkommt, ist bisher unbekannt, wird aber im Rahmen einer Masterarbeit an der Universität Zürich untersucht. Auch über die Auswirkungen des Chytridpilzes auf die Populationen einheimischer Amphibien ist noch nicht viel bekannt. Klar ist zwar, dass viele Arten in den letzten 25 Jahren starke Bestandeseinbussen erlitten und diese nicht in jedem Fall auf den Verlust des Lebensraumes zurückgeführt werden können. Inwiefern aber der Amphibienchytridpilz hier eine Rolle spielt, ist noch unbekannt. Die Geburtshelferkröten (*Alytes obstetricans*) beispielsweise haben seit ca. 1985 64 % ihrer Bestände eingebüsst und weisen in Laborexperimenten eine hohe Sterblichkeit durch Chytridiomykose auf. Die lokalen Aussterben korrelieren aber nicht mit dem Vorkommen des Krank-

heitserregers. Da wir es hier aber möglicherweise nur mit einem «Mangel an Beweisen» zu tun haben, werden an der Universität Zürich in Zusammenarbeit mit der Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz (Karch) weitere Studien durchgeführt, um den Einfluss des Chytridpilzes auf Amphibienpopulationen zu untersuchen, bzw. seine negativen Auswirkungen zu verringern. Denn auch wenn der Amphibienchytridpilz sicher nicht der allein Schuldige am weltweiten Amphibiensterben ist, so ist er doch eine zusätzliche Belastung für bereits bedrängte Bestände. Selbst in Fällen, in denen der Chytridpilz nicht zum Erlöschen von Populationen führt, kann er zu einer Verkleinerung der Populationsgrösse führen. Dadurch werden die Populationen dann empfindlicher auf andere negativ wirkenden Umwelteinflüsse. Daher ist es umso wichtiger, seine Ausbreitung bzw. die Verbreitung virulenterer Stämme durch Desinfektionsmassnahmen zu verhindern: Herpetologen und andere Personen, die innert kurzer Zeit mehrere verschiedene Amphibiengewässer aufsuchen, sollen jegliches Material, das mit Wasser in Berührung gekommen ist, vor dem Verlassen eines Gebietes gründlich desinfizieren (für Richtlinien zur Desinfektion und Empfehlungen bewährter Desinfektionsmittel siehe Schmidt et al. 2009). Nur so kann die Ausbreitung des Chytridpilzes verlangsamt werden, so dass die Amphibien Zeit haben, sich dieser neuen Bedrohung anzupassen.

LITERATUR | BIBLIOGRAPHIE

- BERGER L., HYATT A.D., SPEARE R. & J.E. LONGCORE 2005. Life cycle stages of the amphibian chytrid *Batrachochytrium dendrobatidis*. *Diseases of Aquatic Organisms* 68: 51-63.
- BERGER L., SPEARE R. et al. 1998. Chytridiomycosis causes amphibian mortality associated with population declines in the rain forests of Australia and Central America. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 95: 9031-9036.
- BOSCH J. & I. MARTINEZ-SOLANO 2006. Chytrid fungus infection related to unusual mortalities of *Salamandra salamandra* and *Bufo bufo* in the Penalara Natural Park, Spain. *Oryx* 40: 84-89.
- BOSCH J., MARTINEZ-SOLANO I. & M. GARCIA-PARIS 2001. Evidence of a chytrid fungus infection involved in the decline of the common midwife toad (*Alytes obstetricans*) in protected areas of central Spain. *Biological Conservation* 97: 331-337.
- CONLON J.M., WOODHAMS D.C., RAZA H., COQUET L., LEPRINCE J., JOUENNE T., VAUDRY H. & L.A. ROLLINS-SMITH 2007. Peptides with differential cytolytic activity from skin secretions of the lemur leaf frog *Hylomantis lemur*. *Toxicon* 50: 498-506.
- DASZAK P., BERGER L., CUNNINGHAM A.A., HYATT A.D., GREEN D.E. & R. SPEARE 1999. Emerging infectious diseases and amphibian population declines. *Emerging Infectious Diseases* 5: 735-748.
- FISHER M.C., BOSCH J., YIN Z., STEAD D.A., WALKER J., SELWAY L., BROWN A.J.P., WALKER L.A., GOW N.A.R., STAJICH J.E. & T.W.J. GARNER 2009a. Proteomic and phenotypic profiling of the amphibian pathogen *Batrachochytrium dendrobatidis* shows that genotype is linked to virulence. *Molecular Ecology* 18: 415-429.
- FISHER M.C., GARNER T.W.J. & S.F. WALKER 2009b. Global Emergence of *Batrachochytrium dendrobatidis* and Amphibian Chytridiomycosis in Space, Time, and Host. *Annual Review of Microbiology* 63: 291-310.
- FISHER M.C. & T.W.J. GARNER 2007 The relationship between the emergence of *Batrachochytrium dendrobatidis*, the international trade in amphibians and introduced amphibian species. *Fungal Biology Reviews* 21: 2-9.
- HARRIS R.N., JAMES T.Y., LAUER A., SIMON M.A. & A. PATEL 2006. Amphibian pathogen *Batrachochytrium dendrobatidis* is inhibited by the cutaneous bacteria of Amphibian species. *Ecohealth* 3: 53-56.
- JAMES T.Y., LITVINTSEVA A.P., VILGALYS R., MORGAN J.A.T., TAYLOR J.W., FISHER M.C., BERGER L., WELDON C., DU PREEZ L. & J.E. LONGCORE 2009 Rapid Global Expansion of the Fungal Disease Chytridiomycosis into Declining and Healthy Amphibian Populations. *Plos Pathogens* 5.
- JOHNSON M.L. & R. SPEARE 2003. Survival of *Batrachochytrium dendrobatidis* in water: Quarantine and disease control implications. *Emerging Infectious Diseases* 9: 922-925.
- KRIGER K.M. & J.M. HERO 2008. Altitudinal distribution of chytrid (*Batrachochytrium dendrobatidis*) infection in subtropical Australian frogs. *Austral Ecology* 33: 1022-1032.
- LIPS K.R., BREMF., BRENES R., REEVE J.D., ALFORD R.A., VOYLES J., CAREY C., LIVO L., PESSIER A.P., COLLINS J.P. 2006. Emerging infectious disease and the loss of biodiversity in a Neotropical amphibian community. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103: 3165-3170
- LONGCORE J.E., PESSIER A.P., NICHOLS D.K. 1999 *Batrachochytrium dendrobatidis* gen. et sp. nov., a chytrid pathogenic to amphibians. *Mycologia* 91: 219-227.
- MORGAN J.A.T., VREDENBURG V.T., RACHOWICZ L.J., KNAPP R.A., STICE M.J., TUNSTALL T., BINGHAM R.E., PERKER J.M., LONGCORE J.E., MORITZ C., BRIGGS C.J., TAYLOR J.W. 2007. Population genetics of the frog-killing fungus *Batrachochytrium dendrobatidis*. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of The United States Of America* 104: 13845-13850.
- PIOTROWSKI J.S., ANNIS S.L., LONGCORE J.E. 2004. Physiology of *Batrachochytrium dendrobatidis*, a chytrid pathogen of amphibians. *Mycologia* 96: 9-15
- RACHOWICZ L.J., HERO J.M., ALFORD R.A., TAYLOR J.W., MORGAN J.A.T., VREDENBURG V.T., COLLINS J.P. & C.J. BRIGGS 2005. The novel and endemic pathogen hypotheses: Competing explanations for the origin of emerging infectious diseases of wildlife. *Conservation Biology* 19: 1441-1448
- SCHMIDT B.R., FURRER S., KWET A., LÖTTERS S., RÖDDER D. M. S, TOBLER U. & S. ZUMBACH 2009. Desinfektion als Massnahme gegen die Verbreitung der Chytridiomykose bei Amphibien. *Zeitschrift für Feldherpetologie Supplement* 15: 229-241.
- VOYLES J., YOUNG S., BERGER L., CAMPBELL C., VOYLES W.F., DINUDOMA A., COOK D., WEBB R., ALFORD R.A., SKERRATT L.F. & R. SPEARE 2009. Pathogenesis of Chytridiomycosis, a Cause of Catastrophic Amphibian Declines. *Science* 326: 582-585.
- WOODHAMS D.C., VREDENBURG V.T., SIMON M.-A., BILLHEIMER D., SHAKHTOUR B., SHYR Y., BRIGGS C.J., ROLLINS-SMITH L.A. & R.N. HARRIS 2007. Symbiotic bacteria contribute to innate immune defenses of the threatened mountain yellow-legged frog, *Rana muscosa*. *Biological Conservation* 138: 390-398.

Batrachochytrium dendrobatidis: un Chytridiomycète qui menace la survie des amphibiens à l'échelle mondiale

URSINA TOBLER, BENEDIKT SCHMIDT & CORINA GEIGER

Une maladie fongique récemment découverte, une chytridiomycose, menace sur le plan mondial les amphibiens et a mené d'ores et déjà des espèces vers l'extinction. La maladie est déclenchée par le Chytridiomycète *Batrachochytrium dendrobatidis* (en grec: batrachos - la grenouille et chytra - la marmite. *Dendrobates* est le nom de genre de la grenouille de laquelle l'agent infectieux a été isolé pour la première fois. En français, le nom signifie le Chytridiomycète des amphibiens. C'est avant tout dans les régions tropicales que ce pathogène fongique semble le plus dangereux et le plus menaçant pour l'existence des amphibiens. En Amérique Centrale, par exemple, il s'étend et montre un front de répartition qui avance d'ouest en est. (Lips et al. 2006). Plus tard, on a trouvé l'agent pathogène en 1987, au Monteverde (Costa Rica). On lui a imputé, avec une grande probabilité, l'extinction du crapaud d'or *Bufo periglenes*. En 1993, le champignon avait déjà avancé jusqu'à la frontière du Panama et dix ans après, il a été identifié dans le Golfe de Panama. Derrière le front de l'infection

disparaissaient plusieurs espèces de grenouilles. On ne voit sur les animaux morts découverts, aucun symptôme évident. Seule, leur peau qui se détachait, ce qui n'est en aucun cas une rareté (ill. 1).

En Australie, le champignon tueur d'amphibiens a contribué à la disparition de plusieurs espèces comme la grenouille *Taudactylus acutirostris* (Berger et al. 1998). Depuis environ dix ans, on observe aussi dans les montagnes espagnoles la disparition de populations d'amphibiens (Bosch et al. 2001, Bosch & Martinez-Solano 2006). Cependant, ce n'est pas dans tous les cas que ce champignon mène à l'extinction complète d'une espèce. De manière caractéristique et fréquente, il y a extinction d'espèces tropicales situées dans des régions à plus haute altitude, qui ont, par contre, une aire de répartition plus étendue et qui se trouvent également à plus basse altitude. Celles-ci survivent dans ces endroits malgré le chytridiomycète des batraciens.



URSINA TOBLER

Abb. 3 Eine gesunde Geburtshelferkröte aus Zunzgen BL.

Ill. 3 Un crapaud accoucheur sain de Zunzgen BL.

Origine et parenté

La découverte de *Batrachochytrium dendrobatidis* date seulement de 1998, alors que l'on recherchait les causes de la mort en masse de grenouilles en Australie et en Amérique Centrale (Longcore et al. 1999). A cette occasion, l'agent pathogène a été reconnu comme responsable de cette maladie de la peau qui a conduit à la mort plusieurs espèces. La provenance du champignon est encore aujourd'hui un aspect non élucidé. Deux hypothèses pourraient contribuer à expliquer son origine. L'une d'entre elles explique qu'il pourrait s'agir d'un agent pathogène qui aurait évolué; ou alors qu'un germe peu agressif aurait évolué en un pathogène à cause de modifications de l'environnement (Rachowicz et al. 2005). Les changements climatiques pourraient être une cause possible de cette augmentation de la dangerosité. La deuxième hypothèse présente le fait que le champignon aurait été endémique dans une région limitée et aurait migré dans une nouvelle contrée où il aurait rencontré des espèces encore jamais exposées à la maladie et sans protection contre elle, et de ce fait, ont été décimées.

Jusqu'à maintenant, une grenouille conservée depuis 1938 en Afrique du Sud, figure comme trouvaille la plus ancienne d'un animal porteur de cet agent infectieux. C'est pourquoi, l'on pense qu'il est vraisemblable qu'une diffusion «out of Africa» s'est produite. Comme autre voie de contamination, on pense que le commerce de cette espèce pour les travaux de laboratoire à buts de recherche et de diagnostics constitue la voie de dissémination. Dans les années 60, des grenouilles de cette espèce étaient utilisées pour les tests de grossesse. Si l'on injecte à une femelle grenouille de l'urine d'une femme enceinte, l'animal produit des œufs après quelques jours.

Les importations de grenouilles ne sont plus indispensables pour ces examens. Pourtant, des grenouilles de cette espèce - le plus souvent des captures sauvages - sont importées et utilisées encore aujourd'hui dans des entreprises de recherche partout dans le monde. Les grenouilles elles-mêmes ne sont pas victimes du chytridiomycète, bien qu'elles soient porteuses de l'agent infectieux et sont le réservoir de ces germes. Du moment que l'on ne détecte pas d'infection chez les grenouilles, alors l'expansion sur tous les continents peut trouver son origine dans le commerce de ces batraciens et d'autres espèces proches (Fisher & Garner 2007). L'examen génétique du

champignon indique qu'il est apparu à l'occasion d'une recombinaison de deux parents diploïdes et qu'il s'agit ici d'un agent infectieux à évolution récente. Des souches de *Batrachochytrium* montrent un degré élevé d'hétérozygotie et à chaque locus de gène, deux variantes de gènes différents tout au plus sont présentes (James et al., 2009). Comme ancêtres parents, d'autres champignons de la classe des Chytridiomycètes entrent en question (Fisher et al. 2009b). Ces organismes unicellulaires parasites sont des décomposeurs comme leurs parents proches à l'intérieur de la famille des chytridiomycètes. *Batrachochytrium dendrobatidis* est l'unique espèce de ce genre et une des deux seules parasites de vertébrés qui existent dans les *Chytridiomycota*.

Morphologie, physiologie et reproduction

Batrachochytrium est un chytridiomycète diploïde qui se reproduit exclusivement par bouturage. Il possède deux stades de vie: un zoosporange qui est utile pour l'accroissement de l'espèce et des zoospores qui servent à la dispersion géographique; puis un stade durable comme cela arrive après la reproduction sexuelle, qui n'est pas encore attesté à ce jour. La génétique des populations fait penser à une reproduction asexuée (Morgan et al. 2007). Les zoospores nageantes dans la préparation sont longues d'env. 3-5 µm et possèdent un flagelle de 19-20 µm de longueur qui leur permet de se déplacer. Les zoospores sont sphériques en règle générale, ne présentent aucune paroi cellulaire. Ils sont remarquables surtout par leurs nombreux liposomes (> 5), ce qui les différencie des autres chytridiomycètes (Longcore et al. 1999). Ils sont capables de nager seulement dans un court laps de temps et parcourent par eux-même une distance d'environ deux cm avant qu'ils ne perdent leur mobilité après 24 heures. A ce moment là, ils utilisent la chimiotaxie pour détecter la peau des batraciens; ils peuvent rester infectieux jusqu'à 7 semaines dans des milieux adéquats, par exemple l'eau de mer (Johnson & Speare 2003; Piotrowski et al. 2004). Si les zoospores rencontrent de la peau de batraciens, ils pénètrent dans la couche de kératine et s'enkystent après quoi la phase de croissance commence avec formation de zoosporanges. De ces germes embryonnaires, des rhizoïdes croissent, se ramifient et la fructification (thalle) commence à grandir. Par divisions mitotiques des noyaux des cellules, le thalle a de nombreux noyaux. Certains thalles se répartissent

alors en deux ou davantage de zoosporanges. Ils seront à ce stade entourés d'une paroi cellulaire de chitine et ils peuvent former plusieurs issues de contamination pouvant mesurer jusqu'à 10 µm de longueur. A l'intérieur des thalles mûrs (zoosporange) qui peuvent atteindre jusqu'à 40 µm au maximum, des nouvelles zoospores (jusqu'à 150 par zoosporange) se forment autour des noyaux nouvellement divisés (ill. 2). Quand elles sont mûres, elles peuvent migrer par l'une des voies de sortie à travers la peau des amphibiens pour être libérées dans l'environnement. Là, elles peuvent immédiatement infecter une autre partie de la peau ou s'introduire dans un nouvel hôte. Selon la température ambiante, le cycle de vie se déroule en 4 à 5 jours. *Batrachochytrium* digère la kératine de la peau, constituant de la corne et possède également une croissance maximale à une température de 17 à 23 °C. Sa croissance est effective entre 4 et 28 °C en culture, taux de croissance qui peut varier légèrement selon les souches prises en compte. A partir de 30 °C, le champignon cesse sa croissance et meurt en quelques jours (Piotrowski et al. 2004; Berger et al. 2005).

Effets sur les amphibiens

Tout d'abord, on ne voit pas la contamination par le chytridiomycète sur les amphibiens et les symptômes de la maladie ne sont pas univoques. Partant de l'infection par quelques zoospores, le champignon se répand sur la peau de la grenouille. Le plus souvent, la mort survient entre quelques jours jusqu'à quelques semaines après l'infection. Il faut d'abord que le champignon se répande sur une grande partie de la peau et que les symptômes apparaissent. Si une partie importante de la peau est contaminée, la grenouille devient léthargique, cesse de se nourrir et se déplace à peine (Daszak et al. 1999).

Il existe également quelques espèces qui sont contaminées par le champignon et dont la maladie ne mène pas à la mort. Probablement, elles peuvent limiter la progression de la contamination de leur peau. Mais ces espèces résistantes représentent un réservoir par lequel d'autres espèces peuvent être infectées. La croissance du chytridiomycète cause un épaissement cutané, une hyperkératose chez ces animaux. Ceci représente probablement un mécanisme de défense des amphibiens contre l'agent pathogène. Etant donné que les amphibiens régulent au travers de leur peau leur équilibre en eau et en sel, cet équilibre

est perturbé par la maladie. Une étude en cours tend à prouver que les grenouilles meurent par arrêt cardiaque suite au déséquilibre électrolytique (Voyles et al. 2009).

Donc, certaines espèces peuvent endiguer l'invasion du champignon dans la peau. Ce processus n'est pas connu avec exactitude. Les poisons cutanés antimicrobiens, qui recouvrent la grenouille à partir de glandes spéciales, agissent de manière défavorable sur la croissance du *Batrachochytrium* (Conlon et al. 2007). Cependant même les espèces qui possèdent de tels poisons cutanés, peuvent apparemment mourir de chytridiomycose. D'autres espèces au contraire, ne possédant que très peu de poisons analogues, peuvent survivre malgré tout à une infection. Dans ce cas, les bactéries cutanées symbiotiques jouent peut être un rôle (Harris et al. 2006; Woodhams et al. 2007). La peau des amphibiens humide est un terrain alimentaire idéal pour les bactéries les plus variées et les champignons qui sont en concurrence mutuelle pour l'espace de vie représenté par la peau des grenouilles. De plus, différents microbes produisent une gamme de poisons pour tenir en échec leurs concurrents. Puisque d'une part chaque millimètre de la peau des grenouilles est peuplée déjà par des microbes et que, d'autre part, les poisons produits peuvent freiner la croissance du champignon, la microflore de la peau représente un autre mécanisme défensif possible contre le chytridiomycète. La recherche place ainsi ses espoirs sur les bactéries symbiotiques de la peau: on tente maintenant de rendre les grenouilles résistantes contre le chytridiomycète, en injectant dans la peau des bactéries qui inhibent la croissance du champignon. Ce début de lutte biologique est plein de promesses, mais cette recherche se trouve encore à l'état embryonnaire et la mise en action de bactéries est discutée encore de manière contradictoire.

Il n'existe pas encore de méthodes pour combattre le champignon une fois installé. L'unique possibilité réside dans la lutte contre son extension géographique, soit avec des contrôles vétérinaires, soit en imposant la quarantaine pour le commerce international des amphibiens, ainsi que par exemple l'Australie le prévoit (la Suisse ne le fait malheureusement pas encore). Puisque les souches du chytridiomycète se distinguent par leur virulence (Fisher et al. 2009a), un contrôle de l'importation peut empêcher l'expansion des souches les plus virulentes.

Répartition en Suisse

Pour de nombreux pays, la lutte contre l'entrée de l'agent pathogène arrive bien trop tard. Seul, le combat contre l'élargissement de l'aire d'expansion du chytridiomycète au niveau régional est possible. En Suisse, le champignon est très répandu et on peut le trouver dans environ 50% des milieux humides sur la façade nord des Alpes (en région alpine et au Sud des Alpes, il n'existe pratiquement aucune donnée). Cette vaste diffusion laisse à penser que le champignon n'a pas été introduit récemment.

Depuis combien de temps est-il en Suisse, nous ne le savons pas, mais cette question est examinée dans le cadre d'un travail de maîtrise à l'Université de Zurich. Aussi, les effets du chytridiomycète sur les amphibiens locaux sont encore méconnus.

Il est cependant tout à fait clair que de nombreuses espèces au cours de ces 25 dernières années ont subi de fortes diminutions et que ce fait ne peut être imputé dans chaque cas à une perte de leur milieu de vie. Nous ne savons pas encore exactement dans quelle mesure le chytridiomycète des amphibiens joue un rôle. Les crapauds accoucheurs (*Alytes obstetricans*) ont perdu depuis 1985, le 64 % de leurs réserves, ils montrent de plus une forte mortalité par chytridiomycose au cours des expériences en laboratoire. Il est par contre impossible de corréliser leur extinction locale avec la présence de la maladie. Puisque l'on a peut-être ici affaire seulement avec un «manque de preuves», on entreprend à l'Université de Zurich, en collaboration avec l'organisme de coordi-

nation pour la protection des amphibiens et des reptiles en Suisse (KARCH) d'autres études pour évaluer l'influence du champignon sur les populations d'amphibiens et pour mettre en place la lutte contre ses effets négatifs. Bien que le champignon des amphibiens ne soit sûrement pas coupable de tous les décès des amphibiens mondiaux, il représente une menace supplémentaire pour des réserves déjà amoindries. Même si le champignon ne mène pas vers l'extinction des populations, il peut être une cause supplémentaire de la forte diminution des effectifs de l'espèce.

Alors, les populations deviennent plus sensibles aux autres influences négatives de l'environnement. Il devient de plus en plus important de lutter contre l'expansion ou contre la diffusion des souches les plus virulentes par des mesures de désinfection. Les herpétologues ou toute autre personne, qui visitent en de brefs laps de temps des milieux humides différents doivent désinfecter à fond chaque matériel qui a été en contact avec l'eau avant de quitter les lieux (pour les consignes générales pour la désinfection et les recommandations d'emploi de désinfectants éprouvés (voir Schmidt et al. 2009).

C'est seulement à ce prix que l'avancement du chytridiomycète pourra être ralenti, afin que les amphibiens puissent avoir le temps de s'adapter à cette nouvelle menace.

Littérature voir le texte en allemand.

Traduction J.-J. ROTH