

# Les Protozoaires

## 1. Caractères généraux

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires, ils sont en général incolores et mobiles au moins à un stade de leur développement.

Ils se distinguent des **procaryotes** par leur **taille** en général **plus grande**, des **algues** par l'**absence** de **chlorophylle**, des levures et des autres champignons par l'**absence** de **paroi** cellulaire dans **la plupart** des cas.

Ils se présentent sous différentes formes et colonisent tous les milieux (mers, eaux douces, milieux biologiques et sol humide)

Ils sont hétérotrophes. Certains sont **libres**, d'autres sont **parasites** ou **symbiotes**

## 2. Caractères structuraux des protozoaires

La cellule des protozoaires, constituant à elle seule un être autonome, remplit toujours les fonctions qui, chez les Métazoaires sont dévolues à des appareils variés, constituées de cellules différenciées.

Dans la cellule unique des protozoaires, ces diverses fonctions s'exercent grâce à des organites variés, à fonction **locomotrice** (pseudopodes, flagelles et cils), **squelettique** (microtubules), **digestive** (cytostome, vacuoles digestives), **excrétrice et osmorégulatrice** (vacuoles contractiles), **défensive** (trichocystes).

La taille des protozoaires est généralement microscopique certains parasites ont moins de 1  $\mu\text{m}$  de diamètre.

Beaucoup de protozoaires ont quelques dizaines de microns, mais les plus grands peuvent mesurer jusqu'à plusieurs centimètres.

### 2.1. Le cytoplasme

Le cytoplasme transparent, homogène est généralement incolore. La viscosité varie avec les espèces et les conditions ambiantes (température).

Les observations au microscope électronique permettent de distinguer un **endoplasme interne, fluide** (sol), riche en enclaves et un **ectoplasme périphérique** hyalin, visqueux (gel) et élastique.

Les deux composants peuvent passer d'un **état** à l'**autre**.

### 2.2. La membrane plasmique ou plasmalemme

La membrane plasmique, lipoprotéique, est généralement mince, résistante et élastique.

Cette membrane cytoplasmique peut être renforcée extérieurement par une enveloppe **squelettique** de nature **variée, calcaire, siliceuse** ou **chitineuse**, qui joue un rôle de protection contre les **agressions** et la **déshydratation**.

## 2.3. Les organites cytoplasmiques

**2.3.1. Le chondriome** est un élément constant. Les mitochondries dont la taille semble proportionnelle à celle du protozoaire possèdent des crêtes **tubulaires**, plus ou moins nombreuses. La présence de crêtes **lamellaires** semble assez exceptionnelle.

**2.3.2. Le réticulum endoplasmique** est présent chez tous les protozoaires étudiés. Sous sa forme granulaire, il se présente sous l'aspect de saccules aplatis, simples ou ramifiés.

### 2.3.3. L'appareil de golgi

Chez les **Sporozoaires**, les **Amibes**, les **Ciliés**, il est représenté par plusieurs dictyosomes de taille variable dispersés dans le cytoplasme.

Chez la plupart des **Flagellés**, l'appareil de Golgi généralement **indivis**, est désigné sous le terme de **d'appareil parabasal**, cet organite de grande taille est en relation avec un filament émanant du **centrosome**, le **filament parabasal**.

**2.3.4. Le centrosome** : limité en période d'interphase au centriole ou diplosome, est un organite constant et permanent qui occupe, à proximité du noyau, une position **fixe**.

Le centrosome remplit des fonctions variées :

- Il participe à la division mitotique de nombreux protozoaires en formant le fuseau achromatique.

- Il se divise souvent en un **grand nombre** de **granules** dont les fonctions et les destinées sont différentes.

L'un de ces granules représente le centrosome vrai et conserve la faculté de se diviser ; les autres deviennent de manière **irréversible**, les **cinétosomes** ou grains basaux ou **corpuscules basaux** : **centrioles producteurs** de **cils** ou de **flagelles**.

**2.3.5. Les vacuoles pulsatiles ou contractiles** : sont des formations permanentes, occupant des positions fixes. La contraction de ces vacuoles expulse le contenu dans le milieu ambiant ou dans un réservoir en relation avec le milieu extérieur ; certaines ont un orifice permanent (nombreux ciliés).

Les vacuoles pulsatiles sont présentes chez les **flagellés** et les **ciliés**.

Au cours de la division cellulaire, la vacuole pulsatile **persiste** dans l'un des individus fils tandis qu'une **nouvelle apparaît** dans l'autre.

Les vacuoles pulsatiles participent au rejet des déchets du métabolisme et la régulation de la pression osmotique.

**2.3.6. Le noyau** : de forme très variable, limité par une membrane nucléaire nette, contient un ou plusieurs nucléoles, chez les ciliés, il existe 2 types de noyaux :

Un volumineux et granuleux noyau, le **macronucléus** à fonction **trophique** et un noyau de dimensions réduites, **micronucléus**

### 3. Physiologie générale

#### 3.1. Nutrition et digestion

Les protozoaires pratiquant la prédation sont très mobiles. par exemple une amibe peut attraper une paramécie : plusieurs lobopodes participent à la prédation.

La proie est ingérable en n'importe quel point du corps. Les pseudopodes servent à la capture de la proie.

Il y a ensuite libération de substances **toxiques** pour **immobiliser** la proie, puis la mise en place d'une **vacuole digestive**.

Les paramécies ont une « bouche », le **cytostome** située au fond d'un entonnoir cilié, le **cytopharynx**.

L'entonnoir est garni de cils qui, en battant, dirigent les proies vers la bouche.

Le cytopharynx a un grand nombre de **trichocystes** qui paralysent les proies. Ces dernières sont ensuite amenées dans la vacuole digestive.

L'élimination des éléments indigestibles se fait également dans une zone spécialisée : le **cytoprocte**.

#### 3.2. Respiration et circulation

Les protozoaires dépendent exclusivement de la **diffusion** pour la respiration et la circulation de l'**oxygène** et des **éléments nutritifs**. La pellicule doit donc être perméable ce qui empêche les protozoaires de coloniser les milieux terrestres à moins que l'air soit continuellement saturé d'humidité.

Les protozoaires, comme tous les organismes aquatiques, font face à des problèmes lorsque la **température** de l'eau **est élevée**. En effet, les besoins d'oxygène augmentent avec un accroissement de la température. Cependant, la solubilité de l'oxygène dans l'eau **diminue**, lorsque la température augmente. Les hautes températures sont donc **défavorables** à leur survie.

#### 3.3. Excrétion et osmorégulation

La digestion et la dégradation des protéines par les animaux produisent des déchets contenant de l'azote. Ces déchets azotés doivent être éliminés car ils sont toxiques.

L'**ammoniac** (NH<sub>3</sub>) est le produit direct du métabolisme des **protéines**. Il est **très soluble** dans l'eau.

Les protozoaires éliminent leurs déchets azotés sous forme d'ammoniac par **diffusion**. Ce mécanisme simple est **possible** parce qu'ils ont un **fort** rapport **surface/volume**, et parce qu'ils vivent en milieu aquatique. La diffusion de l'ammoniac est également **facilitée** par les mouvements **internes** du **cytoplasme**.

Les protozoaires qui vivent en eau douce font face à des problèmes osmotiques.

Leurs fluides internes ont une pression osmotique supérieure à celle de leur milieu. L'eau entre donc continuellement à l'intérieur de la cellule par osmose. Pour éliminer le surplus d'eau. Les organismes **dulcicoles** sont munis d'une structure spécialisée, la **vacuole contractile**.

Un **transport actif** des sels minéraux vers l'intérieur de la cellule permet de plus à l'organisme de maintenir son **équilibre osmotique**. Les protozoaires marins ont une pression osmotique interne à peu près égale à celle de l'eau de mer. Ils sont **iso-osmotiques** à l'eau de mer.

### 3.4. Locomotion

Le mouvement orienté permet la recherche de nourriture, d'un abri, d'un nouvel habitat, on trouve trois types d'appareils locomoteurs.

-Les pseudopodes

Les pseudopodes sont des extensions cytoplasmiques temporaires pour la locomotion et la capture des proies.

En général, des pseudopodes se rétractent pendant que d'autres se forment.

-Les cils et flagelles

Les cils et flagelles ont la même structure interne. Ils sont formés de neuf paires de microtubules formant un cercle autour d'une paire centrale (structure : 9+2)

Les cils et flagelles retrouvés chez presque tous les animaux ont la même structure.

Le mouvement des cils et flagelles est **alimenté** par des molécules d'**ATP**.

Chez les ciliés, comme la paramécie, le battement des cils serait inefficace s'il n'était pas coordonné. Cette coordination est faite mécaniquement par un appareil complexe de fibrilles interciliaires qui relie les cils entre eux et contribue à rendre la pellicule plus rigide.

### 3.5. REPRODUCTION

Les Protozoaires se multiplient le plus souvent par voie asexuée; certains recourent régulièrement ou dans certaines conditions de milieu à la reproduction sexuée. Enfin, certains parcourent des cycles complexes où alternent de manière régulière des phases de multiplication asexuée et des phases de reproduction sexuée.

#### 3.5.1.. La multiplication asexuée

La multiplication asexuée ou agamogonie qui correspond à une **fragmentation** de l'individu comporte une ou plusieurs mitoses : la **plasmotomie** suit immédiatement la **caryocinèse** Elle peut se présenter sous plusieurs aspects.

- **La division binaire longitudinale** (Flagellés, Fig1) ou **transversale** (Ciliés) résulte d'une mitose simple. La mitose se distingue de celle observée chez les **Métazoaires** par :

-la persistance fréquente de la membrane nucléaire

-l'absence de fuseau ou l'existence d'un fuseau **intranucléaire**

-la persistance et la fragmentation des nucléoles

Les **différents types** de mitose semblent **caractéristiques** des différents groupes naturels de Protozoaires.

- **La division multiple ou schizogonie** fait suite à des mitoses répétées ; le cytoplasme se découpe en autant de **territoires** que de noyaux-fils ce qui isole des **schizozoïtes** (ex : Sporozoaires).

-**Le bourgeonnement**: un ou plusieurs bourgeons apparaissent à la surface ou dans une cavité de l'organisme parental, entraînent un appareil nucléaire complet puis se détachent et reforment chacun un individu complet.

### 3.5.2. La reproduction sexuée

La reproduction sexuée ou **gamogonie** est caractérisée par la fusion de 2 cellules sexuelles complémentaires ou gamètes, **haploïdes**. Cette fécondation engendre un œuf (ou zygote ou copula) diploïde. La méiose réalise le passage de la phase diploïde (**diplophase**) à la phase haploïde (**haplophase**) compensant ainsi les effets de la fécondation.

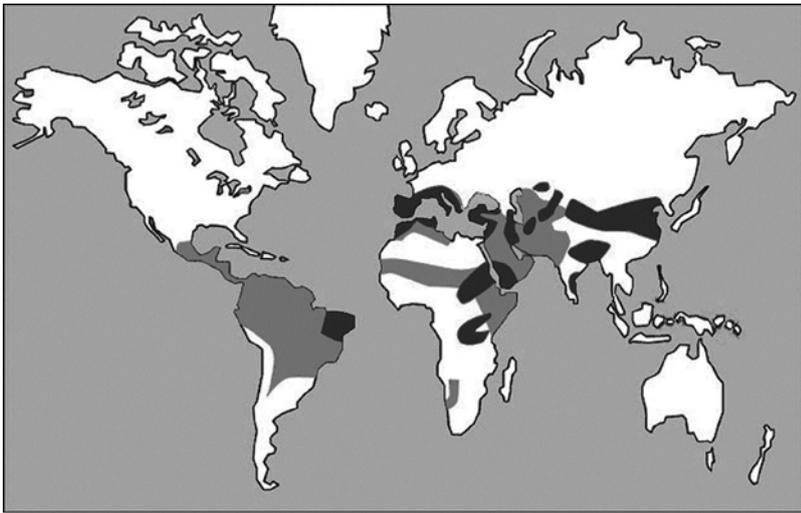
La reproduction sexuée joue un rôle secondaire chez les Protozoaires dont la majorité se multiplie par voie asexuée (Flagellés, Amibes), Elle est inconnue dans plusieurs groupes (Amibes). Elle a le plus souvent la signification d'une **rénovation** de l'individu grâce au remaniement et au renouvellement **partiel** de sa **garniture chromosomique**.

### 3.6. Formes de résistance : L'enkystement

La dessiccation progressive, la pullulation, l'appauvrissement des éléments nutritifs, la surcharge en substances de déchet, la variation de la température ou du pH sont des conditions défavorables, voire même néfastes aux Protozoaires. Certaines formes échappent par enkystement à ces conditions adverses ; ce processus est caractérisé par, la **lyse** des organites spécialisés (fibrilles, plaques squelettiques, flagelles, cils), la **déshydratation poussée** du cytoplasme, la **sécrétion** d'une **coque** protectrice épaisse, **peu perméable**, le **ralentissement** des échanges métaboliques.

Ces kystes, généralement arrondis, supportent les conditions défavorables et peuvent assurer la **propagation** des **espèces** notamment chez les formes **parasites**.

Le **retour** des conditions **favorables** permet l'**ouverture** du kyste et le Protozoaire reprend une **vie active**. La **germination** des kystes est fréquemment accompagnée d'une **multiplication asexuée** (ex : Amibes parasites) et de la libération de **plusieurs** individus. De même, des phénomènes **sexuels** peuvent **avoir lieu** à l'occasion de l'**enkystement** ou du **dékystement** (Sporozoaires).



■ Principaux foyers    ■ Zones d'endémie

## Les protozoaires parasites

Les protozoaires parasites sont divisés en trois embranchements principaux.

▫

### 1. Les Rhizoflagellés (Sarcomastigophores)

Les représentants de cet embranchement possèdent un seul noyau. La sexualité lorsqu'elle se manifeste est de type syngamitique. Ils peuvent avoir de **flagelles** ou de **pseudopodes**.

#### 1.1. Classe des flagellés

Les flagellés sont caractérisés par la présence, pendant une partie au moins de leur cycle, d'un ou plusieurs flagelles locomoteurs.

La reproduction **sexuée, assez exceptionnelle**, met en jeu des **gamètes flagellés**.

Ils sont hétérotrophes (nutrition osmotrophe ou phagotrophe)

##### 1.1.1. Genre 1 : Trypanosoma

Les Trypanosomes, au corps fusiforme, contourné, possèdent un long flagelle qui s'insère sur un cinétosome, situé en arrière du noyau; ce flagelle est relié au corps par une membrane ondulante et n'est libre qu'à son extrémité antérieure. Le cytoplasme contient également des granules lipidiques

Les trypanosomes sont des parasites **hétéroxyènes** dont le cycle de développement exige le passage par deux hôtes.

Ils vivent généralement dans le **sang** ou le liquide **céphalorachidien** de divers Vertébrés auxquels, ils sont inoculés par des **Invertébrés piqueurs, hématophages** (Insectes, sangsues) dans l'**intestin** desquels, ils **se multiplient**, subissent d'importantes modifications et **acquièrent leur virulence**.

Les Trypanosomes se multiplient par des **divisions binaires**.

##### 1.1.1.1. Trypanosome brucei gambiense

La trypanosomiase humaine est une maladie parasitaire endémique, touchant de nombreux pays de l'Afrique sub-saharienne, transmise à l'homme par un arthropode vecteur hématophage : la glossine, ou mouche tsé-tsé. L'évolution en est le plus souvent mortelle en l'absence de traitement, qui repose par ailleurs sur des médicaments toxiques

- **L'agent pathogène**

Les trypanosomes sont des protozoaires flagellés fusiformes mis en évidence dans le sang, les ganglions et le liquide cérébrospinal. Ils sont très mobiles à l'état frais.

La coloration permet de visualiser un noyau central et un point postérieur (kinétoplaste) duquel part le flagelle mobile (figure 1a, b) Le flagelle part vers l'avant, soulevant la membrane ondulante, et se prolonge par une partie libre en avant du trypanosome.

La taille du parasite varie de 12 µm à 42 µm de long sur 1,5 µm à 3,5 µm de large

## TRYPANOSOMOSES

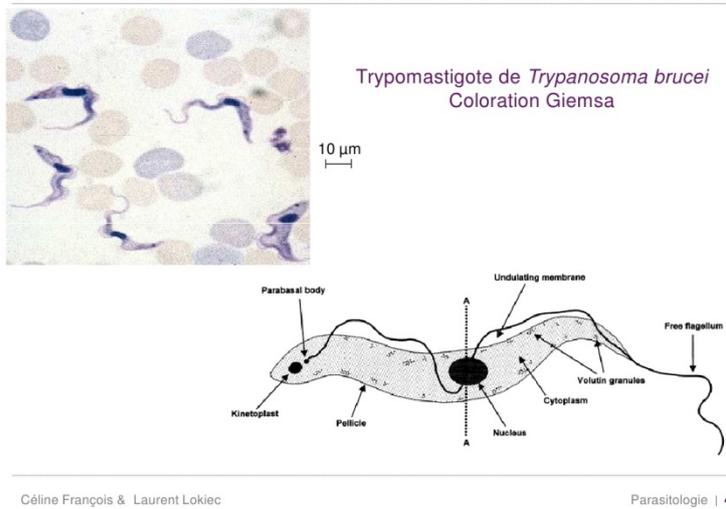


Fig1a : Frottis sanguin avec Trypanosomes. Fig1b : schéma d'un Trypanosome

. *Trypanosoma brucei gambiense* adopte deux morphologies en fonction de l'hôte dans lequel il est présent :

- **Trypomastigote** : *Trypanosoma brucei* adopte cette morphologie lorsqu'il est dans son hôte **définitif**, les mammifères dont l'être humain. Le kinétoplaste et le corps basal sont **postérieurs** au noyau.

- **Épimastigote** : cette morphologie peut être observée lorsque *Trypanosoma brucei* infecte son hôte **intermédiaire**, la mouche tsé-tsé. Le kinétoplaste et le corps basal sont **antérieurs** au noyau.

- **Le vecteur**

Les vecteurs sont des diptères du genre *Glossina*, **les mouches tsé-tsé** (figure 3).



Fig. 3. *Glossina sp. adulte* (mouche tsé-tsé)

Il existe un grand nombre d'espèces et de sous-espèces. Les espèces hygrophiles, *Glossina palpalis*, vectrices de *T. b. gambiense*, vivent dans les forêts et près de l'eau, alors que les espèces xérophiles, *G. morsitans*, vectrices de *T. b. rhodesiense*, vivent dans les savanes.

- **Cycle évolutif du *Trypanosoma brucei gambiense***

Très mobiles, les trypomastigotes vivent d'abord dans le sang, la lymphe et le suc ganglionnaire, se multipliant activement par simple division longitudinale ; plus ou moins tôt, elles envahissent le liquide céphalorachidien ,LCR, et s'y multiplient.

Le cycle évolutif nécessite un hôte **intermédiaire** et vecteur, une mouche piqueuse, *Glossina palpalis*, (diptère brachycère), appelée localement Tsé-tsé.

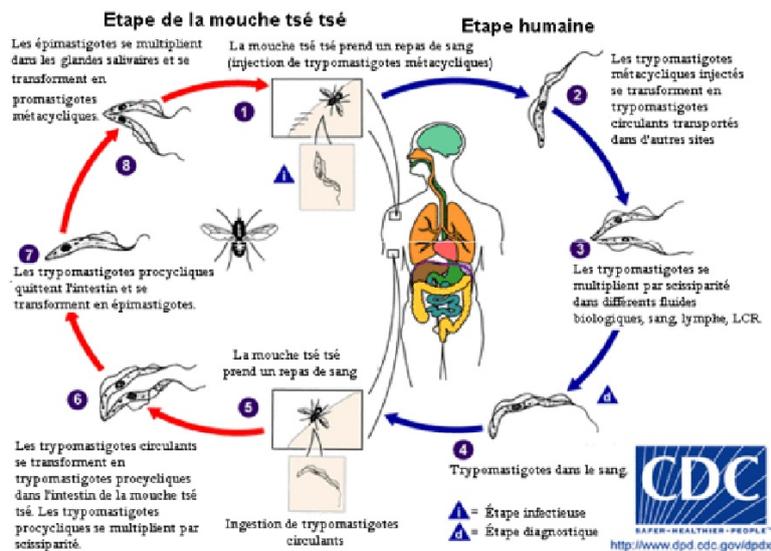
Les formes présentes dans le sang, pompées avec son repas par la glossine se multiplient d'abord dans son intestin puis remontent vers le proventricule et les glandes salivaires où après le passage par le stade épimastigote, elles vont s'accumuler ,en attente, sous forme trypomastigote métacyclique infectieuse (forme trapue à flagelle libre presque inexistant).

Le cycle est bouclé quand la glossine infectée, piquant un sujet neuf, lui injecte, avec la salive, 3 à 400 trypanosomes méta cycliques infectieux.

Le **porc**, le **chien** et les **antilopes** représentent des **réservoirs** des Trypanosomes. Ils hébergent, le parasite, mais **n'en subissent aucun dommage**

## TRYPANOSOMOSES

### 1 – 2 – Cycle évolutif des trypanosomes africains



- **-Physiopathologie**

Le trypanosome responsable de la maladie du sommeil est *Trypanosoma gambiense*.

Le trypanosome vit dans le sang, la moelle osseuse et le liquide céphalo-rachidien ou LCR de l'homme. Lorsque la mouche tsé-tsé pique une personne infestée, les trypanosomes passent dans l'intestin de la mouche, puis dans le proventricule et remontent ensuite dans les glandes salivaires où la multiplication se poursuit (asexuée).

Les parasites vont passer **18 à 25** jours dans la mouche puis seront transmis à l'homme par piqûre.

Ce parasite, inoculé par la mouche **tsé-tsé**, *Glossina palpalis*, se multiplie tout d'abord activement dans les **ganglions lymphatiques**, période d'incubation de **10 à 15 jours**, puis gagne le plasma sanguin et le liquide céphalorachidien .Sa présence se traduit par :

-une **fièvre intermittente et irrégulière**,

-Divers **œdèmes**

**-Dessèchement oculaire**

C'est la **phase sanguine et ganglionnaire**.

La **phase méningoencéphalitique**, elle correspond au **passage** du parasite dans le **liquide céphalorachidien**, elle est caractérisée par:

- **Troubles nerveux**: torpeur et somnolence diurne, agitation nocturne, méningite, troubles psychiques, amaigrissement.

La **phase finale**: elle est marquée par une **cachexie** et une **hypothermie** qui conduisent à **la mort** du sujet malade. **La maladie est mortelle en quelques mois**

- **Répartition géographique**

La trypanosomiase humaine africaine existe en foyers limités (figure 5), en Afrique de l'Ouest pour *T. b. gambiense* (République démocratique du Congo, Angola, République centrafricaine, Congo, Soudan du Sud, Tchad, Côte d'Ivoire, Sierra Leone...) et en Afrique de l'Est pour *T. b. rhodesiense*, liés à des facteurs propres aux glossines (reproduction, température, humidité, végétation) et à leur répartition. La modification du biotope, comme la déforestation, peut avoir des répercussions sur l'épidémiologie.

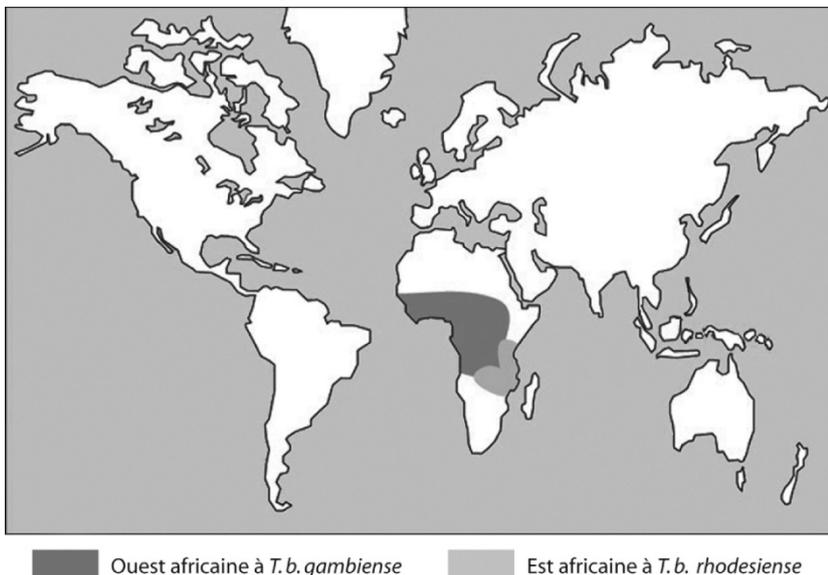


Fig5 : Répartition géographique des trypanosomiasés humaines africaines

### 1.1.1.2. Le genre *Leishmania*

Les *Leishmanies* sont des parasites hétéroxènes dont le cycle évolutif exige le passage par un Vertébré, et par un insecte piqueur, les phlébotomes.

Chez le Vertébré, ce sont des parasites **endocellulaires globuleux**, de petite taille, **2 à 6µm**, à noyau central dont le **flagelle** est **réduit** à une courte **portion intracytoplasmique**.

Ces parasites sont de redoutables agents pathogènes.

*Leishmania donovani*: provoque une maladie grave, voire mortelle, la **leishmaniose viscérale**, caractérisée par une :

- **fièvre irrégulière** et persistante,
- **hypertrophie** de la rate et du foie : hépatomégalie et splénomégalie,
- **réduction** du nombre des globules blancs ou **leucopénie**
- **cirrhose**
- **cachexie**

*Leishmania tropica* est l'agent du Bouton d'orient (Bouton de Biskra), ulcère cutané fréquent sur les portions découvertes du corps. Ce parasite inoculé par *Phlebotomus papatasi* pullule au point de piqûre dans les cellules épithéliales et les leucocytes.

La période d'**incubation** varie entre **1 et 4 mois**. Les lésions siègent le plus souvent sur les parties découvertes et exposées à la piqûre des phlébotomes (visage, mains et avant-bras, membres inférieurs).

Elles débutent par une petite papule inflammatoire ou vésiculaire qui augmente régulièrement de taille. La guérison survient **spontanément** mais les traces sont **indélébiles**.

Le **chien** et divers **Rongeurs**, sont pour ce parasite, **des réservoirs**

- **L'agent pathogène**

Le parasite est un protozoaire flagellé tissulaire qui présente au cours de son cycle deux stades évolutifs distincts :

-Le stade **amastigote**, sans flagelle extériorisé, est **intramacrophagique** et retrouvé chez les **hôtes vertébrés** dont l'Homme.

-le stade **promastigote**, libre et mobile grâce à son flagelle, est retrouvé dans l'intestin du **phlébotome** et dans les milieux de culture.

Les formes **amastigotes** sont ovoïdes, mesurent **2 µm à 6 µm** et présentent en microscopie optique, après coloration au MGG, deux inclusions pourpres caractéristiques : le noyau, arrondi, et le kinétoplaste (origine du flagelle) en bâtonnet plus sombre (figure 1).

Les formes **promastigotes** sont allongées, mesurant **10 µm à 25 µm** de longueur (figure 2). Le noyau est central, le kinétoplaste est en position **antérieure**

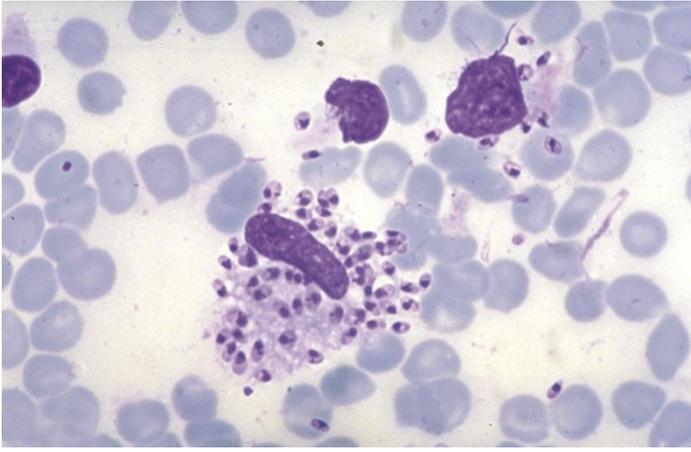


Fig1. Moelle osseuse : *Leishmania*, formes amastigotes (MGG ;  $\times 1\ 000$ ).



Fig. 2. Leishmanies en culture, formes promastigotes (MGG ;  $\times 1\ 000$ )

Les leishmanies se multiplient par division binaire ,dans la ou les vacuoles **parasitophores** du cytoplasme des macrophages pour les amastigotes ; libérées ensuite par lyse du macrophage, elles sont phagocytées et évoluent dans d'autres macrophages.

En **culture**, comme dans **l'intestin** du **vecteur**, les formes amastigotes se transforment en formes promastigotes et **se multiplient** par scissiparité longitudinale.

- **-Le vecteur**

Les **phlébotomes** sont des **moucheron hémato-phages** de 1,5 mm à 4 mm de long. Ils piquent surtout le **soir et la nuit** par temps calme.

**Seule la femelle, hémato-phage**, assure la transmission de la leishmaniose (figure 3). Leur gîte est constitué par les anfractuosités de murs et de terriers où ils se gorgent sur des micromammifères (rongeurs), pouvant constituer le **réservoir** pour certaines espèces de leishmanies.



**Fig. 3. Phlébotome adulte**

- **Les réservoirs**

Les réservoirs naturels des *Leishmania* sont des **mammifères domestiques ou sauvages** chez lesquels le parasite colonise les cellules du système des phagocytes mononucléés.

Les mammifères réservoirs des *Leishmania* appartiennent à divers ordres : carnivores, rongeurs, marsupiaux, édentés, primates; dans ce cas, la leishmaniose est dite **zoonotique**. Lorsque l'Homme est l'unique réservoir du parasite, elle est dite **anthroponotique**.

- **Cycle évolutif**

Chez le vecteur, les formes amastigotes sont ingérées au cours du repas sanguin (figure4). Elles se transforment en formes promastigotes dans les heures qui suivent.

Elles subissent ensuite un cycle complexe comportant de nombreuses divisions mitotiques, deux étapes de fixation à l'épithélium de la muqueuse intestinale et une phase de migration vers la partie antérieure du tube digestif, où a lieu la transformation en formes virulentes dénommées **promastigotes métacycliques infectants**. Ces dernières sont régurgitées **lors du repas sanguin** suivant dans le derme d'un hôte favorable.

L'**inoculation intradermique de promastigotes** métacycliques induit, au site même de la piqûre, une **lésion** qui passe généralement inaperçue chez l'Homme et **dont le devenir** dépend du **tropisme** : cutané, muqueux ou viscéral des différentes espèces de *Leishmania*. : *Leishmania tropica*, *Leishmania infantum* et *Leishmania donovani*.

Dès la pénétration intracellulaire, les formes promastigotes se transforment en formes amastigotes.

La transmission vectorielle est le mode de contamination principal, la présence du phlébotome conditionnant la répartition de la maladie. Il existe également une transmission par échange de seringues chez les

toxicomanes, les transmissions transfusionnelles et congénitales restent exceptionnelles.

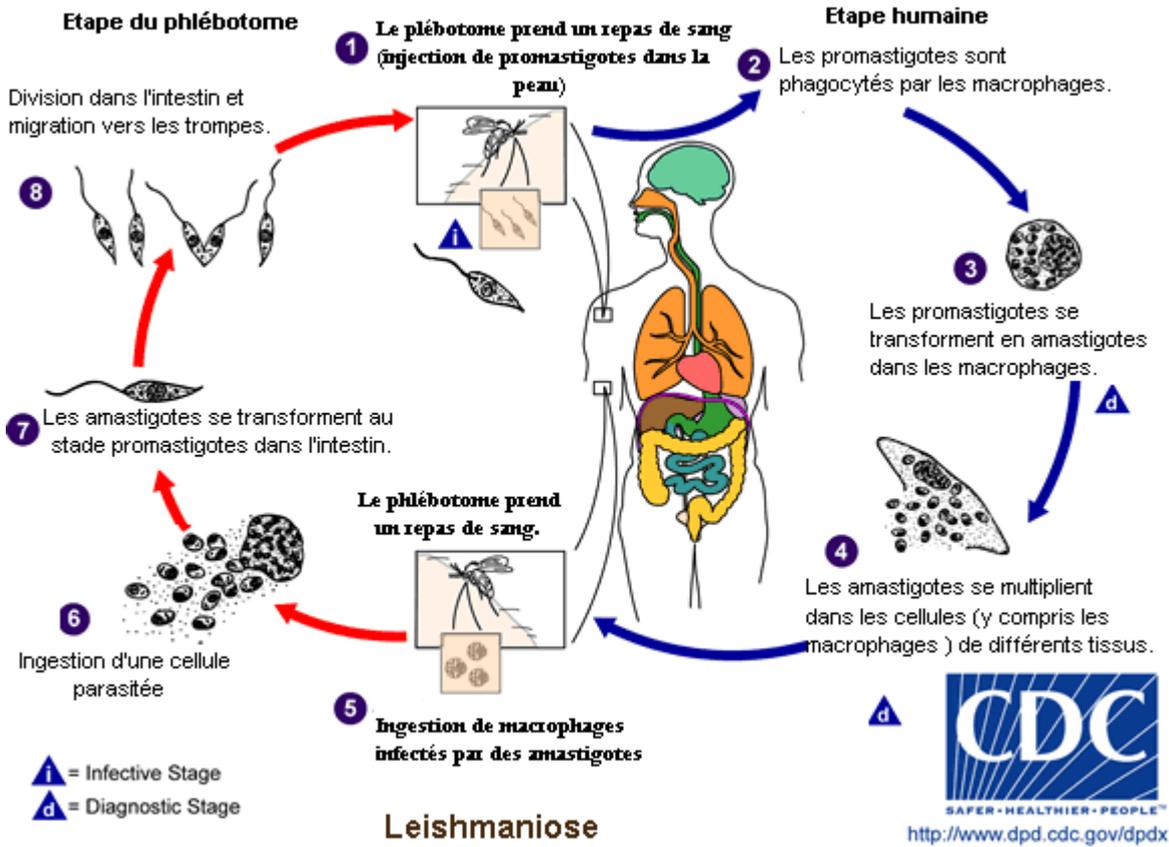


Fig4 : Représentation schématique du cycle de développement du genre *leishmania*

- Répartition géographique

Il s'agit d'une parasitose des zones intertropicales et tempérées chaudes, signalée dans 88 pays répartis en cinq foyers : méditerranéen, chinois, indien, africain et latino-américain (figure 5). La prévalence de la maladie est estimée à 12 millions et l'incidence annuelle à 2 millions (1,5 million de leishmanioses cutanées dont 90 % en Algérie, Afghanistan, Arabie saoudite, Brésil, Iran, Pérou, Syrie, et 500 000 leishmanioses viscérales dont 90 % au Bangladesh, Brésil, Inde, Népal et Soudan). L'Europe du Sud fait partie du foyer méditerranéen dans la partie occidentale et septentrionale. On n'y rencontre que *Leishmania infantum*, dont le réservoir principal est le chien. Chez l'Homme, la leishmaniose viscérale méditerranéenne y est l'expression clinique dominante.

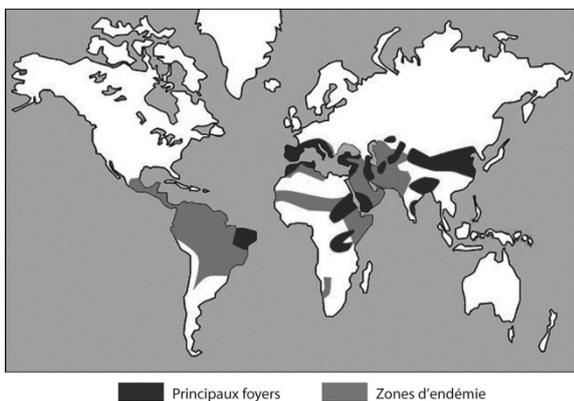


Fig. 5 Répartition géographique des leishmanioses

## 1.2. Classe des Rhizopodes

Le déplacement se fait par pseudopodes ou lobopodes. Les flagelles, lorsqu'ils existent, sont temporaires et confinés à des stades précis du développement. Corps nu ou protégé par un squelette externe.

Multiplication asexuée par scission. La sexualité, lorsqu'elle existe, est liée à la présence de **gamètes flagellés, ou plus rarement, amiboïdes. Les espèces sont libres et parasites.**

### 1.2.1. Le genre *Entamoeba*

Ce genre comporte les vraies amibes, typiquement uninucléées, qui n'ont pas de stade **flagellé**.

#### 1.2.1.1. *Entamoeba histolytica* (*E.dysenteriae*).

Cette amibe pathogène vit dans le **gros intestin** de l'homme et détermine la **dysenterie amibienne**. Elle existe sous deux formes: une forme **mobile végétative** et une forme **kystique de résistance**.

- **La forme végétative**

Cette forme peut revêtir deux aspects différents qui présentent une physiologie particulière.

- **La forme hématophage**: est une grosse amibe de **20 à 30 µm** à endoplasme **granuleux** et Ectoplasme **hyalin**.

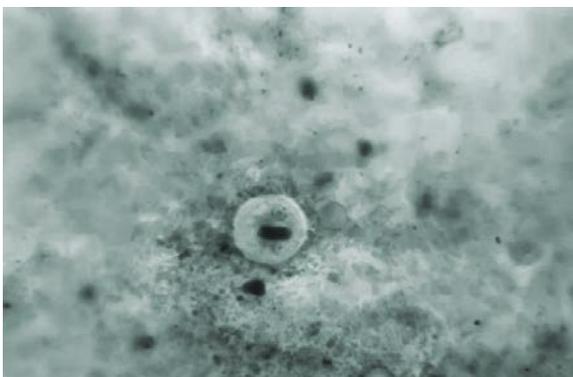


Fig1 : Microphotographies d'*Entamoeba histolytica* :Trophozoïte(a) et forme kystique(b)

- **Cycle évolutif**

L'homme se contamine par ingestion de kystes, qui se transforment en trophozoïtes dans le colon sous l'action des sucs digestifs.

Les trophozoïtes se déplacent activement dans l'intestin ainsi que dans les ulcérations qu'ils déterminent d'où des **hémorragies locales**. Ces trophozoïtes se transforment en kystes lors de la constitution du bol fécal. Dans certaines circonstances, certains trophozoïtes peuvent devenir **histolytiques** : ils pénètrent dans la paroi colique en détruisant les tissus : amibiase intestinale aiguë. C'est alors que, par voie hématogène, ils peuvent gagner différents organes, le foie en premier lieu, la rate puis éventuellement le poumon, le cerveau, ainsi que les téguments : amibiase tissulaire. qui se traduit, entre autres, par des **abcès**.( Fig2)



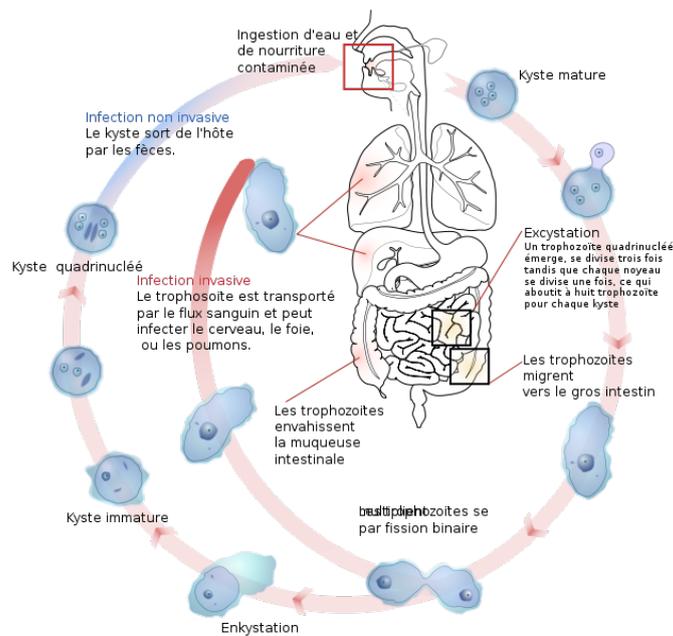
Fig2 : Scanner abdominal : présence de deux abcès dans le foie (lésions arrondies apparaissant sombres).

Billet AC, et al. BMJ Case Rep. 2019 May 10;12(5). Pii: e228942.

Le scanner abdominal met en évidence deux abcès hépatiques de 5,8 cm et 6,7 cm de diamètre.

A ces niveaux, l'amibe se nourrit par phagocytose des **hématies**. Elle se divise rapidement

Par **division binaire**.



: Fig3 :Représentation schématique

du cycle évolutif d'*Entamoeba histolytica*

- **La forme minuta**: d'un diamètre moyen de 10 à 15µm, présente un **ectoplasme** clair et un **endoplasme** granuleux contenant des bactéries **phagocytées** et, latéralement, le **noyau** caractéristique : arrondi, d'un diamètre de 5 microns,; **non hématophage**, **exclusivement** localisée dans la **lumière de l'intestin**, ses mouvements sont **moins rapides**. Elle se nourrit des **débris cellulaires**.

Le passage à la forme **histolytica** peut se faire à tout moment sous l'influence de divers facteurs dont certains seulement sont élucidés :

- flore associée,
- pH, -
- déficit en IgA sécrétoires,
- fléchissement de l'état général.

L'amibe change alors de biologie : pénétrant dans l'intimité de la muqueuse, grâce à des enzymes protéolytiques, elle devient hématophage et se multiplie activement provoquant une nécrose tissulaire

### • La forme kystique

**Avant** de s'enkyster, l'amibe élabore des produits de réserves. Les kystes de **5 à 20µm**, à **4 noyaux**, se forment quand l'**oxygénation** et le **pH** du milieu **diminuent**.

Ces kystes sont **très résistants**, en particulier **au suc gastrique** (contamination orale). Rejetés avec les **excréments**, ils peuvent souiller **les légumes, l'eau, les aliments crus**.

Leur **dissémination** est assurée par la **mouche domestique** qui peut les **absorber** mais les rejette **intacts** avec ses **excréments**.

Lors du dékystement les noyaux **se divisent** d'où la libération de **8 petites amibes uninucléées**.

Un porteur d'amibes peut éliminer un nombre **important** de **kystes** par jour, ce qui explique la **facilité** et la **rapidité** de la **contamination**, si l'hygiène est **défectueuse**.

## 4.2. Phylum II: Apicomplexa

Ils sont caractérisés à l'échelle ultrastructurale, par la présence d'un **complexe apical**, formé **d'anneaux polaires, absence de cils**.

Sexualité par **syngamie**. Toutes les espèces **sont parasites**.

### Classe: Sporozoa

Les sporozoaires sont des protozoaires parasites **haplobiontiques**, monoxènes ou hétéroxènes.  
(Fig4)

Leur reproduction est très active et présente des phénomènes **sexuels nets**.

Leur cycle de développement débute toujours par un stade **vermiforme**, le **sporozoïte**, qui pénètre dans la cellule-hôte grossit considérablement, divise son noyau plusieurs fois, puis se divise en éléments uninucléés, les **schizozoïtes**, à l'origine des **gamontes**.

Le **zygote** subit immédiatement, la **réduction chromatique**. L'**oocyste** est à l'origine des **sporozoïtes**.

Dépourvus de structures de **locomotion** à l'état adulte, ces organismes se déplacent par **glissement**.

Absence de pseudopodes ou interviennent que dans le **processus de prise alimentaire**.

### Sous classe : Coccidia

Les sporozoaires de cette sous classe, sont de **taille petite ou moyenne**.

Ils sont des **parasites** des **Arthropodes**, d'**Annélides** et des **Vertébrés**.

Leur cycle présente en alternance, une phase de **gamogonie** et une phase de **Schizogonie**.

Ces deux phases peuvent se dévoiler chez un même hôte ou chez deux hôtes distincts.

La gamétogenèse femelle est beaucoup plus courte que la gamétogenèse mâle et l'**anisogamie** est très **marquée**.

Le gamonte femelle se transforme directement en gamète. Le gamète mâle, **très petit** est toujours **osmotrophe**.

### Les coccidies hétéroxènes

Les coccidies **hétéroxènes**, les gamètes mâles sont **peu nombreux**, le **zygote** s'accroît tout en multipliant ses noyaux.

La **schizogonie** se déroule à l'**intérieur** des **hématies** des **Vertébrés** alors que la **gamogonie** a lieu chez un **diptère piqueur**.

Ils parasitent les Vertébrés (Petites oiseaux et Mammifères).

**-Etude d'un type : Plasmodium falciparum**

Chez l'homme, ce protozoaire est l'agent d'une forme **particulière** du **paludisme**, la **fièvre maligne**.

La multiplication asexuée ou **schizogonie**. Cette phase se déroule chez **l'homme** et permet **l'extension** de la maladie chez le **paludéen**. Elle comprend 2 phases distinctes. (Fig5)

#### - Phase exo-érythrocytaire

Les sporozoaires **inoculés** par **l'anophèle femelle** (moustique) restent pendant une **trentaine** de **minutes** maximum dans la **peau**, la **lymphe** et le **sang**. Beaucoup sont **détruits** par les **macrophages**, mais **certains** parviennent à gagner les **hépatocytes**. Les **sporozoites** s'y transforment en de volumineux **schizontes** de **30 à 40um**, forme **multinucléée**, qui **se découpe** et donne de très **nombreux schizozoites** ou **mérozoites**, qui sont **libérés** dans le **sang**.

#### - Phase érythrocytaire :

**Très rapidement**, les **schizozoites** pénètrent dans les **globules rouges**, et prennent une forme **amiboïde**. Ils se nourrissent aux **dépens de l'hémoglobine**. Au terme de leur croissance ces **schizozoites** multiplient leurs **noyaux** et **se découpent** en autant de **schizozoites**. A ce stade, le globule rouge **parasité**, **éclate** libérant de **8 à 32 schizozoites** qui pénètrent dans de **nouvelles hématies**.

Le **cycle** de schizogonie **dure 48 heures** et peut se répéter **plusieurs fois**.

Les **schizozoites** assurent la **propagation** du parasite dans le **sang du paludéen**, mais ils **ne peuvent pas vivre en dehors** de l'organisme de sorte que la maladie **n'est pas contagieuse d'homme à homme**.

**Après** un certain **nombre** de cycles érythrocytaires, **certains schizozoites**, se transforment en **gamétocytes** ou **gamontes** à potentiel **mâle** ou **femelle**, qui passent dans le **sang périphérique**, mais leur **évolution**, chez l'homme **s'arrête à ce stade**. La gamogonie **ne peut se poursuivre** que chez le **second hôte**, la **femelle** du genre **Anophèle**.

#### La reproduction sexuée ou gamogonie

Lorsqu'une **femelle** du genre **Anophèle** pique un malade **paludéen** et **absorbe** son sang, les globules rouges **sont digérés**, ainsi que les **schizozoites**, mais les **gamétocytes** restent **intacts**.

Le gamétocyte femelle se transforme en **un volumineux** gamète femelle, sphérique ou **macrogamète**.

Le **gamétocyte mâle** multiplie son noyau et forme par **perlage 4 à 6** gamètes mâles, uninucléés, **aflagellés**, **serpentiformes**, les **microgamètes**.

La **fécondation** a lieu dans le **mésenteron** de l'Anophèle. La cellule-œuf ou **oocinète** traverse l'**épithélium intestinal** et se place entre cet **épithélium** et l'enveloppe **péritonéale** qui, distendue, fait **saillie** dans la **cavité hémocoelienne** et **s'enkyste** et subit une **réduction chromatique**, puis les **mitoses** et **engendre** de nombreux **sporozoites** (10 000) **uninucléés**, **filiformes**, qui rapidement gagnent les **glandes salivaires** de l'hôte, l'Anophèle.

Lorsque la femelle **infestée pique** un homme, elle **injecte** les **sporozoites** avec sa **salive anticoagulante**.

La durée de la phase **sexuée** est, à **25c°**, de **20 jours** pour *Plasmodium falciparum*.

### **Etude d'un autre type : *Toxoplasma gondii***

*Toxoplasma gondii* existe sous trois formes évolutives différentes :

- Une forme **végétative** appelée **tachyzoite** (figure1) ou **trophozoite**, parasite **intracellulaire obligatoire** de **6 à 8 um** de long sur **3 à 4 um** en **forme d'arc** qui peut parasiter **toutes** les **cellules** de l'**organisme**, dont celles du système des **phagocytes** multinucléés, au sein desquelles il **va se multiplier rapidement**.

- Le **bradyzoite** qui **résulte** du stade **tachyzoite** au cours de son évolution chez l'**hôte intermédiaire**. Morphologiquement très proche, il **s'en distingue** par un **métabolisme ralenti** conduisant à un **état de latence**. Les **bradyzoites** sont regroupés au sein de **kystes** où ils sont **inaccessibles** aux **défenses immunitaires** et aux **traitements actuels**. Ils siègent principalement dans les **neurones**, les **astrocytes**, les cellules **musculaires** et les cellules **rétiennes**.

- Le **sporozoite** est le résultat de la **reproduction sexuée** qui a lieu dans les cellules de l'**épithélium intestinal** de l'hôte **définitif**. Morphologiquement **peu** différent des autres **stades infectieux**, il est contenu dans des **oocystes sporulés** qui peuvent **survivre** sur le sol **plus** d'un an dans un climat **humide**.

### **Cycle**

Le cycle (Fig6) complet du toxoplasme fonctionne entre, **d'une part** le **chat** et les **félidés sauvages** qui sont les **hôtes définitifs** et **d'autre part** les autres animaux à **sang chaud** (homéothermes) tous **susceptibles** d'être hôte intermédiaire **hébergeant** les formes **asexuées**. Les **félidés** se **contaminent** en **chassant** les hôtes **intermédiaires** (oiseaux, mammifères) qui eux mêmes **se contaminent** à partir des **oocystes** présents sur le **sol**, les **végétaux** ou dans les **eaux de boisson**. Une **particularité** originale au **toxoplasme** est la possibilité d'un cycle **asexué** ne faisant pas intervenir **d'hôte définitif**, le parasite **passant** d'un hôte **intermédiaire** à un **autre** par l'ingestion de **kystes** contenus dans la **chair** d'animaux **carnivores** ou **herbivores**.

### **Modes de contamination**

La contamination de l'**homme** s'effectue selon trois modalités principales :

- **Transmission par absorption d'oocystes** : cette contamination est essentiellement **indirecte** par consommation de **fruits** et **légumes crus** mal lavés ou **d'eau de boisson contaminée**, et à cause d'une **hygiène** des mains **insuffisante**, après contact avec le **sol** (jardinage) ou les **animaux**.

- **Transmission par des kystes** : la **contamination** se fait par **consommation** de **viandes fumées**, **saumurées** ou **insuffisamment** cuites (en particulier le **mouton**), les **kystes** n'étant **détruits**

que par une **cuisson** de la viande à **65°C** ou une **congélation** à **-12°C** pendant **3 jours au moins**. Ce sont également les **kystes** qui sont impliqués dans la transmission par **transplantation d'organe** d'un **donneur séropositif** pour la **toxoplasmose** vers un **receveur négatif** avant la **greffe**.

- **Transmission par les tachyzoïtes** : le tachyzoïte est une forme **fragile, détruite** dans le milieu **extérieur** et par le **suc gastrique**. C'est **l'agent de la transmission transplacentaire**, responsable de la **toxoplasmose congénitale**. C'est également le tachyzoïte qui est responsable des **exceptionnels cas** de transmission par **transfusion**, possibles si le **donneur** était en pleine phase **parasitémique** d'une toxoplasmose.

#### 4.3. Phylum III : Ciliophora

Les **Ciliés** sont des protozoaires, qui, à un stade de leur cycle de vie, possèdent des **cils**, structure qui sert à la **motilité**.

Les Ciliés sont, aussi les **seuls** protozoaires à avoir deux types de noyau : Le micronoyau (micronucléus) qui ne sert que pour l'héritage génétique et la reproduction sexuelle et le macronoyau (macronucléus) qui sert à la production d'ARNm et divers aspects de la croissance et du fonctionnement cellulaire.

Les plus connus et les plus répandus des Ciliés sont probablement ceux appartenant au genre ***Paramecium***.

La plupart des Ciliés obtiennent leur nourriture en ingérant la matière particulaire, grâce à une région orale spécifique, sorte de bouche, appelée **péristome**, connectée, au **cytostome** sorte d'œsophage.

Une fois à l'intérieur de la cellule, les particules de nourriture transitent par le cytostome pour aller dans le cytoplasme où elles sont **enfermées** dans une **vacuole**, structure, riches en **enzymes digestives**.

En plus des cils, beaucoup de Ciliés ont des **trichocystes**. Ces filaments longs et fins, **contractiles**, sont **ancrés** sous la surface de couche extérieure de la cellule.

Chez les **Ciliés** prédateurs, ces trichocystes **s'accrochent** à la **proie** et la paralysent avant qu'elle ne soit **ingérée**, et sont **déchargés** lorsque un prédateur touche au Cilié.

La **plupart** des ciliés sont des **formes libres**.

#### 5. Importance économique

Les protozoaires parasites causent de nombreux problèmes aux organismes qu'ils infectent.

La **malaria** ou **paludisme** est l'une des maladies les plus **répandues** dans le monde et affecte toujours des **millions** des **êtres humains**.

La **maladie du sommeil**, causée par les trypanosomes transmis par la mouche tsé-tsé.

Certains **flagellés aquatiques** produisent des **toxines** qui peuvent causer la mort des **poissons**.

Les mollusques filtreurs, comme les moules et les huîtres, peuvent ingérer de **grandes** quantités de ces **flagellés** sans être **affectés**. Toutefois les toxines accumulées peuvent causer des intoxications sévères chez les **consommateurs** des **fruits de mer**.

## **2. Phylum II: Apicomplexa**

Ils sont caractérisés à l'échelle ultrastructurale, par la présence d'un complexe apical, absence de cils.

Sexualité par syngamie. Toutes les espèces sont parasites.

### **2.1. Classe: Sporozoa**

Les sporozoaires sont des protozoaires parasites haplobiontiques, monoxènes ou hétéroxènes.

Leur reproduction est très active et présente des phénomènes sexuels nets.

Leur cycle de développement débute toujours par un stade vermiforme, le sporozoïte, qui pénètre dans la cellule-hôte grossit considérablement, divise son noyau plusieurs fois, puis se divise en éléments uninucléés, les schizozoïtes, à l'origine des gamontes.

Le zygote subit immédiatement, la réduction chromatique. L'oocyste est à l'origine des sporozoïtes.

Dépourvus de structures de locomotion à l'état adulte, ces organismes se déplacent par glissement.

Absence de pseudopodes ou interviennent que dans le processus de prise alimentaire.

#### **2.1.1. Sous classe : Coccidia**

Les sporozoaires de cette sous classe, sont de taille petite ou moyenne.

Ils sont des parasites des Arthropodes, d'Annélides et des Vertébrés.

Leur cycle présente en alternance, une phase de gamogonie et une phase de Schizogonie.

Ces deux phases peuvent se dévoiler chez un même hôte ou chez deux hôtes distincts.

La gamétogenèse femelle est beaucoup plus courte que la gamétogenèse mâle et l'anisogamie est très marquée.

Le gamonte femelle se transforme directement en gamète. Le gamète mâle, très petit est toujours osmotrophe.

##### **2.1.1.1. Les coccidies hétéroxènes**

Les coccidies hétéroxènes, les gamètes mâles sont peu nombreux, le zygote s'accroît tout en multipliant ses noyaux.

La schizogonie se déroule à l'intérieur des hématies des Vertébrés alors que la géogonie a lieu chez un diptère piqueur.

Ils parasitent les Vertébrés (Petites oiseaux et Mammifères).

## ➤ *Plasmodium falciparum*

Le paludisme est une maladie parasitaire transmise par un moustique, se manifestant par de la fièvre et des troubles digestifs mais pouvant entraîner des complications importantes, voire le décès du malade. L'enjeu immédiat est d'élargir l'accès des populations vivant dans les zones endémiques à des traitements efficaces et aux moyens de prévention existants. La recherche travaille à la mise au point de nouveaux traitements préventifs, curatifs et/ou de vaccins, qui permettront peut-être un jour d'éradiquer la maladie.

### ❖ L'agent pathogène

L'agent pathogène du paludisme est un protozoaire parasite du genre *Plasmodium*, principalement transmis d'homme à homme par le biais d'une piqûre d'un moustique, l'anophèle femelle.

Il existe cinq différentes espèces de *Plasmodium* infectant l'homme : *Plasmodium falciparum*, *Plasmodium vivax*, *Plasmodium ovale*, *Plasmodium malariae* et *Plasmodium knowlesi*. Elles se différencient par la zone géographique où elles sévissent et par le profil de symptômes qu'elles causent.

*P. falciparum* est le parasite qui provoque le plus de cas graves et la majorité des décès liés au paludisme. (Fig1a et b)

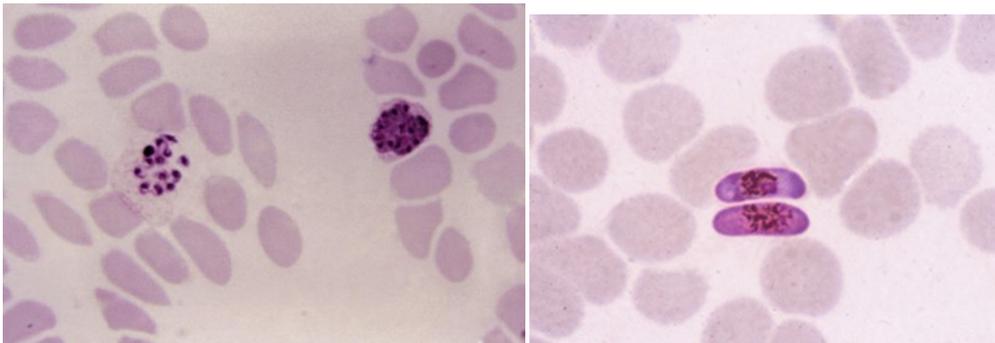


Fig1a : microphotographies : Trophozoïtes et schizonte à l'intérieur du globule rouge. Fig1b : Des gamétocytes (D<sup>R</sup>. Zahra Rashid Khan)

### ❖ Le vecteur

Le paludisme est transmis à l'Homme par la piqûre d'un moustique du genre *Anophèles* au moment de son repas sanguin. Seule la femelle, hématophage, transmet la maladie (figure 2). Elle ne pique classiquement qu'à partir du coucher du soleil, avec un maximum d'activité entre 23 h et 6 h. Cela explique que l'utilisation des moustiquaires imprégnées d'insecticides soit le moyen de prévention individuelle le plus efficace.



Fig. 2. Femelle du genre *Anophèles* (*An. dirus*)

Les larves d'anophèles se développent principalement dans les collections d'eau non polluée. La nature des sols, le régime des pluies, la température et donc l'altitude, la végétation naturelle ou l'agriculture rendent les collections d'eau plus ou moins propices au développement des espèces vectrices.

Certaines espèces ont ainsi pu s'adapter à des milieux particuliers comme le milieu urbain.

Le développement et la longévité des anophèles dépendent de la température, avec un optimum entre 20 °C et 30 °C pour une durée de vie de l'ordre de 30 jours.

Les espèces les plus dangereuses sont les espèces anthropophiles (préférence pour effectuer leur repas sanguin sur l'Homme) et les espèces endophiles (qui se reposent à l'intérieur des maisons). Des résistances aux insecticides classiques sont apparues rapidement, limitant les moyens de lutte.

#### ❖ Cycle évolutif de *Plasmodium falciparum*

Le cycle se déroule successivement chez l'Homme (phase asexuée chez l'hôte intermédiaire) et chez l'anophèle (phase sexuée chez l'hôte définitif) (figure 3).

#### ✓ Chez l'Homme, le cycle est lui-même divisé en deux phases de multiplication asexuée (schizogonie ou mérogonie) :

-La phase hépatique, ou pré-érythrocytaire ou exo-érythrocytaire, qui correspond à la phase d'incubation, cliniquement asymptomatique ;

-La phase sanguine, ou érythrocytaire, qui correspond à la phase clinique de la maladie.

#### - Phase exo-érythrocytaire

Les sporozoaires inoculés par l'anophèle femelle (moustique) restent pendant une trentaine de minutes maximum dans la peau, la lymphe et le sang. Beaucoup sont détruits par les macrophages, mais certains parviennent à gagner les hépatocytes. Les sporozoites s'y transforment en de volumineux schizontes de 30 à 40µm, forme multinucléée, qui se découpe et donne de très nombreux schizozoites ou mérozoites, qui sont libérés dans le sang. La schizogonie hépatique est unique dans le cycle, la cellule hépatique ne pouvant être infectée que par des sporozoites

#### - Phase érythrocytaire

Très rapidement, les schizozoïtes pénètrent dans les globules rouges, et prennent une forme amiboïde. Ils se nourrissent aux dépens de l'hémoglobine. Au terme de leur croissance ces schizozoïtes multiplient leurs noyaux et se découpent en autant de schizozoïtes. A ce stade, le globule rouge parasité, éclate libérant de 8 à 32 schizozoïtes qui pénètrent dans de nouvelles hématies.

Le cycle de schizogonie dure 48 heures et peut se répéter plusieurs fois.

Les schizozoïtes assurent la propagation du parasite dans le sang du paludéen, mais ils ne peuvent pas vivre en dehors de l'organisme de sorte que la maladie n'est pas contagieuse d'homme à homme.

Après un certain nombre de cycles érythrocytaires, certains schizozoïtes, se transforment en gamétocytes ou gamontes à potentiel mâle ou femelle, qui passent dans le sang périphérique, mais leur évolution, chez l'homme s'arrête à ce stade. La gamogonie ne peut se poursuivre que chez le second hôte, la femelle du genre Anophèle.

#### ✓ **Chez la femelle du genre Anophèle, la reproduction sexuée ou gamogonie**

Lorsqu'une femelle du genre Anophèle pique un malade paludéen et absorbe son sang, les globules rouges sont digérés, ainsi que les schizozoïtes, mais les gamétocytes restent intacts.

Le gamétocyte femelle se transforme en un volumineux gamète femelle, sphérique ou macrogamète.

Le gamétocyte mâle multiplie son noyau et forme par perlage 4 à 6 gamètes mâles, uninucléés, aflagellés, serpentiformes, les microgamètes.

La fécondation a lieu dans le mésenteron de l'Anophèle. La cellule-œuf ou oocinète traverse l'épithélium intestinal et se place entre cet épithélium et l'enveloppe péritonéale qui, distendue, fait saillie dans la cavité hémocoelienne et s'enkyste et subit une réduction chromatique, puis les mitoses et engendre de nombreux sporozoïtes (10 000) uninucléés, filiformes, qui rapidement gagnent les glandes salivaires de l'hôte, l'Anophèle.

Lorsque la femelle infestée pique un homme, elle injecte les sporozoïtes avec sa salive anticoagulante.

La durée de la phase sexuée est, à 25c°, de 20 jours pour *Plasmodium falciparum*.

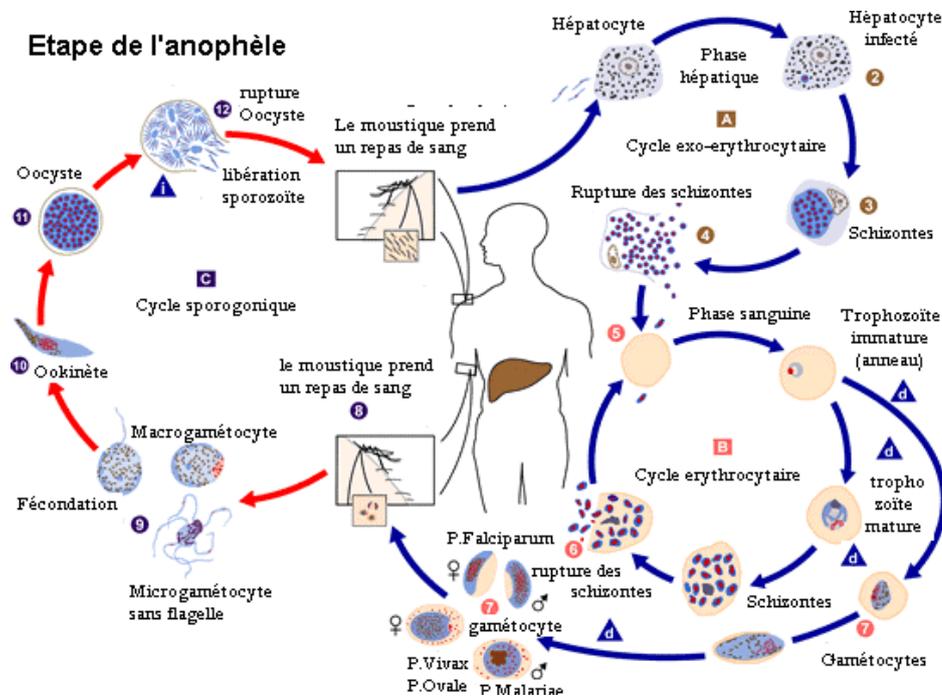


Fig3 : Cycle évolutif de *Plasmodium falciparum*

### ❖ Modalités de transmission

La connaissance du cycle du paludisme permet de comprendre les modalités de transmission de la maladie. Le mode de transmission le plus fréquent est la piqûre d'un moustique, l'anophèle femelle.

La phase sanguine du cycle rend possible d'autres modes de contamination : transmission congénitale, transfusionnelle, par greffe d'organe ou transmission accidentelle chez des personnels de santé manipulant du sang contaminé. En pratique, ces transmissions sont tout à fait exceptionnelles.

### ➤ *Toxoplasma gondii*

La toxoplasmose est une infection, causée par un parasite nommé *Toxoplasma gondii*. Non contagieuse, elle reste le plus souvent bénigne et asymptomatique. Toutefois, elle peut causer des complications parfois graves chez :

- les patients souffrant d'immunodépression ;
- les fœtus des femmes enceintes n'ayant pas été au contact du parasite avant leur grossesse.

### ❖ L'agent pathogène

*Toxoplasma gondii* existe sous trois formes évolutives différentes :

- Une forme végétative appelée tachyzoite (figure1) ou trophozoite, parasite intracellulaire obligatoire de 6 à 8 um de long sur 3 à 4 um en forme d'arc qui peut parasiter toutes les cellules de l'organisme, dont celles du système des phagocytes multinucléés, au sein desquelles il va se multiplier rapidement.

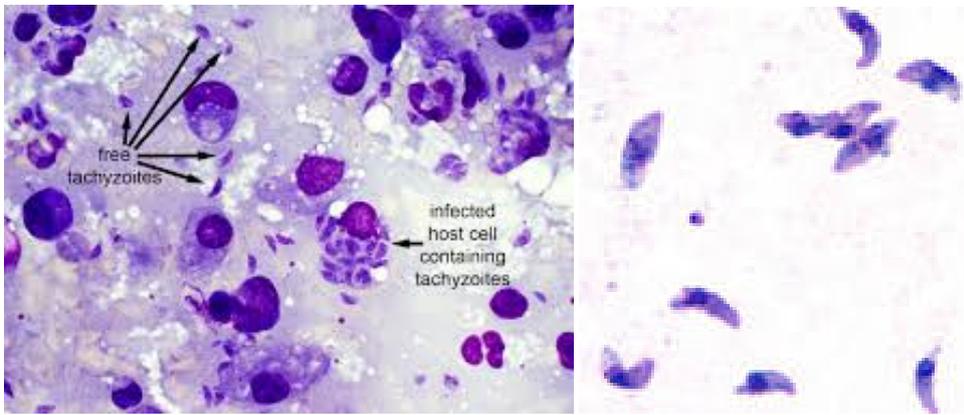


Fig1a et b : Microphotographies de tachyzoïtes

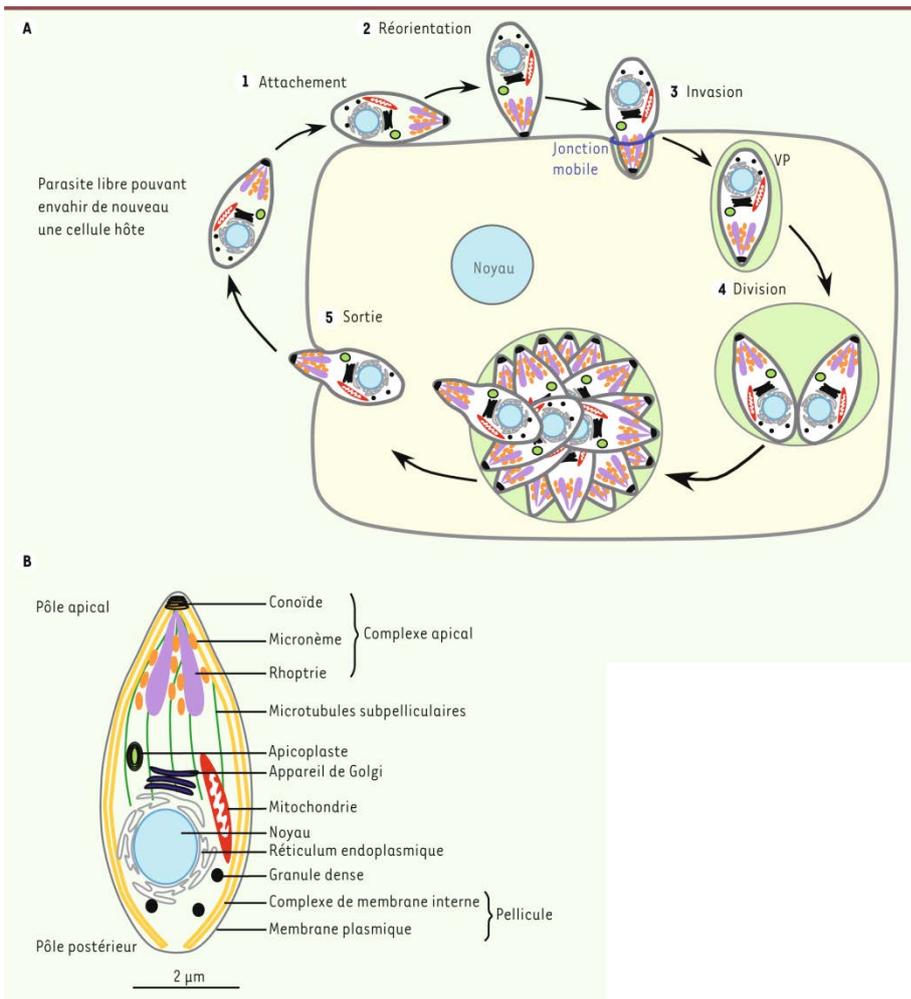


Fig2 a et b : schéma a : Les différentes étapes de l'invasion de la cellule hôte par *Toxoplasma gondii*

Schéma b : Ultrastructure du *Toxoplasma gondii*

- Le bradyzoïte qui résulte du stade tachyzoïte au cours de son évolution chez l'hôte intermédiaire. Morphologiquement très proche, il s'en distingue par un métabolisme ralenti

conduisant à un état de latence. Les bradyzoïtes sont regroupés au sein de kystes(Fig2) où ils sont inaccessibles aux défenses immunitaires et aux traitements actuels. Ils siègent principalement dans les neurones, les astrocytes, les cellules musculaires et les cellules rétinienne.

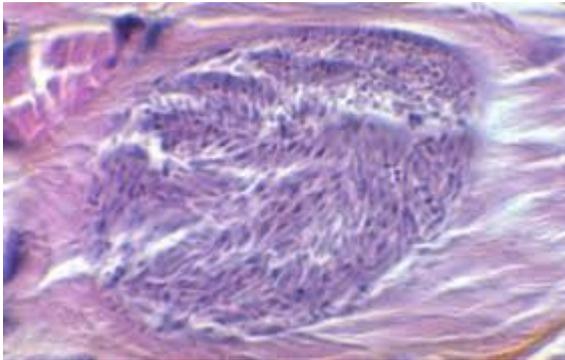


Fig2 : Microphotographie d'un kyste avec des bradyzoïtes (au niveau d'un muscle)

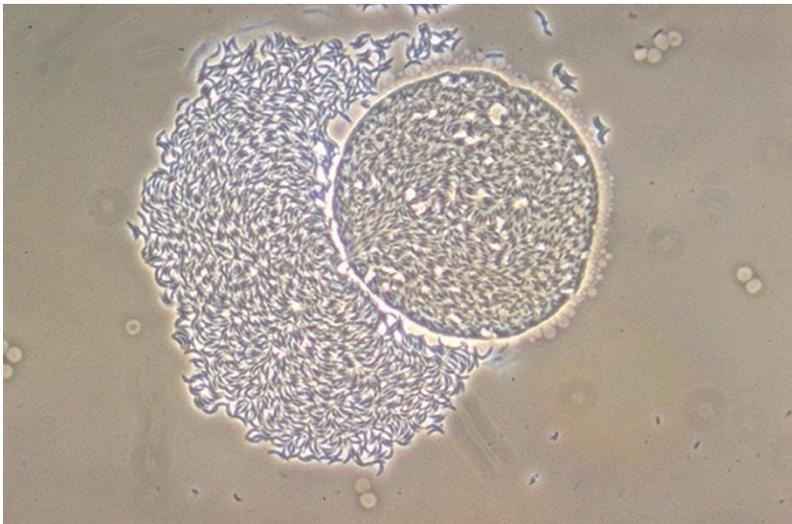


Fig3 : Rupture provoquée d'un kyste et libération de bradyzoïtes

Le sporozoïte est le résultat de la reproduction sexuée qui a lieu dans les cellules de l'épithélium intestinal de l'hôte définitif. Morphologiquement peu différent des autres stades infectieux, il est contenu dans des oocystes sporulés(Fig4) qui peuvent survivre sur le sol plus d'un an dans un climat humide.

Les oocystes sont de forme ovoïde et mesurent environ 12  $\mu\text{m}$ .



Fig4 : Microphotographie d'oocystes sporulés

### ❖ Cycle évolutif

Le cycle de *Toxoplasma gondii* peut se dérouler selon différentes modalités (figure 4). Il peut s'agir :

-d'un cycle complet, comportant une phase de reproduction sexuée chez les hôtes définitifs (chat et félidés sauvages) et une phase de reproduction asexuée chez les hôtes intermédiaires (autres animaux homéothermes, qu'il s'agisse de mammifères ou d'oiseaux) ;

-ou d'un cycle incomplet, uniquement entre hôtes intermédiaires, ne comportant que des phases de reproduction asexuée

#### • Cycle complet, sexué

Les félidés s'infectent par ingestion des hôtes intermédiaires infectés qui hébergent des kystes dans leurs tissus. Les bradyzoïtes, libérés des kystes dans le tube digestif du chat, pénètrent dans les cellules épithéliales intestinales. Après une phase de multiplication asexuée par schizogonie, certains parasites peuvent se transformer dans les cellules épithéliales en gamétocytes, puis en gamètes soit mâles soit femelles (phase de gamétogenèse). L'union d'un gamète mâle et d'un gamète femelle aboutit à la formation d'un oocyste non sporulé qui est émis dans les fèces du chat.

En quelques jours, dans le milieu extérieur, se produit une sporulation au sein de l'oocyste qui donne naissance aux sporozoïtes contenus dans des oocystes matures ou sporulés. Ces oocystes sporulés qui souillent le sol, les végétaux et l'eau sont à l'origine de la contamination des hôtes intermédiaires.

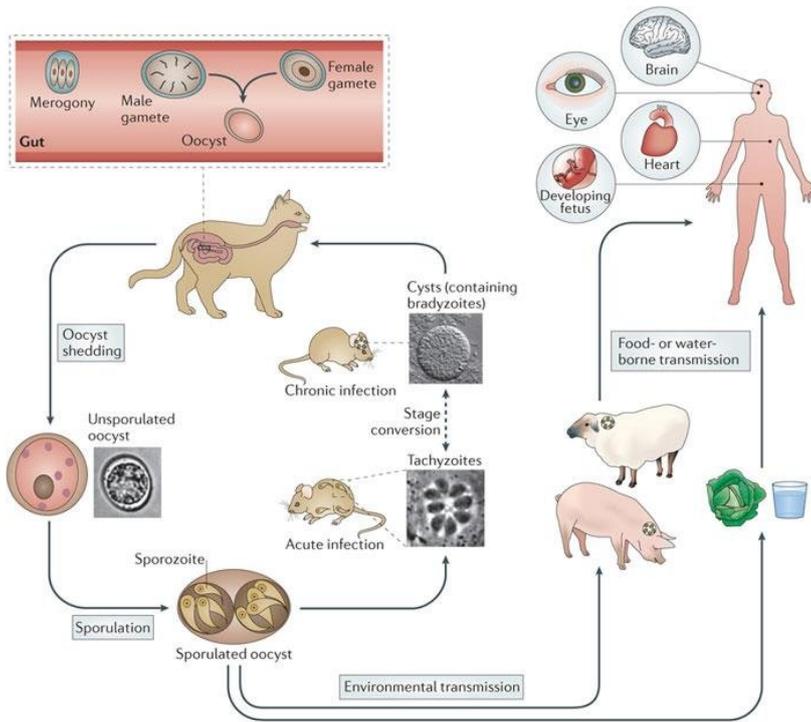
Après ingestion des oocystes par l'hôte intermédiaire, les sporozoïtes libérés des oocystes envahissent les cellules intestinales et se transforment en tachyzoïtes. Les tachyzoïtes se multiplient dans n'importe quelle cellule nucléée et se disséminent dans l'organisme. Après quelques jours d'évolution, les tachyzoïtes ralentissent leur multiplication et se transforment en bradyzoïtes au sein de structures kystiques intratissulaires.

Les kystes prédominent dans les muscles et le système nerveux des animaux infectés. Ils sont à l'origine de l'infection des félidés par carnivorisme.

- **Cycle incomplet asexué**

La particularité du toxoplasme est la possibilité de transmission du parasite entre hôtes intermédiaires : les bradyzoïtes contenus dans les kystes sont également infectants pour d'autres hôtes intermédiaires.

Le toxoplasme pourra donc se propager par carnivorisme, entre hôtes intermédiaires, dans un cycle totalement asexué ne faisant pas intervenir l'hôte définitif.



Nature Reviews | Microbiology



Fig4 : Cycle évolutif de *Toxoplasma gondii*

- ❖ **Modes de contamination**

La contamination de l'homme s'effectue selon trois modalités principales :

- Transmission par absorption d'oocystes : cette contamination est essentiellement indirecte par consommation de fruits et légumes crus mal lavés ou d'eau de boisson

contaminée, et à cause d'une hygiène des mains insuffisante, après contact avec le sol (jardinage) ou les animaux.

- Transmission par des kystes : la contamination se fait par consommation de viandes fumées, saumurées ou insuffisamment cuites (en particulier le mouton), les kystes n'étant détruits que par une cuisson de la viande à 65°C ou une congélation à -12°C pendant 3 jours au moins. Ce sont également les kystes qui sont impliqués dans la transmission par transplantation d'organe d'un donneur séropositif pour la toxoplasmose vers un receveur négatif avant la greffe.

- Transmission par les tachyzoïtes : le tachyzoïte est une forme fragile, détruite dans le milieu extérieur et par le suc gastrique. C'est l'agent de la transmission transplacentaire, responsable de la toxoplasmose congénitale.

- C'est également le tachyzoïte qui est responsable des exceptionnels cas de transmission par transfusion, possibles si le donneur était en pleine phase parasitémique d'une toxoplasmose.

### ❖ Répartition géographique

Les différentes modalités de transmission ainsi que la capacité du toxoplasme à infecter n'importe quel animal homéotherme expliquent le succès de ce parasite cosmopolite. On estime qu'entre un tiers et un quart de la population mondiale est infecté. La prévalence de l'infection toxoplasmique augmente avec l'âge et varie en fonction de l'environnement et des habitudes alimentaires.

### 3. Importance économique

Les protozoaires parasites causent de nombreux problèmes aux organismes qu'ils infectent.

La malaria ou paludisme est l'une des maladies les plus répandues dans le monde et affecte toujours des millions des êtres humains.

La maladie du sommeil, causée par les trypanosomes transmis par la mouche tsé-tsé.

Certains flagellés aquatiques produisent des toxines qui peuvent causer la mort des poissons.

Les mollusques filtreurs, comme les moules et les huîtres, peuvent ingérer de grandes quantités de ces flagellés sans être affectés. Toutefois les toxines accumulées peuvent causer des intoxications sévères chez les consommateurs des fruits de mer.



# Les Algues

## 1. Caractères généraux

Les algues sont des organismes eucaryotes photosynthétiques, dépourvus de racines, de tige (absence de tissus vasculaires) et de feuilles, mais possédant de la chlorophylle ainsi que d'autres pigments accessoires pour réaliser la photosynthèse productrice d'oxygène.

Les algues sont classées dans le groupe des thallophytes, dans le règne végétal, mais du fait de la diversité des formes, certaines espèces phytoplanctoniques sont classées dans le règne des protistes qui regroupe les eucaryotes unicellulaires.

La taille des algues peut varier de la cellule microscopique unique, à quelques cellules en colonie et jusqu'à 75m (laminaires, sargasses) pour certaines formes multicellulaires.

## 2. Distribution

La plupart des algues se développent en milieu aquatique d'eau douce, saline ou saumâtre, mais certaines sont terrestres et sont capables de se développer à même le sol ou sur le tronc des arbres.

Dans l'eau, les algues ainsi que de petites plantes constituent le phytoplancton, le zooplancton étant constitué par des animaux microscopiques non photosynthétiques.

Certaines algues se développent sur des rochers humides. Sur le tronc des arbres (*Pleurococcus*, Chlorophyte), ou sur un sol mouillé.

Certaines algues vivent en symbiose avec des champignons pour former les lichens.

## 3. Structure du thalle

Le corps végétatif des algues est appelé un thalle. Il peut être constitué d'une cellule unique jusqu'à un grand nombre de cellules associées.

- Les thalles les moins élaborées sont unicellulaires, coloniaux ou coenobes, ou filamenteux non ramifiés. Il n'y a pas de communications cytoplasmiques entre les cellules.

- Les thalles intermédiaires sont des filaments plus ou moins ramifiés, dont les cellules communiquent entre elles (plasmodesmes). On distingue une partie rampante et une partie dressée.

- Les thalles fucoïdes (*Fucus*) sont les plus complexes, ils sont ramifiés et très structurés.

## 4. Ultrastructure

Les cellules d'algues sont isolées ou en colonies plus ou moins structurées.

### 4.1. La paroi des algues

Les algues présentent une diversité considérable dans la structure et la chimie de leur paroi cellulaire. Dans de nombreux cas, la paroi cellulaire est composée d'un réseau de fibres de cellulose, mais d'autres polysaccharides sont aussi présents comme la pectine, les xylanes, les mannanes, les alginates ou les fucanes. Chez certaines algues, la

paroi est de plus renforcée par la déposition de carbonate de calcium; ces formes sont appelées algues coralligènes (c'est-à-dire ressemblant à du corail).

Chez les Diatomées, la paroi cellulaire est composée de silice, à laquelle s'ajoutent des protéines et des polysaccharides. Même après que la cellule est morte et que la matière organique a disparu, la structure externe, appelée frustule, demeure souvent intacte démontrant que cette partie siliceuse est en fait responsable de la rigidité de la cellule. Les Diatomées ont une morphologie de frustule qui présente toujours une certaine symétrie.

La paroi des algues contient des pores d'une dimension de 3 à 5nm qui ne peuvent laisser passer que les substances de faible poids moléculaire comme l'eau, les ions inorganiques, les gaz et d'autres petites molécules nécessaires au métabolisme et à la croissance. La phagocytose n'est donc pas possible, ce qui différencie de manière fondamentale les algues des protozoaires phagotrophes.

**4.2. Le noyau :** il occupe en général le centre de la cellule et comprend un nucléole. Il est parfois suspendu au centre de la cellule par des travées cytoplasmiques, comme chez *Spirogyra* ou chez les Diatomées naviculoïdes. Chez les genres à cellules à plusieurs noyaux (chez les Rhodophytes principalement), les noyaux sont en général situés dans le cytoplasme entre les vacuoles et les plastes. En général, la structure ne diffère pas de celle du noyau des cellules de plantes supérieures, mais il est plus petit

**4.3. Les plastes :** ils sont porteurs de la chlorophylle et des pigments accessoires. Ils sont de forme très variées mais caractéristiques et constantes pour chaque espèce : disques, plaques pariétales, rubans spirales ou non, forme réticulée, étoilée, branchue,

Chez certaines formes flagellées, une partie du plaste subit une différenciation localisée constituant le stigma ; celui-ci est formé par l'accumulation de granulations rouge-orangé chargées de carotène ; c'est un organe photosensible orientant les déplacements phototactiques de la cellule. Dans certains groupes (Euglénophytes, quelques Xanthophycées et Dinophycées), le stigma est indépendant du plaste.

**4.4. Les flagelles :** les zoospores et zoogamètes (Zoïdes) qui se forment au cours de la multiplication de certaines algues et les cellules végétatives d'un certain nombre d'espèces sont munies de flagelles ; ceux-ci sont insérés sur un mastigosome ou blépharoplaste, les mastigosomes étant unis entre eux et avec le centrosome situé contre le noyau par un fin filament.

La structure des flagelles est uniforme : ils sont constitués d'une partie axiale avec deux microtubules et d'une partie périphérique avec neuf paires de microtubules.

Les flagelles peuvent être lisses ou présenter deux rangées de fibrilles très fines appelées mastigonèmes : ils ont alors un aspect plumeux et sont appelés pleuronématés. Il peut y avoir une seule rangée de mastigonèmes (disposition stichonématée).

Leur morphologie et leur disposition sont très variées mais caractéristiques de chacun des groupes d'algues,

Les Chlorophytes flagellés possèdent deux, quatre ou huit flagelles égaux et lisses, les Chromophytes ont en général deux flagelles inégaux, l'un pleuronématé et l'autre nu. Chez les Dinophycées, le flagelle longitudinal est pleuronématé tandis que l'horizontal est stichonématé. Chez les Euglénophytes existent deux flagelles pleuronématés de longueur inégale

**4.5. L'appareil de Golgi** : il existe dans un certain nombre d'algues sous forme de dictyosomes, petits corps ovoïdes formés de deux parties, l'une chromophile, l'autre chromophobe ; ils sont généralement groupés autour du noyau.

**4.6. Le chondriome** : il se présente sous forme de mitochondries granuleuses. Il est présent dans toutes les cellules algales

**4.7. Les vacuoles** : le cytoplasme contient généralement des vacuoles de disposition et de volume variables ; elles sont par exemple de volume réduit chez de nombreuses formes unicellulaires flagellées.

Le suc vacuolaire est riche en substances variées : sels de potassium, pigments dissous. Certaines substances comme l'oxalate de calcium ou des cristalloïdes protéiques peuvent se cristalliser dans les vacuoles.

Chez beaucoup d'algues unicellulaires flagellées, il existe des vacuoles pulsatiles ayant un pore excréteur et régulateur de la pression osmotique. Dans certains cas, il existe comme chez les Protozoaires, des vacuoles digestives.

**4.8. Les inclusions lipidiques** : des gouttelettes d'huile sont fréquentes dans le cytoplasme de beaucoup d'algues, particulièrement chez les groupes qui n'élaborent pas d'amidon. Chez les Chlorophytes, les inclusions lipidiques sont surtout abondantes dans les formes de résistance (kystes) ou lorsque les conditions de milieu sont défavorables à la croissance et à la multiplication. Des pigments caroténoïdes dissous colorent souvent en jaune-orangé ou rouge ces inclusions.

## **5. Morphologie**

Les algues se présentent sous un nombre de formes très variées, depuis le type unicellulaire jusqu'aux filaments ramifiés. On peut ainsi distinguer :

### **5.1. Les formes unicellulaires**

#### **5.1.1. Type rhizopodial**

Les formes rhizopodiales n'ont pas de parois cellulaires rigides et émettent des pseudopodes comme les amibes ; ce sont en général des cellules isolées, nues ou contenues dans une thèque d'où sortent les pseudopodes ; ceux-ci peuvent être courts ou effilés ou ramifiés, ou présentent un axe différencié.

Les formes rhizopodiales sont relativement rares chez les algues d'eau douce et ne se rencontrent que chez les Chrysophytes.

#### **5.1.2. Type coccoïde**

Les cellules immobiles sont entourées d'une membrane ferme et bien définie : on trouve des formes simples sphériques ou subsphériques, *Chlorella* chez les Chlorophycées par exemple. D'autres formes sont moins simples (triangulaires, discoïdes, quadrangulaires, allongées), pour aboutir à des cellules beaucoup plus compliquées : ainsi les Diatomées (Chrysophytes) sont constituées par une cellule circulaire ou allongée entourée d'une thèque ornementée (frustule) en deux valves s'emboîtant l'une dans l'autre et les Desmidiacées (Chlorophytes) de deux demi-cellules identiques reliées entre elles par un isthme, parfois très étroit, la paroi de la cellule étant ornementée d'épines.

#### **5.1.3. Type flagellé**

Les cellules, en général solitaires et mobiles, possèdent 1, 2, rarement 3 ou 4 fouets. Certaines Euglénophytes (Trachelomonas) ont un long flagelle.

Chez les Dinophycidés, les flagelles sont placées dans deux sillons placés perpendiculairement l'un par rapport à l'autre ; certaines Chrysophycées, enfin (Mallomonas), la cellule flagellée a deux fouets très inégaux.

## **5.2. Les formes coloniales**

On peut distinguer deux sortes de colonies : les colonies mucilagineuses et les cénobes.

### **5.2.1. Les colonies mucilagineuses**

Les colonies sont constituées de cellules groupées sans forme définie dans une gelée englobant l'ensemble ; ce type de groupement est assez fréquent chez les Chlorophytes (Tetraspora, Kirchneriella, Dictyosphaerium). Parfois chaque cellule de la colonie possède une gaine gélatineuse propre, homogène ou stratifiée, l'ensemble étant inclus dans un mucilage général (Gloeotheca, Chroococcus).

Il existe des colonies constituées de cellules flagellées (Eudorina, Pandorina, Volvox) et qui sont mobiles ; les cellules sont incluses dans une enveloppe gélatineuse traversée par les flagelles qui battent librement à l'extérieur.

### **5.2.2. Les cénobes**

Ce sont des colonies immobiles ayant toujours une structure régulière. Ce type de forme est fréquent chez les Chlorophytes, en particulier chez les Scenedesmacées (Tetrastrum, Coelastrum, Scenedesmus). Parfois les cellules marginales n'ont pas le même aspect que celles de l'intérieur (Pediastrum, Scenedesmus). Des méats peuvent exister entre les cellules (Hydrodictyon, certaines espèces de Scenedesmus).

## **5.3. Les formes filamenteuses**

Des filaments simples non branchus existent chez un grand nombre d'espèces d'algues d'eau douce. Ils peuvent être libres ou agrégés en colonies ou même attachés du moins au début de leur développement.

Des filaments ramifiés existent aussi dans de nombreux groupes.

Chez les autres groupes, les rameaux naissent sur une cellule basale située le long du filament.

Dans les formes les plus évoluées, il y a formation de protothalles nématothalles avec filaments rampants et filaments dressés dans certains cas, les filaments nématothalliens sont dépourvus de cloisons transversales et ont une structure siphonnée ou coenocytique, ils sont alors plurinucléés. Les filaments peuvent enfin aboutir à la formation d'un cladome constitué de cellules axiales centrales entourées d'un manchon de cellules péricentrales avec des liaisons cytoplasmiques intercellulaires.

## **5.4. Les formes parenchymateuses**

La multiplication d'une cellule, ou d'un filament dans deux ou trois plans aboutit à la formation d'un parenchyme constitué d'une assise de cellules (thalle monostromatique) ou de plusieurs (thalles pluristromatiques). Les formes parenchymateuses sont fréquentes chez les algues marines mais plus rares chez les algues d'eau douce (Chaetophoracées).

## 6. Reproduction

**6.1. La reproduction asexuée :** Elle peut être de 3 types.

**-Fragmentation :** le thalle se sépare en deux parties qui redonneront chacune un nouveau thalle.

**-Sporulation :** des spores peuvent être formées dans les cellules végétatives ordinaires ou dans des structures spécialisées appelées sporanges.

**-scission binaire :** division du noyau puis du cytoplasme.

La forme caractéristique du cœnobe de *Scenedesmus quadricauda* provient de deux divisions successives par scission binaire. Les divisions suivantes provoquent la fragmentation de cette forme coloniale.

**6.2. La reproduction sexuée**

Dans la reproduction sexuée, il y a fusion de gamètes mâle et femelle pour produire un zygote diploïde. Des œufs se forment dans les cellules réceptrices identiques aux cellules somatiques (*Spirogyra*) ou dans des cellules végétatives femelles peu modifiées nommées oogones (*Fucus*). Les spermatozoïdes sont produits dans des structures mâles spécialisées appelées anthéridies.

## **Importance économique des algues**

En Asie, Rhodophytes et Phéophytes sont utilisées dans l'alimentation et entrent dans la composition de nombreux plats, principalement au Japon où les algues marines du genre *Porphyra* (Rhodophycées) sont très largement cultivées le long du littoral. Sur les autres continents, l'utilisation des algues comme nourriture pour l'homme est peu répandue.

En Europe, des cultures semi-industrielles ont été tentées avec les algues des genres *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Oscillaloria* en vue d'obtenir des produits riches en protéines utilisables soit directement pour l'alimentation humaine, soit pour le nourrissage de la volaille ou du bétail.

Certaines algues marines sont récoltées pour l'extraction de colloïdes (agar-agar, carragahénine) employés pour les cultures de bactéries et de champignons en laboratoire et dans les industries pharmaceutique, photographique et alimentaire.

Les accumulations d'algues calcaires sont utilisées dans certaines régions comme engrais.

Les algues sont à l'origine de nombreux dépôts calcaires ou siliceux, les thèques des organismes s'accumulant sur les fonds. Les dépôts de Diatomées fossiles constituent ainsi des couches géologiques d'une épaisseur pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'un matériau léger, friable et poreux : la diatomite.

Signalons enfin que le phytoplancton constitue un très bon indicateur biologique de pollution des eaux douces. Dans les régions tempérées, les eaux les plus pures sont peuplées par des Rhodophycées, mais sont envahies par des Cyanophytes, puis des Euglénophytes lorsque le milieu devient plus eutrophe. Lorsque la pollution atteint son maximum, les algues disparaissent presque entièrement et sont remplacées par des bactéries des genres *Beggiatoa* et *Sphaerotilus*. On peut ainsi relier certaines algues ou certains groupes d'espèces à différents niveaux de pollution du milieu.