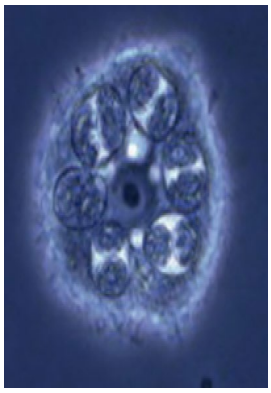
médecine/sciences 2025 ; 41 : 743-52

Le monde fascinant des amibes libres, des protistes aux multiples facettes

Aurélie Delumeau, Nina Allouch, Isaure Quétel, Virginie Nerrière, Isabel Marcelino

> Les amibes libres, micro-organismes aux formes changeantes, sont essentielles pour l'écologie, mais certaines, comme *Naegleria fowleri*, *Acanthamoeba* spp. et *Balamuthia mandrillaris,* causent des maladies graves (telles que des méningites et des kératites), quoique rares, souvent liées à l'eau. Les amibes libres sont également des réservoirs et des vecteurs de nombreux pathogènes (tels que bactéries, virus et champignons), facilitant leur propagation et potentiellement l'émergence de maladies. Les amibes libres sont aussi utilisées comme modèle pour étudier les interactions entre eucaryotes et procaryotes. Cette revue explore les rôles écologiques, scientifiques et de pathogènes des amibes libres, ainsi que leurs implications en santé publique. <



Institut Pasteur
de la Guadeloupe, Guadeloupe, France.
adelumea@pasteur-guadeloupe.fr

Les amibes libres

Les amibes libres sont des protozoaires unicellulaires eucaryotes dont la taille varie généralement entre 10 et 80 µm. Elles possèdent des pseudopodes, des extensions de leur membrane plasmique, qui leur permettent de se déplacer et de se nourrir [1-3]. Ces micro-organismes sont observés partout dans le monde, dans des environnements naturels et artificiels, ce qui souligne leur adaptabilité et leur résilience [4, 5].

Les amibes libres se trouvent naturellement dans divers milieux, comme les eaux douces, l'eau de mer, le sol, les végétaux, les champignons et les animaux. Elles sont également observées dans des environnements artificiels tels que les piscines, les tours de refroidissement et les réseaux de distribution d'eau potable [6-8]. Elles peuvent contaminer des dispositifs médicaux tels que les unités de dialyse, les stations de lavage oculaire, les instruments dentaires, les instruments chirurgicaux, et même les lentilles de contact [9-11]. Enfin, elles sont aussi présentes dans l'air, transportées sous forme d'aérosols par des processus naturels comme les embruns océaniques ou l'érosion des sols, mais aussi par des activités humaines telles que l'industrie ou le trafic automobile [12].

L'abondance et la diversité des amibes libres varient de manière saisonnière en fonction de plusieurs facteurs environnementaux, tels que la température, l'humidité, le pH, la disponibilité en nutriments et les précipitations [9, 11, 13].

Le cycle de vie des amibes libres

Contrairement aux amibes parasitaires, qui dépendent d'un hôte (humain ou animal) pour survivre, les amibes libres se développent de manière autonome dans le sol ou dans l'eau [5]. Cependant, certaines espèces d'amibes libres possèdent une capacité d'amphizoïdie[1], alternant entre une vie libre dans l'environnement et un mode parasitaire chez l'être humain ou chez l'animal [1]. Le cycle de vie typique des amibes libres est caractérisé par une succession de formes métaboliques : trophozoïtes[2], kystes et, pour certaines espèces, formes flagellées (*Figure 1*). Ces différentes formes sont cruciales à la survie, à la reproduction et à la dispersion des amibes [14].

L'amibe libre *Dictyostelium* présente un cycle de vie distinct, alternant entre une phase unicellulaire et une phase multicellulaire (*Figure 1*). La phase unicellulaire est dominée par les trophozoïtes, qui se nourrissent de bactéries et se reproduisent. En cas de pénurie

Vignette (© A. Delumeau, adaptée de [6, 30-32]).

[1] L'amphizoïdie désigne la coexistence de deux formes morphologiques ou stades d'un même organisme, souvent observée chez certains protozoaires ou parasites, permettant leur adaptation à différents environnements ou hôtes (ndlr).

[2] Les trophozoïtes sont la forme active, nourricière et reproductrice des parasites protozoaires, responsables de l'infection en envahissant les tissus, en se multipliant par fission binaire et en contribuant à la pathogénicité en endommageant les cellules de l'hôte (ndlr).

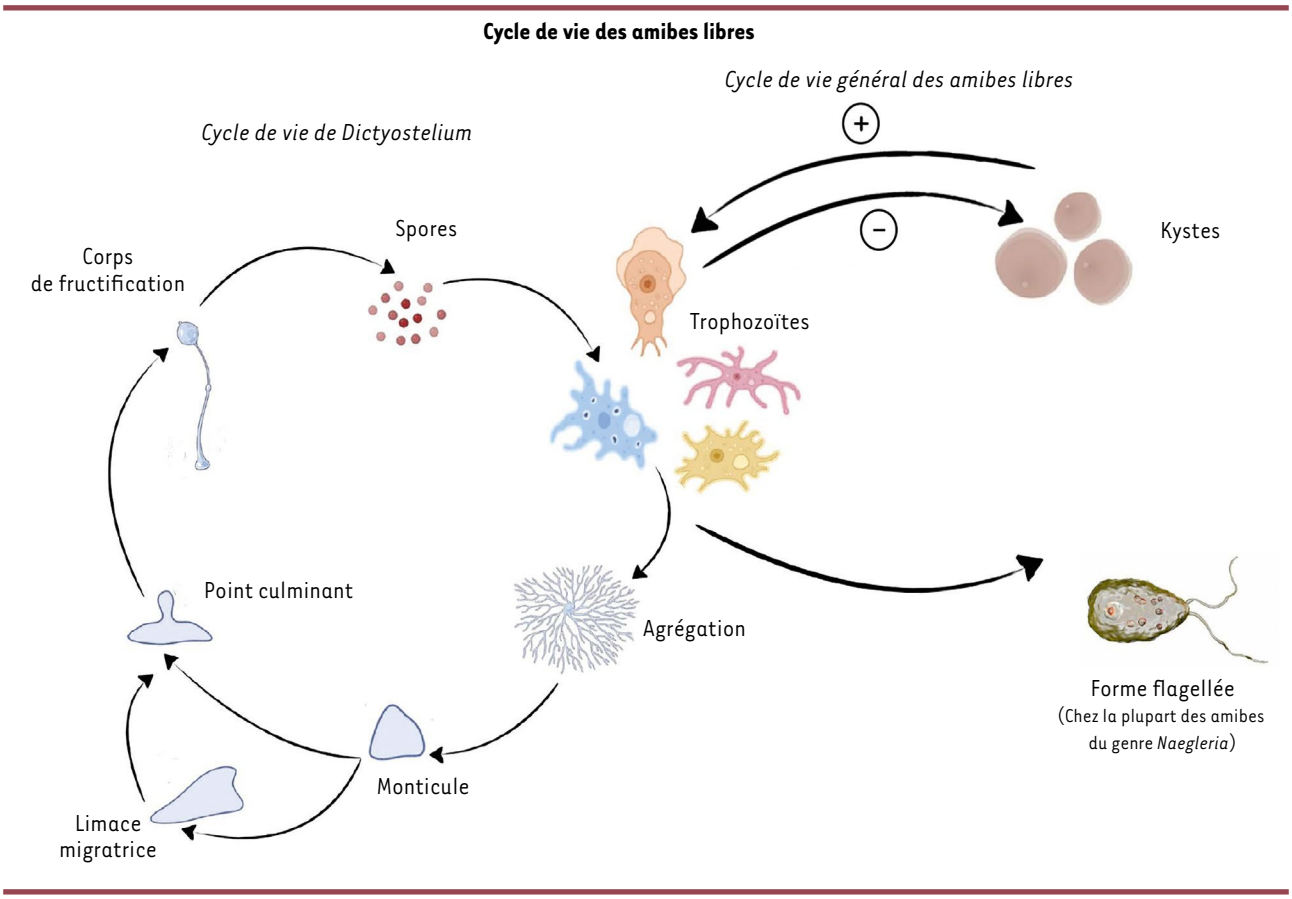


Figure 1. Cycle de vie général des amibes libres et cycle de vie de Dictyostelium [14, 15].

alimentaire, les trophozoïtes s'agrègent pour former un pseudoplasmodium, une structure multicellulaire capable de se différencier en un corps de fructification, produisant des spores résistantes. Ces spores survivent à des conditions environnementales difficiles et germent lorsque les conditions redeviennent favorables, donnant naissance à de nouveaux trophozoïtes [15].

Le stade trophozoïte (*Figure 1*) correspond à la forme active de l'amibe, caractérisée par sa capacité à se nourrir, à se déplacer et à se multiplier (par fission binaire). Les trophozoïtes présentent une grande diversité morphologique, mais leur caractéristique commune réside dans la présence de pseudopodes. Ils se nourrissent de petites particules en solution (par pinocytose), ou de proies plus volumineuses comme des bactéries, des levures, des algues ou d'autres amibes (par phagocytose) [2]. La forme kystique représente un stade de résistance essentiel (*Figure 1*). Dotée d'une activité métabolique minimale, elle permet à l'amibe de survivre à des stress environnementaux (tels que des carences nutritives, variations de température ou de pH, ou à des stress osmotiques). Cette forme résiste également aux traitements de l'eau potable. Sa paroi, composée principalement de cellulose, offre une protection imperméable et résistante aux agressions extérieures. Cette forme de résistance permet aux amibes de survivre pendant de longues périodes, voire des milliers d'années, comme en témoignent les isolats de kystes viables du genre *Flamella* retrouvés dans des sédiments de pergélisol arctique âgés de 35 000 ans [16]. Lorsque les conditions redeviennent favorables, ils peuvent redevenir trophozoïtes. La forme flagellée (connue chez les amibes libres du genre *Naegleria*) est une phase transitoire entre le trophozoïte et le kyste. Très mobile, elle utilise deux flagelles pour se déplacer [14].

Taxonomie

L'évolution de la classification des amibes libres est étroitement liée aux avancées scientifiques. Initialement découvertes en 1753 par Henri Baker[3], ces entités ont fait l'objet d'une première description approfondie en 1755 par August Johann Rösel von Rosenhof[4]. Au fil des années, l'émergence et le développement de la biologie moléculaire ont permis la compréhension et l'organisation de ces organismes. Au sein du domaine des eucaryotes, les amibes libres sont des

[3] Henry Baker (1698-1774) est un naturaliste et microscopiste britannique (ndlr).

[4] August Johann Rösel von Rosenhof (ou Roesel) (1705-1759) est un artiste et un naturaliste allemand (ndlr).

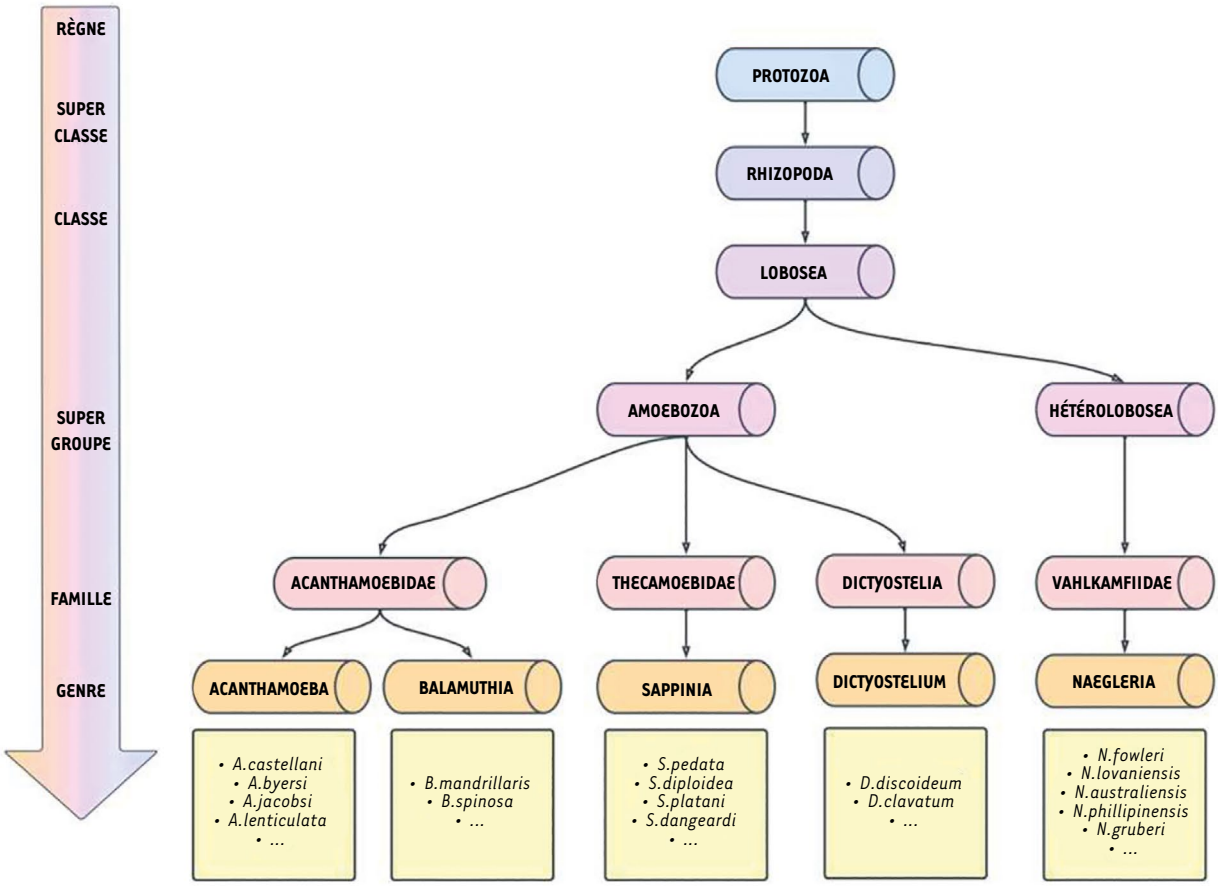


Figure 2. Classification taxonomique des principales amibes libres. La figure a été réalisée sur la base des auteurs suivant [1, 17].

microorganismes unicellulaires classés comme protistes. Ce terme désigne les eucaryotes unicellulaires au stade initial de l'évolution. Les amibes ne constituent pas un groupe phylogénétique unique, et leur morphologie et leur mode de vie les distinguent au sein de différentes lignées évolutives. Leur classification au sein du domaine eucaryote est par conséquent dynamique et s'affine continuellement grâce aux avancées de la phylogénie moléculaire. Ces organismes sont très anciens, leur présence remontant à environ 2 milliards d'années. Ils sont répartis dans plusieurs groupes phylogénétiques distincts. Les classifications récentes montrent que les amibes libres les plus documentées sont retrouvées au sein de divers super-groupes, notamment chez les Amoebozoa ou encore Heterolobosea (*Figure 2*) [17]. Parmi ces super-groupes, l'embranchement Amoebozoa contient la grande majorité des espèces amibiennes. Ce phylum inclut des genres fréquemment isolés dans l'environnement, tels que *Acanthamoeba*, *Balamuthia* et *Dictyostelium*, qui figurent parmi les amibes libres les plus étudiées en raison de leur pertinence dans la recherche.

D'autre part, le super-groupe des Heterolobosea contient des amibes libres ayant une caractéristique distinctive qui est la capacité de produire un ou plusieurs flagelles à un certain stade de leur cycle de vie. Ce groupe abrite le genre *Naegleria*, notamment *Naegleria fowleri*.

Les amibes libres, nos alliées

Le rôle des amibes libres dans l'environnement

La variabilité morphologique des amibes, notamment grâce à leurs pseudopodes, ainsi que leur capacité à s'adapter à divers environnements constituent de précieux atouts pour la recherche de nourriture dans les différents écosystèmes tels que l'eau et le sol. En agissant comme des prédateurs hétérotrophes, elles consomment une variété de micro-organismes, notamment des bactéries, des algues, des champignons et même d'autres amibes [2], assurant ainsi l'équilibre des écosystèmes [18]. Elles jouent un rôle clé dans les cycles biogéochimiques, tels que les cycles de l'azote et du carbone, et dans les interactions trophiques entre différentes espèces [19].

Par ailleurs, les amibes sont sensibles aux changements environnementaux, et sont considérées comme des bio-indicateurs importants pour l'évaluation de la qualité des milieux aquatiques et terrestres [20]. Les amibes réagissent aux variations de leur environnement, notamment aux modifications de la température et de

l'hydratation, ce qui les rend particulièrement utiles dans le contexte des analyses écologiques [4]. Les activités humaines, comme la pollution chimique, influencent directement la distribution et l'abondance des amibes [1]. De plus, le changement climatique, en modifiant les conditions thermiques et hydriques des milieux, peut entraîner des déplacements des populations d'amibes et affecter leurs cycles biologiques, avec des conséquences possibles sur les écosystèmes [4].

Les amibes libres comme organismes modèles dans la recherche biomédicale

Les amibes utilisées comme modèles d'hôtes appartiennent principalement au phylum Amoebozoa, dont les représentantes les plus importantes sont les genres *Acanthamoeba* et *Dictyostelium*. Ces deux genres se sont révélés être des cellules hôtes utiles pour l'étude des interactions complexes avec des agents pathogènes bactériens tels que *Legionella, Mycobacterium, Salmonella, Francisella* et d'autres [21-23]. De plus, les amibes peuvent également être utilisées comme hôtes modèles pour des champignons pathogènes comme *Cryptococcus, Aspergillus* et *Candida* [23].

Les amibes libres, nos ennemies

Les maladies causées par les amibes libres

Les amibes libres sont responsables de maladies humaines affectant le système nerveux, les yeux et la peau. En raison de la rareté de ces maladies et du manque de connaissances, celles-ci sont souvent négligées dans les diagnostics différentiels et confondues avec des infections bactériennes, virales ou fongiques. Un diagnostic précis et rapide est crucial pour un traitement adapté et un meilleur pronostic. On relève ainsi plusieurs espèces appartenant aux genres *Acanthamoeba*, *Balamuthia*, *Naegleria* et *Sappinia,* responsables d'importantes maladies rares, souvent graves et/ou mortelles, chez l'être humain et les animaux (*Tableau I*).

Étant largement présentes dans l'environnement, les amibes libres entrent fréquemment en contact avec l'être humain. Cette exposition répétée stimule la production d'anticorps spécifiques, et le nombre de personnes séropositives suggère que les contaminations amibiennes sont plus répandues que ne l'indiquent les cas avérés [24]. De nombreuses infections, conférant une immunité protectrice, sont probablement asymptomatiques ou bénignes. Cette immunité pourrait expliquer pourquoi seules quelques infections évoluent vers des formes sévères.

Les amibes libres : réservoirs et vecteurs d'agents pathogènes

Les amibes libres, par leur comportement prédateur, phagocytent divers micro-organismes (bactéries, virus, champignons et même d'autres protozoaires) (*Figure 3*). Néanmoins, certains de ces micro-organismes sont capables de résister à la digestion par les amibes, ce qui leur permet de persister, voire de renforcer leur virulence et leur pouvoir pathogène [29]. Les amibes libres peuvent ainsi jouer un rôle crucial en tant que réservoirs pour des bactéries et des virus émergents, facilitant leur adaptation à de nouveaux hôtes, y compris à l'être humain.

Les bactéries résistantes aux amibes

L'intérêt pour les interactions entre amibes et bactéries a émergé dans les années 1980, avec la découverte de *Legionella pneumophila* dans les amibes, une bactérie responsable de la fièvre de Pontiac et de la légionellose [33]. Les stratégies mises en œuvre par les bactéries pour survivre et se multiplier au sein des amibes sont variées. Certaines bactéries échappent à la fusion du phagosome avec le lysosome, d'autres modifient le pH du phagosome ou endommagent ses membranes, créant ainsi un environnement intracellulaire propice à leur survie et à leur réplication. Il est maintenant largement reconnu que les amibes libres jouent un rôle important en tant que « cheval de Troie », permettant la réplication et la dispersion de bactéries pathogènes telles que *Legionella* spp., *Chlamydophila pneumoniae*, *Mycobacterium avium*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Francisella tularensis* [6, 8, 29]. Ces bactéries résistantes aux amibes constituent un problème potentiel pour la santé humaine, car elles pourraient également résister à la phagocytose par des macrophages au cours de l'infection [4, 13, 29]. Cependant, les relations entre les amibes et les bactéries sont complexes et peuvent s'étendre à des interactions mutualistes et parasitaires [34].

Il y a deux principaux modes d'interaction entre les bactéries et les amibes. Les bactéries qui survivent dans l'amibe sans se multiplier, mais sont protégées contre les facteurs environnementaux et les désinfectants, ce qui facilite leur propagation. D'autres bactéries se multiplient à l'intérieur de l'amibe, qu'elles utilisent comme réservoir biologique avant d'être libérées dans l'environnement. Certaines bactéries, comme *Legionella* et *Listeria*, lysent l'amibe, tandis que d'autres bactéries, comme *Vibrio cholerae* coexistent avec leur hôte sans le tuer [35]. La proximité entre les amibes et les bactéries favorise des échanges génétiques, permettant aux bactéries d'acquérir des gènes de leurs hôtes amibiens et de développer de nouvelles fonctions [23]. Cela facilite également le transfert horizontal de gènes, accélérant l'évolution bactérienne. La survie des bactéries dans les amibes, grâce à la digestion cellulaire, leur permet de devenir plus résistantes et mieux adaptées à infecter des cellules eucaryotes, comme celles des humains. Par exemple, *Vibrio cholerae* hébergée par des amibes produit davantage de toxine cholérique, augmentant sa virulence [35]. Ce séjour intracellulaire permet aussi le développement de résistances aux antibiotiques et la transmission de ces traits à d'autres bactéries, contribuant à la dissémination de souches multirésistantes [36] (➜).

(➜) Voir *m/s* n° 10, 2018, page 795

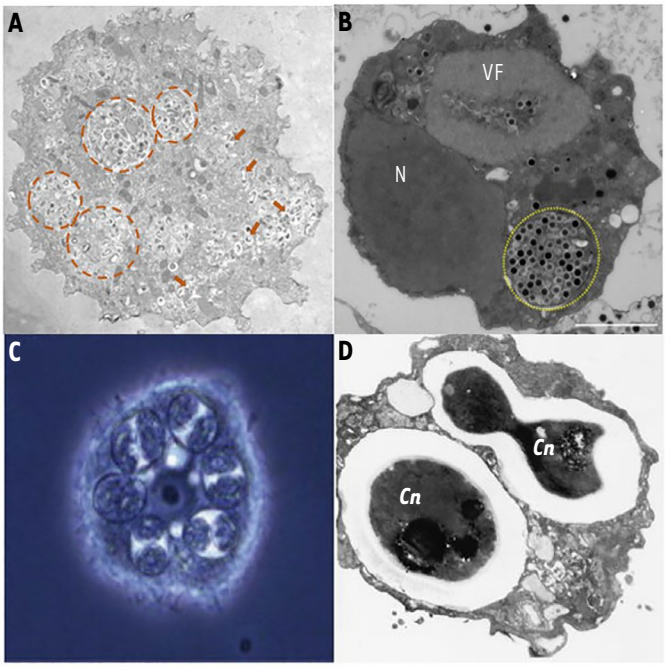


Figure 3. Interactions entre amibes libres et différents microorganismes. Images de microscopie illustrant les interactions entre des amibes libres et divers microorganismes. ***A.*** Microscopie électronique à transmission (MET) montrant une vue d'ensemble de *Acanthamoeba lenticulata* au stade trophozoïtes, hébergeant plusieurs bactéries dans le cytoplasme (flèches orange) et dans les vacuoles non digestives (cercles orange). ***B.*** Section ultrafine en MET de cellules d'amibe infectées par le virus *Kashiwazavirus* (cercle jaune), isolé de la rivière Ukawa (Japon). ***C.*** Microscopie à contraste de phase de *Acanthamoeba castellanii* au stade trophozoite, ayant internalisé six oocystes de *Toxoplasma gondii*. ***D.*** MET montrant *Cryptococcus neoformans (Cn)* présent dans l'amibe *Dictyostelium discoideum*. Images adaptées de [6, 30-32].

Les virus

Les amibes hébergent certains des plus grands virus connus, tels que le Mimivirus, le Marseillevirus, le Mamavirus et le Lausannevirus [37, 38] (➜).

(➜) Voir *m/s* n° 12, 2016, page 1087

Le Mimivirus, par exemple, pénètre dans l'amibe par phagocytose, un mode atypique d'entrée virale. Après la phagocytose, l'amibe est lysée, libérant les virions et facilitant la dissémination du virus [39]. Des virus plus petits, comme les échovirus, les entérovirus et les adénovirus, ont également été retrouvés dans les amibes libres [37]. Par exemple, le virus Coxsackie B3 (du genre *Enterovirus*) s'accumule à la surface des amibes et des particules virales ont été retrouvées dans leur cytoplasme [40].

À l'intérieur des amibes, les virus se retrouvent dans un environnement stable qui leur permet de survivre indépendamment des cycles de l'amibe. Les amibes infectées peuvent libérer des virus lors de leur contact avec les cellules immunitaires humaines, en particulier des macrophages, facilitant ainsi la transmission des virus à l'hôte humain [23]. De plus, les amibes agissent comme réservoirs, favorisant l'émergence de mutations au sein des génomes viraux ce qui peut altérer la virulence des virus et entraîner l'émergence de nouveaux variants. Ce phénomène souligne l'importance des amibes dans la transmission et l'évolution des virus, ainsi que leur rôle dans la propagation des infections et l'émergence de nouvelles menaces épidémiques [37, 39, 40].

Les champignons

Les interactions entre amibes et champignons restent largement sous-étudiées. Certaines recherches ont montré que les amibes peuvent interagir avec des levures pathogènes comme *Cryptococcus neoformans*, qui est responsable de graves infections chez les personnes immunodéprimées [30]. D'autres champignons, tels que *Candida albicans*, *Histoplasma capsulatum*, *Blastomyces dermatitidis* et *Sporothrix schenckii,* interagissent également avec les amibes [23, 29, 41]. Ces interactions impliquent des mécanismes complexes où les amibes favorisent la survie et la propagation des pathogènes fongiques. Toutefois, contrairement aux bactéries, les champignons ne survivent généralement pas longtemps à l'intérieur des amibes, mais se développent de manière extracellulaire après avoir décomposé l'amibe et extrait les nutriments nécessaires à leur croissance [41].

Ces interactions peuvent contribuer à la survie des champignons dans les environnements hospitaliers où les amibes peuvent agir comme des réservoirs pour des champignons opportunistes, facilitant leur propagation et leur offrant une résistance aux traitements antifongiques ce qui accroît les risques de transmission aux patients vulnérables, notamment immunodéprimés.

Amibes libres et sociétés : impacts, adaptations et perspectives

Les amibes libres et le changement climatique

Les maladies causées par les amibes libres présentent une répartition géographique inégale à l'échelle mondiale, avec des cas d'encéphalite amibienne rapportés en Afrique, en Asie du Sud-Est, en Amérique latine et dans les Caraïbes. Certaines régions, en particulier les zones tropicales et subtropicales au climat chaud et humide, sont particulièrement favorables à la prolifération des amibes [42]. Les tendances épidémiologiques des infections à amibes révèlent une corrélation croissante avec des événements climatiques extrêmes, tels que les inondations et l'augmentation des températures, qui favorisent la contamination des ressources en eau potable, et récréatives, qui augmentent le risque

	Naegleria fowleri	Acanthamoeba spp.
Maladie	Meningo-encéphalite amibienne (MEAP)	Encéphalite granulomateuse amibienne (EAG)
Personnes à risque	Enfants, jeunes adultes, personnes immunocompétentes et immunodéprimées	Individus immunodéprimés
Mode de contamination	Exposition nasale, inhalation de gouttelettes contenant l'amibe ou ablutions rituelles	Inhalation de poussières ou d'aérosols, lésions cutanés ou oculaires, ablutions rituelles
Voies et mécanismes de pénétration	Pénétration de trophozoites par la muqueuse nasale et migration vers le système nerveux central	Dissémination hématogène après invasion cutanée ou respiratoire d'amibes, migration vers le système nerveux central d'amibes
Phase prodromique	Quelques jours	Quelques semaines
Symptômes cliniques	Syndromes méningés fébrile, céphalées, nausées, vomissements, fièvre, somnolence, troubles du comportement, convulsions	Céphalées, fièvre, nausées, vomissements, raideur de la nuque, convulsions, troubles du comportement, formation de nodules lors de l'infection cutanée
Evolution clinique	Rapide et mortelle dans 95 % des cas	Taux de mortalité 90 %
Epidémiologie	De 1962 à 2018 : 381 cas	De 1990 à 2018 : 69 cas
Diagnostic	Historique du patient (Survenue de symptômes neurologiques après activité aquatique), IRM, histopathologie, PCR sur liquide céphalorachidien, examen au microscope	IRM, topographie cérébrale, immunohistochimie (détection de trophozoites dans les tissus infectés), PCR, examens histopathologiques post-mortem (œdèmes cérébraux, zones hémorragiques et nécrotique dans le tissu cérébral)
Traitement	Amphotéricine B, Miltefosine, Rifampicine : Faible efficacité	Combinaisons de médicaments : Faible efficacité Cotrimoxazole, Amphotrécine B, Rifampicine, Miltéfosine (amélioration de 55 % de la survie)
Prévention	Surveillance de la présence Naegleria fowleri dans sites récréatifs d'eau douce, chaude, réseaux d'eau potable, ...	Contrôle d'équipements dans les hôpitaux, des appareils de climatisation, de la distribution d'eau Mesures préventives compliqués, l'amibe se trouve dans le sol
Références	[3], [26], [29], [58]	[3], [26], [28, 29], [56]

Tableau I. Caractéristiques des maladies provoquées par les amibes libres [3, 25-28, 55-58].

d'exposition et offrent aux amibes de nouveaux biotopes pour se développer [43, 44].

Les facteurs socio-économiques, notamment l'accès limité à l'eau potable et à des infrastructures sanitaires adéquates, jouent également un rôle clé dans la répartition des infections, exposant davantage les populations vivant dans des conditions d'hygiène insuffisantes. Les activités anthropiques (urbanisation, tourisme, agriculture intensive, exploitation des ressources, industrialisation) perturbent les écosystèmes aquatiques, créant des conditions favorables à la prolifération d'amibes [42]. Ces micro-organismes peuvent ainsi coloniser de nouveaux environnements, augmentant le risque d'exposition humaine, notamment dans les espaces confinés (systèmes de climatisation, piscines) où ils peuvent provoquer des infections. La pollution atmosphérique, en particulier par les particules fines, constitue un vecteur de dispersion des

Acanthamoeba spp.		Balamuthia mandrillaris
Infection cutanée amibienne	Kératite amibienne (infection de la cornée)	Encéphalite granulomateuse amibienne (EAG)
Individus immunodéprimés (VIH/SIDA en particuliers), individus ayant une maladie immunologique	Individus immunocompétents, immunodéprimés, porteurs de lentilles de contact (80 % des cas)	Individus immunodéprimés, immunocompétents, individus souffrant de cancer, diabète, maladie du foie Nombre de cas élevé chez les personnes issues d'origine hispanique
Lésions cutanées	Porteurs de lentilles de contact, traumatisme oculaire, exposition à des corps étrangers contaminés	Inhalation de poussières ou d'aérosols, lésions cutanés ou oculaires, ablutions rituelles
Introduction direct de trophozoites dans la peau à la suite de traumatismes ou de plaies	Adhésion et prolifération des trophozoites sur l'épithélium de la cornée	
	Quelques jours	Quelques semaines
Nodules, ulcères cutanés, plaques érythémateuses et nécrosées	Rougeurs, douleurs oculaires, larmoiements, œdème des paupières, photophobie, diminution de la vision	Céphalées, photophobie, hémiparésie, raideur de la nuque, myalgie, nausées, trouble du comportement,
	Si traitement : guérison, sinon ulcères cornéens ou perte de l'œil	Taux de mortalité proche de 100 %
	2,9 cas par million d'habitants dans le monde par an	200 cas dans le monde
Biopsies cutanées	Grattage de la cornée et biopsies (examen microscopique), détection d'amibes dans le liquide de lavage de la cornée	IRM, topographie cérébrale, immunohistochimie (détection de trophozoites dans les tissus infectés), PCR, examens histopathologiques post-mortem (oedèmes cérébraux, zones hémorragiques et nécrotique dans le tissu cérébral)
Pas de traitement spécifique approuvé, suivie clinique rigoureux et traitement symptomatique	Enucléation de l'œil, chlorhexidine, PHMB (polyhexaméthylène biguanide), diamidines (traitements à applications prolongées, jusqu'à un an), taux de récidives 10 %	Pentamidine, Fluconazole, Azithromycine, Clarithromycine, Miltefosine
Protection des lésions cutanées lors de la manipulation du sol et d'eau	Utilisation de solution de lentilles de contact stériles, ne pas nager dans les piscines ou se doucher avec des lentilles de contact	Mesures préventives compliquées, l'amibe se trouve dans le sol
[3], [26], [29]	[3], [26], [29], [55]	[3], [26-28], [57]

Tableau I (suite).

kystes d'amibes, augmentant significativement le risque d'infection aéroportée [12]. La contamination des eaux par des polluants (rejets industriels, agricoles, eaux usées) favorise la prolifération de protozoaires pathogènes, dont les amibes libres, qui trouvent dans ces milieux enrichis un substrat idéal [45, 46]. Il est crucial d'étudier leur distribution et de renforcer la surveillance. Parallèlement, face à la propagation des amibes dans les milieux naturels et urbains, des méthodes de désinfection adaptées sont essentielles compte tenu de la résistance spécifique des amibes, surtout sous forme de kystes, aux traitements classiques.

De la maîtrise à l'élimination : les défis posés par les amibes libres

Les amibes libres sont naturellement présentes dans l'environnement et leur éradication ne peut se faire que dans certaines conditions. Dans le cadre de la

stérilisation du matériel chirurgical, l'exposition à des températures supérieures à 100 °C pendant une durée suffisante permet d'inactiver les amibes, en particulier les trophozoïtes, qui sont la forme active du parasite. Cependant, cette méthode n'est pas applicable à tous les types d'infection, car elle est limitée aux surfaces inertes ou au matériel médical [47]. L'inactivation des amibes par radiation ultraviolette (UV) est une méthode couramment utilisée pour désinfecter l'eau et d'autres surfaces. Toutefois, les amibes nécessitent des doses de radiation UV plus élevées que celles nécessaires pour tuer les bactéries. Bien que les radiations UV puissent être efficaces pour réduire la charge amibienne dans certaines conditions, elles ne garantissent pas toujours une élimination totale [48]. Les amibes, en particulier sous forme de kystes, montrent une résistance notable aux rayonnements gamma [49]. L'utilisation du chlore comme désinfectant pour éliminer les amibes présente une efficacité variable, qui dépend de plusieurs facteurs, tels que le stade de l'amibe (trophozoïtes ou kystes), ainsi que son genre et son espèce impliqués. Le chlore est généralement plus efficace pour détruire les trophozoïtes. Outre la concentration de chlore, le pH de l'eau et le temps de contact sont des paramètres cruciaux pour optimiser l'efficacité de la désinfection [50].

L'émergence des « nouveaux pathogènes »

Les amibes jouent un rôle clé dans la sélection et l'évolution des caractéristiques de virulence de leurs endocytobiontes[5] [34]. Ce processus englobe en particulier l'adaptation des micro-organismes aux macrophages. En favorisant cette sélection et cette évolution, les amibes jouent un rôle indirect dans l'adaptation des micro-organismes à des hôtes eucaryotes complexes [23]. L'évolution des micro-organismes, visant des processus cellulaires profondément conservés chez les eucaryotes, a considérablement élargi leur gamme d'hôtes, y compris désormais les mammifères, et a conduit à une diversité de maladies infectieuses. Ce phénomène est particulièrement préoccupant dans les environnements hospitaliers, où les amibes jouent un rôle crucial dans les infections nosocomiales. Dans les unités de soins intensifs, par exemple, la présence de dispositifs médicaux favorise la formation de biofilms abritant à la fois des amibes et des bactéries pathogènes [9]. Ces biofilms, véritables réservoirs d'infections, accroissent le risque de transmission de pathogènes résistants aux traitements, compliquant ainsi leur prise en charge clinique. L'utilisation répandue et souvent inappropriée d'antibiotiques dans divers secteurs, notamment l'élevage et l'agriculture, exerce une pression sélective intense, favorisant l'émergence de bactéries résistantes. Ces bactéries, disséminées dans l'environnement, peuvent être internalisées par les amibes, formant des biofilms résistants aux antibiotiques et contribuant à la propagation de gènes de résistance, avec des conséquences potentiellement graves pour la santé humaine [51]. Ces interactions amibes-pathogènes ont un impact direct sur l'émergence de nouvelles maladies infectieuses, qui posent des défis considérables au système de santé mondial. En particulier, l'évolution des micro-organismes au sein des amibes pourrait faciliter l'émergence de nouvelles souches plus virulentes, résistantes aux traitements et capables de toucher des populations humaines vulnérables [23].

Accroître la sensibilisation aux amibes libres

Les amibes libres sont naturellement présentes et ne peuvent pas être éradiquées. Ainsi, au-delà du traitement de l'eau, l'éducation sanitaire est un pilier de la prévention des infections à amibes. En informant les populations sur les risques liés à l'eau contaminée et en leur indiquant des gestes d'hygiène simples, il est possible de réduire considérablement l'incidence des maladies causées par les amibes, notamment dans les zones à risque où la résistance aux traitements pose problème. Il est important de former les étudiants en médecine et de sensibiliser l'ensemble du personnel médical, les services publics ainsi que les opérateurs de traitement de l'eau à ces micro-organismes qui ont un impact direct et indirect sur la santé. « Éduquer pour mieux se protéger ».

Les amibes pour améliorer la santé et l'agriculture

Souvent associées à une connotation négative en raison de certaines espèces pathogènes, les amibes libres peuvent pourtant être des alliées précieuses dans divers domaines, notamment ceux de la santé et de l'agriculture. Loin de se limiter à des agents de maladies, ces micro-organismes possèdent des capacités qui peuvent être exploitées pour améliorer les conditions de vie humaines et la production agricole.

Dans le domaine de la santé, certaines amibes libres sont utilisées comme modèles dans la recherche médicale pour étudier les interactions entre les cellules et les pathogènes, la recherche sur le cancer, la recherche sur les voies de signalisation cellulaire, etc. [15, 22, 52, 53] (➜).

En agriculture, les amibes libres jouent un rôle important dans le contrôle biologique des populations de pathogènes du sol. Elles consomment des bactéries et des champignons nuisibles, réduisant ainsi l'utilisation de produits chimiques et contribuant à une gestion plus durable des cultures. De plus, certaines amibes, par leurs interactions avec d'autres micro-organismes, peuvent favoriser la fertilité du sol en régulant les populations bactériennes, ce qui est profitable à la croissance des plantes [51, 54]. ◊

(➜) Voir *m/s* n° 8-9, 2024, page 688

SUMMARY

The fascinating world of free-living amoebae, these remarkably versatile protists

Free-living amoebae, microorganisms with variable forms, are essential to the ecology. However, some species, such as *Naegleria fowleri*, *Acanthamoeba* spp., and

[5] Les endocytobiontes désignent des microorganismes intracellulaires, notamment des virus géants comme Mimivirus, Pandoravirus, qui infectent les amibes et peuvent agir comme vecteurs de micro-organismes pathogènes dans leur environnement (ndlr).

Balamuthia mandrillaris, cause severe, though rare, infections including meningitis and keratitis, which are often linked to water. Free-living amoebae are also reservoirs and vectors of various pathogens (bacteria, viruses, and fungi), which facilitates their dissemination and the potential emergence of diseases. Free-living amoebae can also be used as models to study interactions between eukaryotes and prokaryotes. This review explores the ecological, scientific, and pathogenic roles of free-living amoebae and their implications for public health. ◊

LIENS D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent n'avoir aucun lien d'intérêt concernant les données publiées dans cet article.

RÉFÉRENCES

1. Salazar-Ardiles C, Asserella-Rebollo L, Andrade DC. Free-living amoebas in extreme environments: the true survival in our planet. *BioMed Res Int* 2022 ; 2022 : 2359883.
2. Samba-Louaka A, Delafont V, Rodier M-H, *et al.* Free-living amoebae and squatters in the wild: ecological and molecular features. *FEMS Microbiol Rev* 2019 ; 43 : 415-34.
3. Visvesvara GS, Moura H, Schuster FL. Pathogenic and opportunistic free-living amoebae: Acanthamoeba spp., Balamuthia mandrillaris, Naegleria fowleri, and Sappinia diploidea. *FEMS Immunol. Med Microbio.* 2007 ; 50 : 1-26.
4. Anderson OR. A Half-century of research on free-living Amoebae (1965-2017): review of biogeographic, ecological and physiological studies. *Acta Protozool* 2018 ; 2018 : 1-28.
5. Walochnik J. Amoebae. In : Florin-Christensen M, Schnittger L, editors. *Parasitic Protozoa of Farm Animals and Pets*. Cham : Springer International Publishing, 2018 : 389-412.
6. Vingataramin Y, Delumeau A, Quétel I, *et al.* Characterization of the natural bacterial microbiota of pathogenic free-living amoebae (*Acanthamoeba* spp. and *Naegleria fowleri*) isolated from rivers and tap water in Guadeloupe. *Sci Total Environ* 2025 ; 975 : 179204.
7. Sykora JL, Keleti G, Martinez AJ. Occurrence and pathogenicity of Naegleria fowleri in artificially heated waters. *Appl. Environ. Microbiol.* 1983 ; 45 : 974-9.
8. Delumeau A, Quétel I, Harnais F, *et al.* Bacterial microbiota management in free-living amoebae (Heterolobosea lineage) isolated from water: the impact of amoebae identity, grazing conditions, and passage number. *Sci Total Environ* 2023 ; 900 : 165816.
9. Biglarnia F, Solhjoo K, Rezanezhad H, *et al.* Isolation and identification of potentially pathogenic free-living amoeba in dialysis fluid samples of hydraulic systems in hemodialysis units. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 2022 ; 116 : 454-61.
10. Jalilehvand M, Hajialilo E, Ghiasi Y, *et al.* Isolation and identification of free living Amoeba from patients and contact lens users in Iran. *Iran J Parasitol* 2022 ; 17 : 167-73.
11. Khatoonaki H, Solhjoo K, Rezanezhad H, *et al.* Isolation and identification of potentially pathogenic free-living amoeba in dental-unit water samples. *J Water Health* 2022 ; 20 : 1126-36.
12. Reynaud Y, Gelasse A, Multigner L, *et al.* Looking for pathogens in Dust from North Africa arriving in the french West Indies using metabarcoding and cultivable analysis. *Microorganisms* 2024 ; 12 : 2111.
13. Thomas V, McDonnell G, Denyer SP, *et al.* Free-living amoebae and their intracellular pathogenic microorganisms: risks for water quality. *FEMS Microbiol Rev* 2010 ; 34 : 231-59.
14. Pánek T, Simpson AGB, Brown MW, *et al.* Heterolobosea. In : Archibald JM, Simpson AGB, Slamovits CH, *et al.*, editors. *Handbook of the Protists* Cham : Springer International Publishing, 2017 : 1-42.
15. Mathavarajah S, Flores A, Huber RJ. Dictyostelium discoideum: a model system for cell and developmental biology. *Curr Protoc Essent Lab Tech* 2017 ; 15 : 14.1.1-19.
16. Shmakova L, Bondarenko N, Smirnov A. viable species of *Flamella* (Amoebozoa: Variosea) isolated from ancient Arctic permafrost sediments. *Protist* 2016 ; 167 : 13-30.
17. Adl SM, Simpson AlastairG, Lane CE, *et al.* The revised classification of eukaryotes. *J Eukaryot Microbiol* 2012 ; 59 : 429-93.
18. Dinda SK, Hazra S, De A, *et al.* Amoebae: beyond pathogens- exploring their benefits and future potential. *Front Cell Infect Microbiol* 2024 ; 14 : 1518925.
19. Rossine FW, Vercelli GT, Tarnita CE, *et al.* Structured foraging of soil predators unveils functional responses to bacterial defenses. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2022 ; 119 : e2210995119.
20. Choi A, Seong JW, Kim JH, *et al.* Presence and diversity of free-living amoebae and their potential application as water quality indicators. *Parasites Hosts Dis* 2024 ; 62 : 180-92.
21. Steinert M. Pathogen-host interactions in *Dictyostelium*, *Legionella*, *Mycobacterium* and other pathogens. *Semin Cell Dev Biol* 2011 ; 22 : 70-6.
22. Thewes S, Soldati T, Eichinger L. Editorial: Amoebae as host models to study the interaction with pathogens. *Front Cell Infect Microbiol* 2019 ; 9 : 47.
23. Price CTD, Hanford HE, Al-Quadan T, *et al.* Amoebae as training grounds for microbial pathogens. *mBio* 2024 ; 15 : e00827-24.
24. Rojo JU, Rajendran R, Nyangau EM, *et al.* Seroprevalence of Naegleria fowleri in the Houston-Galveston Texas population. *Parasitol Res* 2024 ; 123 : 421.
25. Sarink MJ, Meijs NL van der, Denzer K, *et al.* Three encephalitis-causing amoebae and their distinct interactions with the host. *Trends Parasitol* 2022 ; 38 : 230-45.
26. Bhosale NK, Parija SC. Balamuthia mandrillaris: An opportunistic, free-living ameba – An updated review. *Trop Parasitol* 2021 ; 11 : 78-88.
27. Abdouni B, Lehoux M, Wolf L, *et al.* Encéphalite granulomateuse amibienne : à propos d'un cas. *Prat Neuro. - FMC* 2022 ; 13 : 124-9.
28. Salazar-Ardiles C, Paredes Valencia K, Andrade DC. Amoebas: the omnipotent organism and silent assassin. *Mol Biol Rep* 2025 ; 52 : 160.
29. Greub G, Raoult D. Microorganisms resistant to free-living amoebae. *Clin Microbiol Rev* 2004 ; 17 : 413-33.
30. Steenbergen JN, Nosanchuk JD, Malliaris SD, *et al.* Cryptococcus neoformans virulence is enhanced after growth in the genetically malleable host Dictyostelium discoideum. *Infect Immun* 2003 ; 71 : 4862-72.
31. Aoki K, Hagiwara R, Akashi M, *et al.* Fifteen Marseilleviruses newly isolated from three water samples in Japan reveal local diversity of Marseilleviridae. *Front Microbiol* 2019 ; 10.
32. Winiecka-Krusnell J, Dellacasa-Lindberg I, Dubey JP, *et al.* *Toxoplasma gondii*: uptake and survival of oocysts in free-living amoebae. *Exp Parasitol* 2009 ; 121 : 124-31.
33. Rowbotham TJ. Preliminary report on the pathogenicity of Legionella pneumophila for freshwater and soil amoebae. *J Clin Pathol* 1980 ; 33 : 1179-83.
34. Shi Y, Queller DC, Tian Y, *et al.* The ecology and evolution of Amoeba-Bacterium interactions. *Appl Environ Microbiol* 2021 ; 87 : e01866-20.
35. Van der Henst C, Scrignari T, Maclachlan C, *et al.* An intracellular replication niche for Vibrio cholerae in the amoeba Acanthamoeba castellanii. *ISME J.* 2016 ; 10 : 897-910.
36. Girard-Misguich F, Laencina L, Dubois V, *et al.* ESX-4, un système de sécrétion mycobactérien ancestral, essentiel pour la croissance de Mycobacterium abscessus dans les phagocytes environnementaux et humains. *Med Sci* 2018 ; 34 : 795-7.
37. Colson P, Scola BL, Raoult D. Giant viruses of Amoebae: a journey through innovative research and paradigm changes. *Annu Rev Virol* 2017 ; 4 : 61-85.
38. Claverie J-M, Abergel C. Les virus géants - État des connaissances, énigmes, controverses et perspectives. *Med Sci (Paris)* 2016 ; 32 : 1087-96.
39. Colson P, La Scola B, Levasseur A, *et al.* Mimivirus: leading the way in the discovery of giant viruses of amoebae. *Nat Rev Microbiol* 2017 ; 15 : 243-54.
40. Mattana A, Serra C, Mariotti E, *et al.* Acanthamoeba castellanii promotion of in vitro survival and transmission of coxsackie b3 viruses. *Eukaryot Cell* 2006 ; 5 : 665-71.
41. Steenbergen JN, Nosanchuk JD, Malliaris SD, *et al.* Interaction of Blastomyces dermatitidis, Sporothrix schenckii, and Histoplasma capsulatum with Acanthamoeba castellanii. *Infect Immun* 2004 ; 72 : 3478-88.
42. Heilmann A, Rueda Z, Alexander D, *et al.* Impact of climate change on amoeba and the bacteria they host. *J Assoc Med Microbiol Infect Dis Can* 2024 ; 9 : 1-5.
43. Wannasan A, Uparanukraw P, Songsangchun A, *et al.* Potentially pathogenic free-living amoebae in some flood-affected areas during 2011 chiang mai flood. *Rev Inst Med Trop São Paulo* 2013 ; 55 : 411-6.
44. Moussa M, Tissot O, Guerlotté J, *et al.* Soil is the origin for the presence of Naegleria fowleri in the thermal recreational waters. *Parasitol Res* 2015 ; 114 : 311-5.
45. Silva TCB da, Chaúque BJM, Benitez GB, *et al.* Global prevalence of potentially pathogenic free-living amoebae in sewage and sewage-related environments-systematic review with meta-analysis. *Parasitol Res* 2024 ; 123 : 48.
46. Muchesa P, Mwamba O, Barnard TG, *et al.* Detection of free-living Amoebae using Amoebal enrichment in a wastewater treatment plant of Gauteng province, South Africa. *BioMed Res Int* 2014 ; 2014 : 575297.
47. Meisler DM, Rutherford I, Bican FE, *et al.* Susceptibility of *Acanthamoeba* to surgical instrument sterilization techniques. *Am J Ophthalmol* 1985 ; 99 : 724-5.
48. Moreno-Mesonero L, Soler P, Alonso JL, *et al.* Assessment of pathogenic protozoa in a drinking water treatment plant with UV treatment. *J Environ Manage* 2024 ; 366 : 121897.
49. Sundermann CA, Estridge BH. Inactivation of Giardia lamblia cysts by cobalt-60 irradiation. *J Parasitol* 2010 ; 96 : 425-8.
50. Zahid MT, Mustafa G, Sajid R, *et al.* Surviving chlorinated waters: bleaching sensitivity and persistence of free-living amoebae. *Environ Sci Pollut Res Int* 2024 ; 31 : 48073-84.

51. Bornier F, Zas E, Potheret D, *et al.* Environmental free-living Amoebae can predate on diverse antibiotic-resistant human pathogens. *Appl Environ Microbiol* 2021 ; 87 : e00747-21.
52. Samba-Louaka A. Amoebae as targets for toxins or effectors secreted by mammalian pathogens. *Toxins* 2021 ; 13 : 526.
53. Charrat B, Durrmeyer M, Jaouad W, *et al.* Dictyostelium discoideum - Un modèle novateur pour l'étude de la phagocytose. *Med Sci (Paris)* 2024 ; 40 : 688-91.
54. Long JJ, Luna EK, Jackson M, *et al.* Interactions of free-living amoebae with the rice fungal pathogen, Rhizoctonia solani. *BMC Res Notes* 2019 ; 12 : 746.
55. Zhang Y, Xu X, Wei Z, *et al.* The global epidemiology and clinical diagnosis of *Acanthamoeba* keratitis. *J Infect Public Health* 2023 ; 16 : 841-52.
56. Kalra SK, Sharma P, Shyam K, *et al. Acanthamoeba* and its pathogenic role in granulomatous amebic encephalitis. *Exp Parasitol* 2020 ; 208 : 107788.
57. Lorenzo-Morales J, Cabello-Vílchez AM, Martín-Navarro CM, *et al.* Is *Balamuthia mandrillaris* a public health concern worldwide? *Trends Parasitol* 2013 ; 29 : 483-8.
58. Gharpure R, Bliton J, Goodman A, *et al.* Epidemiology and clinical characteristics of primary Amebic Meningoencephalitis caused by Naegleria fowleri: a global review. *Clin Infect Dis Off Publ Infect Dis Soc Am* 2021 ; 73 : e19-e27.

TIRÉS À PART
A. Delumeau

Abonnez-vous sur
www.medecinesciences.org