

DELERIS Amandine
DECOURTY Thibaud

LA FECONDDATION A PARTIR DE QUELQUES EXEMPLES

Université Bordeaux I
Master 1 BGSTU

Automne 2008

Introduction

La fécondation consiste en la réunion de deux gamètes haploïdes produisant ainsi un zygote diploïde. Ce processus cellulaire implique un milieu liquide, qui n'est pas présent partout, ce qui peut poser problème.

Ainsi nous verrons par plusieurs exemples, les divers mécanismes au niveau individuel, cellulaire et moléculaire assurant la fécondation dans les différents milieux de vie. Ces connaissances nous permettront d'avoir un regard plus global sur le rôle de la fécondation et sa place dans les cycles de vie et la diversité génétique.

I : Diversité des modalités à l'échelle des organismes

A : Fécondation externe et milieu aquatique, l'eau vecteur de gamètes.

De nombreux animaux aquatiques, comme la méduse ou l'oursin, libèrent simplement leurs gamètes dans l'eau, et la fécondation se produit au hasard de leur rencontre : c'est la fécondation externe. Ce mode de fécondation est courant chez de nombreux animaux inférieurs aquatiques.

Les oursins sont des organismes benthiques, vivant en colonies, qui libèrent leurs gamètes en grand nombre dans le milieu environnant. En effet, le nombre d'ovocytes pondus par une femelle peut être de l'ordre de la dizaine de millions et représente un volume de 10 à 20 millilitres.

On peut l'observer en laboratoire, spontanément lors de la période de reproduction, ou en injectant, à travers la région orale, de l'acétylcholine, ou du KCl. Il suffit alors de placer les oursins sur un récipient (par exemple, un Bécher) rempli à ras bord d'eau de mer, le pôle aboral vers le bas de façon à ce qu'il soit immergé, comme le montre la figure 1. On ne tarde pas, alors, à observer la lente descente des produits génitaux vers le fond du récipient où ils s'accumulent.

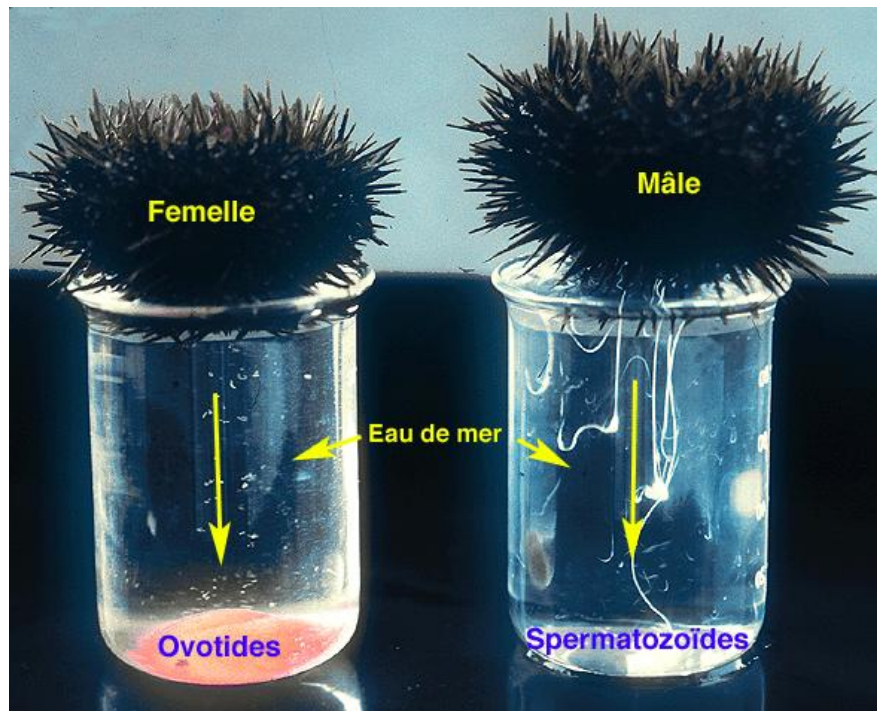


Figure 1 : Emission des gamètes chez l'oursin.
(<http://www.snv.jussieu.fr>)

Dans leur milieu naturel, les oursins d'une même colonie émettent leurs gamètes en même temps, lors de la période de reproduction, qui a lieu, par exemple du mois de janvier au mois de juin, pour *Paracentrotus*. Il y a donc une synchronisation dans le temps et dans l'espace de l'émission des gamètes qui favorise la fécondation.

En plus de ces mécanismes, il existe une attraction entre les gamètes de sexe opposé. En contact avec l'eau de mer, les ovocytes libèrent des substances attractives, et l'activité motrice des spermatozoïdes augmente (cf II).

Un certain nombre d'animaux, tout en étant soumis aux aléas de la fécondation externe, usent néanmoins de divers stratagèmes pour augmenter les chances de rencontre des gamètes.

Ainsi, chez le saumon, les deux sexes s'assemblent et libèrent les spermatozoïdes et les ovules à proximité les uns des autres. Chez les amphibiens, le mâle monte sur le dos de la femelle, comme on le voit sur la figure 2, et arrose la ponte de cette dernière de son sperme.



Figure 2 : Grenouille male agrippé au dos de la femelle afin de faciliter la rencontre des gamètes
(www.karch.ch/karch/shared/amp/rle/rle16.jpg)

De manière générale les tendances de la fécondation externe sont :

- un grand nombre de gamètes émis,
- le regroupement des individus,
- la synchronisation des émissions,
- la production de substances attractives.

B : Fécondation interne

La fécondation interne, qui se produit à l'intérieur du corps de la femelle est extrêmement répandue dans le monde vivant, car elle assure une protection efficace de l'œuf et des premiers stades de son développement, et de l'embryon chez les animaux plus évolués.

Les modalités de la fécondation interne sont diverses. Elle peut faire intervenir une copulation ou non.

Chez certaines salamandres, le mâle dépose ses spermatozoïdes sous la forme d'une masse gélatineuse qui entre en contact avec le cloaque de la femelle. C'est également le cas d'un certain nombre d'insectes terrestres, comme le scorpion : le mâle dépose à terre une petite structure contenant ses spermatozoïdes, le spermatophore (voire fig. 3), que la femelle saisit avec son cloaque. Ce sont des cas de fécondation interne sans copulation.



Figure 3 : Spermatophore de scorpion
(research.amnh.org/.../img/spermatophore.jpg)

La copulation, ou coït, permet aux cellules germinales du mâle d'être libérées dans les voies génitales de la femelle (c'est l'insémination). Elle est pratiquée, entre autres, par tous les reptiles, oiseaux et mammifères. Ce mécanisme implique un dimorphisme sexuel. En effet, il y a apparition d'organes génitaux, qui permettent l'insémination par leur complémentarité. Le dimorphisme sexuel apparaît aussi sur l'ensemble du corps, on parle de caractères sexuels secondaires.

La fécondation interne nécessite le rapprochement des partenaires sexuels. Ce rapprochement met en jeu une recherche de partenaire et des comportements de séduction, comme des émissions sonores avec le brame du cerf, ou la parade nuptiale chez de nombreux oiseaux. Les caractères sexuels secondaires ont un rôle important dans les comportements de séduction, et peuvent être temporaires, lors de la période de reproduction, ou permanents.

Le dimorphisme sexuel et la recherche de partenaire sont indispensables pour les espèces se reproduisant par fécondation interne, mais sont aussi présents chez certaines espèces à fécondation externe.

C : Les stratégies liées au milieu biologique

Certaines espèces, notamment les espèces fixées ou fouisseuses, ont peu de chances de rencontrer un partenaire de sexe opposé. Elles utilisent alors des stratégies qui leur permettent de se reproduire plus facilement.

L'hermaphrodisme est la capacité qu'a un animal à présenter les gonades

mâle et femelle, soit successivement, soit en même temps. Ainsi, lors de la rencontre avec un individu de la même espèce, le souci de la complémentarité des sexes est résolu. L'hermaphrodisme peut aussi intervenir chez certaines espèces chez lesquelles le sexe ratio est déséquilibré.

L'autofécondation est un autre moyen encore plus efficace pour assurer la descendance, et ne nécessite même pas de rencontre avec un partenaire sexuel. C'est le cas de *tænia*, qui est un parasite vivant seul dans l'intestin de son hôte. Il s'autoféconde et donne naissance à des individus qui ont un génome très proche de lui. Cependant, ce mode de fécondation entraîne une augmentation de l'homozygotie, ce qui est un désavantage sélectif.

Le milieu biologique peut être un obstacle à la rencontre des partenaires sexuels, mais il existe des mécanismes qui permettent de le contourner, quitte à réduire la diversité génétique.

La fécondation fait donc intervenir des mécanismes et des stratégies de reproduction, qui varient suivant le type de fécondation, externe ou interne, et suivant le milieu biologique. Ceux-ci visent toujours à augmenter les chances de rencontre entre les gamètes.

II : Unité du phénomène à l'échelle cellulaire

Deux exemples représentatifs de la fécondation externe, avec les oursins, et interne avec les mammifères, nous permettent d'étudier les différents phénomènes cellulaires et moléculaires de la fécondation étape par étape.

Dans les deux cas la fécondation apparaît comme une cascade d'événements cellulaires qui concernent d'abord le spermatozoïde puis l'ovocyte, soit dans l'ordre, 5 étapes :

- 1- Attraction du spermatozoïde
- 2 - Réaction acrosomique
- 3 - Adhésion du spermatozoïde
- 4 - Activation de l'œuf (blocage précoce de la polyspermie)
- 5- Réaction corticale (blocage tardif de la polyspermie)

A : De l'attraction à la plasmogamie

On parlera ici des 3 premières étapes citées précédemment.

1 : Les gamètes : des cellules spécialisées et complémentaires

Les gamètes males sont des cellules mobiles, de petites tailles (quelques microns) constituées de 3 parties :

- la tête comprenant le noyau et l'acrosome,
- la pièce intermédiaire formée de la base du flagelle et de mitochondries fournissant l'énergie pour le déplacement.
- la queue constituée du flagelle, où il y a peut de cytoplasme.

Chez les oursins l'acrosome est plus petit et on observe de petits filaments d'actine entre celui-ci et le noyau, comme le présente la figure 4. De plus, la pièce intermédiaire est moins individualisée que chez les spermatozoïdes de mammifères, qui sont présentés sur la figure 5.

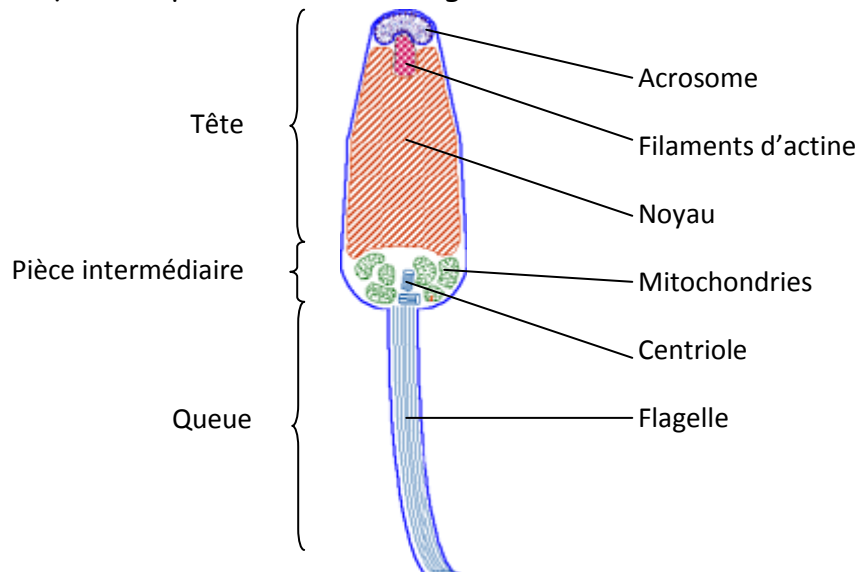


Figure 4 : Gamète mâle de l'oursin,
Une espèce à fécondation externe
(<http://www.snv.jussieu.fr>)

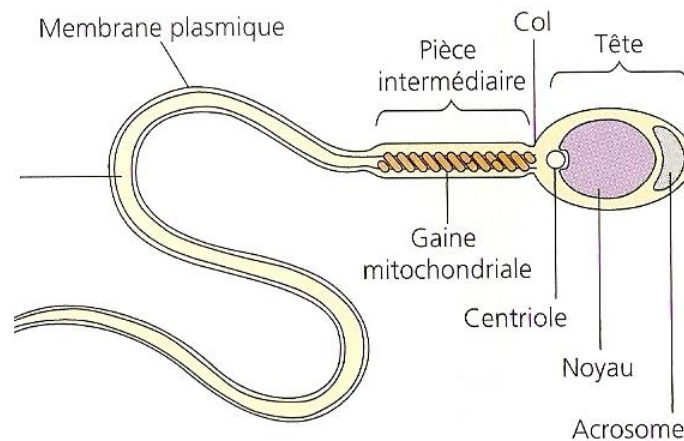


Figure 5 : Structure d'un spermatozoïde humain
(Biologie, Campbell, Reece, De Boeck 2^e édition)

Les gamètes femelles sont gros et globuleux (0,1mm de diamètre). Sa pauvreté en substances de réserve ou vitellus le qualifie d'oligolécithe chez les oursins, et alécithe chez les mammifères (pas de vitellus). La membrane plasmique est entourée chez l'oursin d'une membrane vitelline et d'une gangue (Fig.6 et 7), alors que chez les mammifères (Fig.8), elle est entourée de la zone pellucide et de la corona radiata (cellules du follicule). On remarque que chez les mammifères, la méiose est bloquée en métaphase 2.

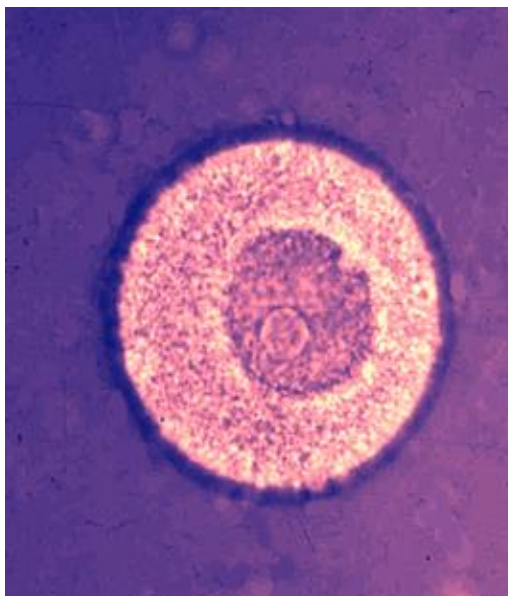


Figure 6. Ovocyte de
Paracentrotus avant la
maturation

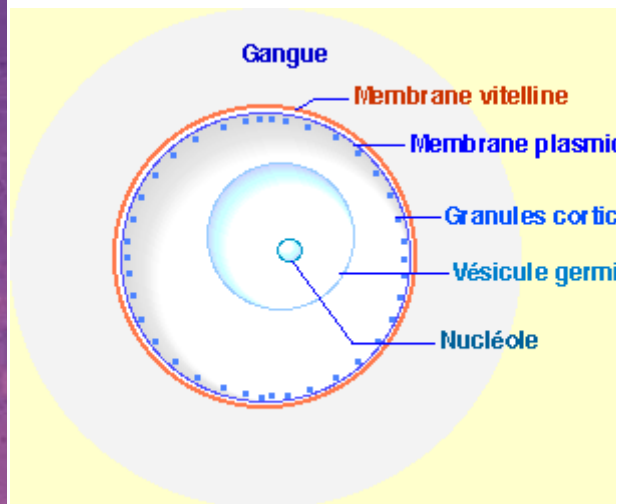


Figure 7. Schéma d'interprétation de la
structure d'un ovocyte d'oursin

(<http://www.snv.jussieu.fr>)

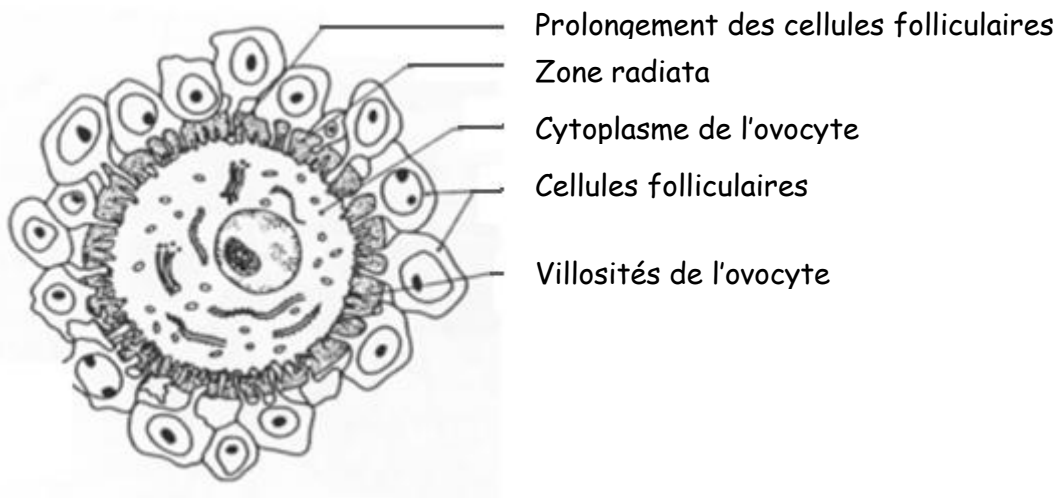


Figure 8. Ovocyte de mammifère en relation avec les premiers rangs de cellules folliculaires

(d'après Anderson et Beams, 1960, modifié)

2: de l'émission des gamètes à leur rencontre

a) Cas d'une fécondation externe, le chimio-attractisme

Chez l'oursin (*Arbacia punctulata*), l'attraction des spermatozoïdes vers l'ovocyte est due à une molécule spécifique émise par la gangue de l'ovule : la resact, qui diffuse dans l'eau de mer et est détectée par le spermatozoïde, même à des concentrations très faibles (nanomole).

Une expérience simple permet de montrer le pouvoir attractif de cette molécule sur les spermatozoïdes. Si on dépose des spermatozoïdes sur une lame histologique en absence d'ovocyte (Fig.9 A), on constate que les spermatozoïdes tournent en rond. Par contre, si on injecte, par une micropipette, une dilution de resact (Fig.9 B et C), les gamètes mâles convergent vers le lieu d'injection avec une trajectoire quasiment linéaire.

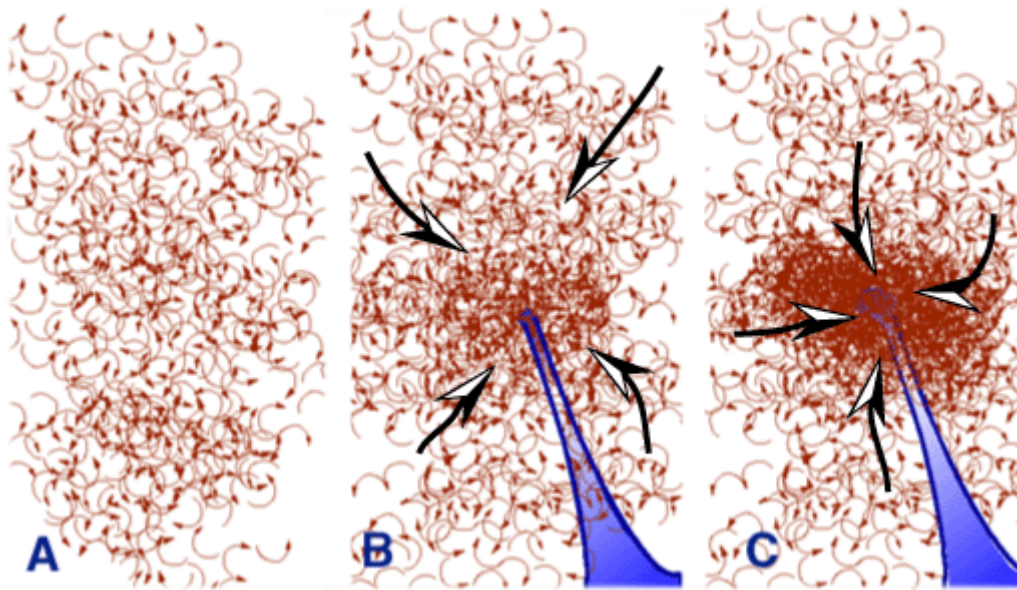


Figure 9 : Mise en évidence de l'attraction des spermatozoïdes par une molécule chimiotactique.
(<http://www.snv.jussieu.fr>)

On sait également que la resact possède un rôle activateur de la motilité du spermatozoïde. La fixation de resact sur son récepteur, situé sur la membrane des spermatozoïdes, déclenche une réaction en chaîne dans le cytoplasme qui aboutit à une stimulation des battements du flagelle. Ceci peut faire penser au phénomène de capacitation chez les mammifères, que nous allons voir postérieurement.

b) Cas des mammifères

Dans ce cas, la fécondation est interne. Les spermatozoïdes déposés dans le vagin doivent traverser le canal cervical puis la cavité utérine avant d'atteindre l'ovule situé dans le tiers terminal de la trompe, comme le montre la figure 10. Les spermatozoïdes sont propulsés par des contractions de l'endomètre vers l'ovule. De plus, l'ovule mature produit une substance chimique, l'allurine, qui exerce un effet chimiotactique qui attire les spermatozoïdes.

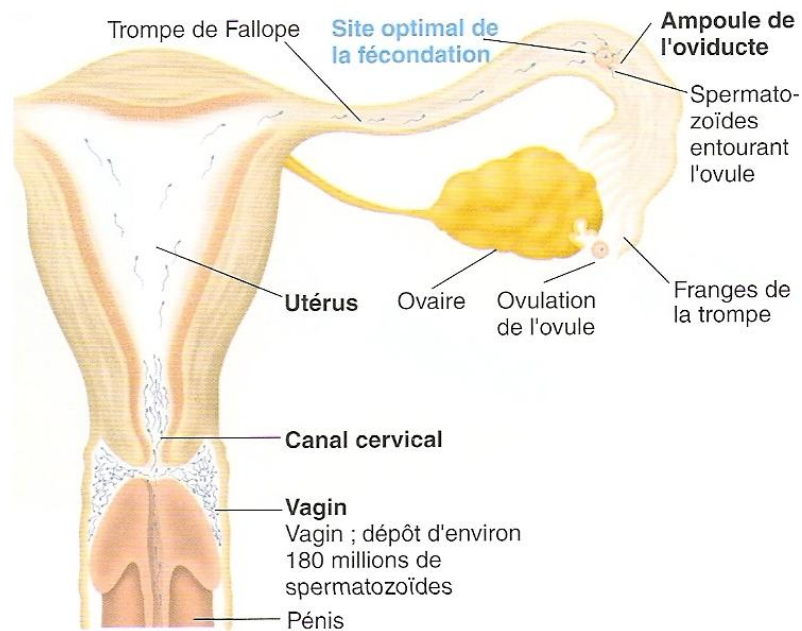


Figure 10 : Transport des spermatozoïdes jusqu'à l'ovule chez les mammifères
(Physiologie humaine, Sherwood, De Boeck 2^e édition)

Les spermatozoïdes qui sortent des voies génitales mâles sont incapables de féconder. Ils sont recouverts de protéines qui le protègent pendant son trajet. Cependant, au sein des voies génitales femelles, les spermatozoïdes sont rendus féconds par modification de la membrane plasmique et enlèvement des protéines. Il s'agit de la capacitation.

L'albumine et d'autres substances présentes dans les voies génitales femelles entraînent une élimination de cholestérol de la membrane des spermatozoïdes, et une cascade de réactions cytosoliques aboutissant à une hyperactivité du spermatozoïde.

3 : De la rencontre à la fusion membranaire

a) Le contact entre les gamètes

Chez l'oursin, le premier contact entre l'ovocyte et le spermatozoïde se fait au niveau de la gangue gélatineuse. Il y a une réaction acrosomiale qui entraîne une exocytose des protéines de l'acrosome (Fig.11). Lors du contact avec les récepteurs de l'ovocyte, le spermatozoïde n'a donc plus d'acrosome.

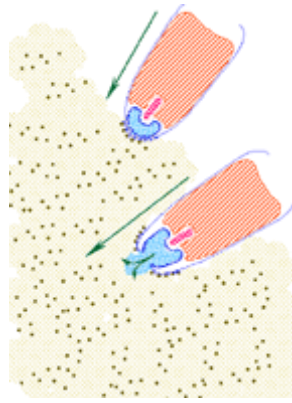


Figure 11 : Contact et accolement du spermatozoïde avec la gangue de l'ovotide suivi de la pénétration de la tête spermatique.
(<http://www.snv.jussieu.fr>)

Chez les mammifères, le premier contact se fait au niveau de la corona radiata qui entoure la zone pellucide. Cependant, la libération du contenu de l'acrosome ne se fait qu'au niveau de la zone pellucide, lors de la fixation du spermatozoïde aux récepteurs de celle-ci.

b) Les interactions moléculaires lors de la fécondation chez l'oursin.

Le contact avec la gangue provoque l'exocytose de la vésicule acrosomique. Ce processus libère des enzymes (hydrolases) qui lysent la gangue dans l'environnement immédiat de la tête du spermatozoïde. De cette façon, à mesure qu'il progresse vers l'ovocyte, le spermatozoïde se fraye un chemin à travers la gangue. Au niveau moléculaire, la réaction acrosomique est initiée par une glycoprotéine, la FSG (fucose sulfate glycoprotéine) contenue dans la gangue et reconnue par la membrane plasmique de la tête du spermatozoïde.

Ceci entraîne une élévation du pH intracellulaire et inhibe les protéines qui maintiennent l'actine sous forme globulaire. Cela entraîne sa polymérisation en microfilaments d'actine qui s'allongent à partir de la tête du spermatozoïde et forment une protubérance appelée tubule acrosomial (Fig.12).

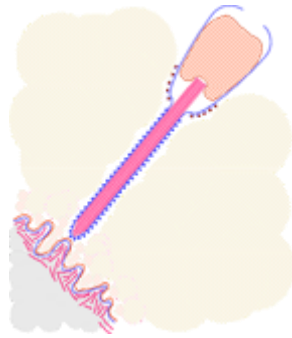


Figure 12 : Traversée du processus acrosomique
à travers la gangue.

(<http://www.snv.jussieu.fr>)

Ce tubule entre ensuite en contact avec la membrane vitelline par la fixation d'une protéine portée par le tubule acrosomal, la bindine, sur son récepteur spécifique.

c) Les particularité des interactions membranaires lors de la fécondation chez les mammifères.

Après avoir traversé la corona radiata, les spermatozoïdes arrivent en contact avec la zone pellucide. Celle-ci est formée, comme on peut le voir sur la figure 13, de chaînes protéiques ZP2 et ZP3 unies par ZP1. Ces protéines sont recouvertes d'oligosaccharides.

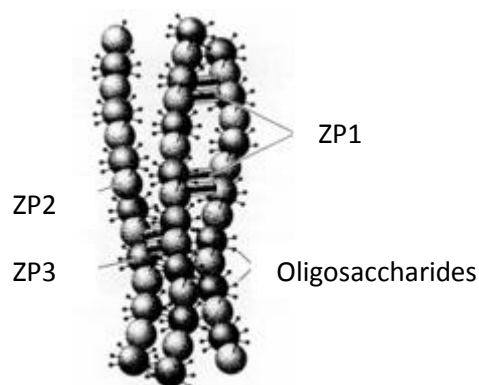


Figure 13 : Agencement des protéines de la zone pellucide

(<http://www.biodeug.com>)

Les spermatozoïdes présentent, sur leur membrane, des récepteurs à ZP3 qui permettent leur fixation sur la zone pellucide

Une expérience permet de mettre en évidence l'importance de ZP3 et des oligosaccharides dans la liaison spermatozoïde/zone pellucide. On réalise un test d'inhibition de cette liaison après incubation des spermatozoïdes avec des quantités croissantes des protéines de la zone pellucide.

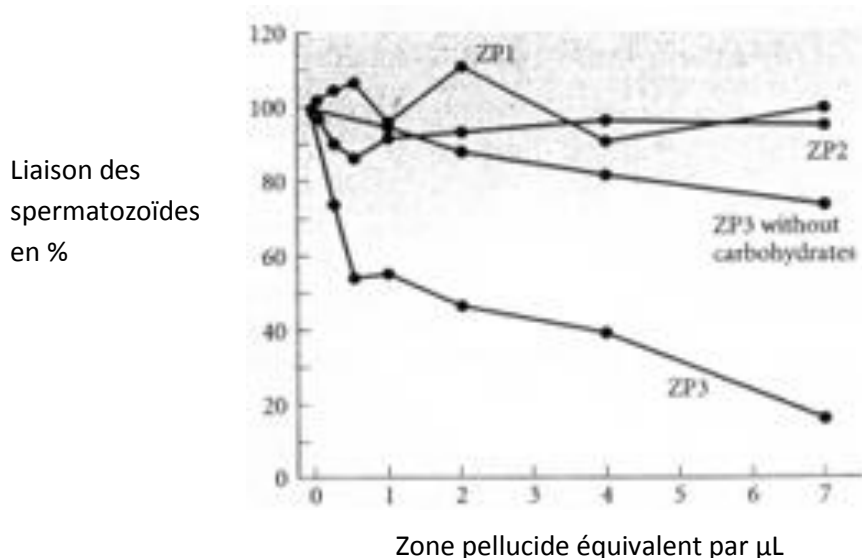


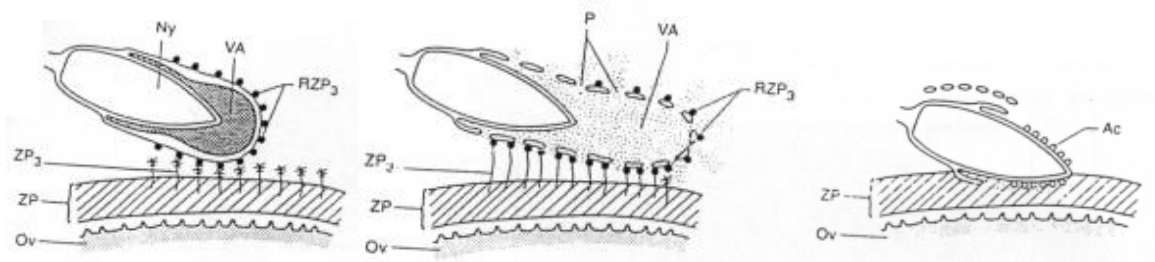
Figure 14 : Test d'inhibition de la liaison spermatozoïde/zone pellucide après incubation avec les protéines de la zone pellucide

(<http://www.biodeug.com>)

On constate sur la figure 14 que la liaison est inhibée après incubation avec ZP3. Cela signifie que les récepteurs du spermatozoïde sont saturés et donc que c'est la protéine ZP3 qui interagit avec le récepteur. Par ailleurs, on observe que la liaison n'est pas inhibée si les protéines ZP3 ne sont pas associées aux oligosaccharides, d'où leur importance pour la fixation de ZP3 sur les récepteurs.

La fixation de ZP3 sur son récepteur spermatique entraîne la fusion des membranes plasmiques interne et externe de l'acrosome, formant ainsi des pores d'où s'échappent les enzymes de l'acrosome, comme on le voit sur la figure 15. Ceci constitue la réaction acrosomique.

Après ceci la tête du spermatozoïde pénètre dans la zone pellucide, digérée localement par une acrosine fixée sur la paroi interne de l'acrosome



Ny : noyau du spermatozoïde ; VA : vésicule acrosomiale ; ZP : zone pellucide ;
Ov : ovocyte ; P : pore de l'acrosome ; Ac : acrosine.

Figure 15 : Réaction acrosomiale chez les mammifères

(<http://www.biodeug.com>)

Après avoir pénétré la zone pellucide le spermatozoïde se retrouve dans l'espace périvitellin où il y a reconnaissance entre les fertilines (dimère α , β) du spermatozoïde, et les intégrines (dimère α , β) de l'ovule.

L'intégrine dans la membrane de l'ovule est en contact avec une protéine CD9 transmembranaire elle aussi. L'association de ces 3 protéines entraîne la fusion des membranes, appelée aussi la plasmogamie.

B : De la fusion membranaire aux phénomènes cytoplasmiques de la fécondation.

Chez les mammifères, comme chez les oursins la plasmogamie est suivie de phénomènes qui visent à activer l'ovule et à éviter la polyspermie.

Chez les mammifères, comme chez les oursins la plasmogamie est suivie de phénomènes qui visent à activer l'ovule et à éviter la polyspermie.

Si l'on étudie le potentiel transmembranaire de l'ovocyte de l'oursin lors de la pénétration du spermatozoïde, par l'implantation de microélectrodes on observe une variation du potentiel membranaire : dépolarisation puis repolarisation au bout de quelques minutes. Ces variations sont dues à des échanges d'ions avec le milieu extracellulaire, notamment de Na^+ , K^+ , H^+ et Ca^{++} (on parle de vague calcique).

Enfin on peut voir au microscope un soulèvement de la membrane de fécondation (Fig. 16) tout autour de l'ovocyte, ce qui est dû à l'exocytose des substances contenues dans des granules corticaux.

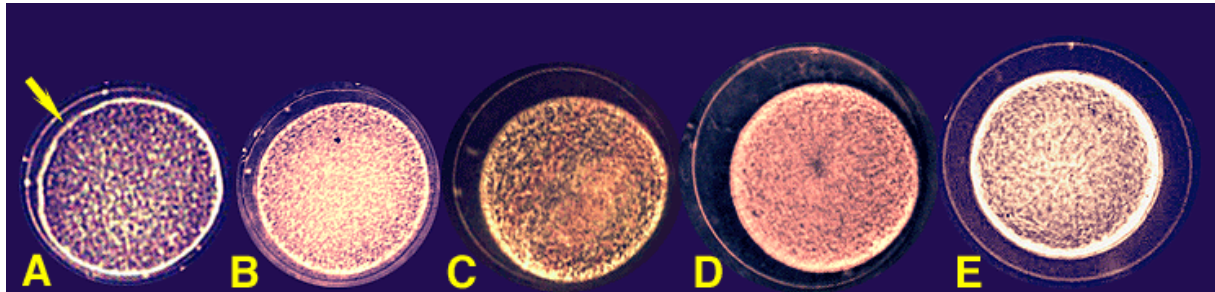


Figure 16 : Vues successives du soulèvement de la membrane de fécondation

(<http://www.snv.jussieu.fr>)

Cette vague calcique, endogène, entraîne la fusion des granules corticaux avec la membrane plasmique. Ces granules déversent des enzymes et des mucopolysaccharides qui modifient les propriétés de l'espace périvitellin et de la membrane vitelline pour l'oursin (ou de la zone pellucide pour les mammifères) qui devient alors la membrane de fécondation.

Les mucopolysaccharides provoquent un appel d'eau ce qui augmente l'espace périvitellin, et les protéines renforcent la membrane vitelline pour l'oursin et la zone pellucide pour les mammifères.

Le pH intracellulaire augmente, ce qui déclenche l'activation de l'ovule.

La fusion des membranes plasmiques des gamètes male et femelle entraîne donc une activation métabolique et corticale.

C : De la pénétration du gamète male à l'amphimixie : les phénomènes nucléaires de la fécondation.

1 : Le déblocage et l'achèvement de la méiose chez les vertébrés.

Chez les vertébrés, l'ovocyte est bloqué en métaphase II, avant la fécondation. La vague calcique provoque une série de phosphorylation qui aboutit à la dégradation des protéines qui causent ce blocage. De plus il y a émission du deuxième globule polaire.

2 : La formation et la migration des pronucléi ou pronoyaux.

Quand le noyau spermatique se retrouve dans le cytoplasme ovulaire, il y a un début de formation de fibres astériennes : l'aster irradie dans toute la cellule. Ceci semble permettre la localisation du noyau femelle pour permettre le rapprochement des deux pronucléi. On parle de pronucléus male car le noyau spermatique a été décompacté, les histones ont remplacé les protamines.

On a constaté qu'au fur et à mesure que le pronucléus mâle progresse vers le pronucléus femelle, les fibres de l'aster régressent. Quand les deux pronucléi sont presque au contact l'un de l'autre, il ne reste plus aucune fibre.

D : Amphimixie

L'amphimixie est la réunion des chromosomes mâles et femelles au sein d'un seul noyau diploïde.

Chez les oursins, les noyaux haploïdes des gamètes male et femelle fusionnent immédiatement après la fécondation pour former un noyau de fécondation (syncaryon diploïde).

Chez les mammifères, c'est différent. Les pronoyaux vont migrer vers le centre de l'œuf fécondé puis prennent contact l'un avec l'autre, puis ils sont chacun le siège d'une prophase (et juste une prophase) au cours de laquelle s'individualisent les chromosomes et les enveloppes nucléaires disparaissent.

Dans la seconde partie de la prophase ou pro-métaphase, ces chromosomes viennent se placer dans un plan unique appelé Plan Equatorial de la première division de segmentation. Ce regroupement des chromosomes maternel et paternel marque la fin de la méiose et le début du développement embryonnaire.

La fécondation au niveau cellulaire, bien qu'elle fasse intervenir des mécanismes différents suivant les espèces, vise toujours à réunir les gamètes pour conduire à l'amphimixie.

III : La recombinaison du génome ou la signification biologique de la fécondation

A : Unicité de l'individu et diversité des populations

1 : Brassage génétique

Contrairement à la reproduction asexuée, la reproduction sexuée, par la méiose et la fécondation permet un important brassage génétique. Celui-ci va être très intéressant du point de vue de l'évolution, en augmentant l'hétérozygotie.

En effet, la fécondation conduit à l'unification de deux gamètes pris au hasard. Les gamètes sont eux-mêmes issus de la méiose qui est une réduction par deux du génome parental, elle aussi au hasard.

Ce brassage génétique aboutit à une très grande diversité de zygotes, il y a donc très peu de chance que deux individus aient le même patrimoine génétique, d'où une unicité de l'individu.

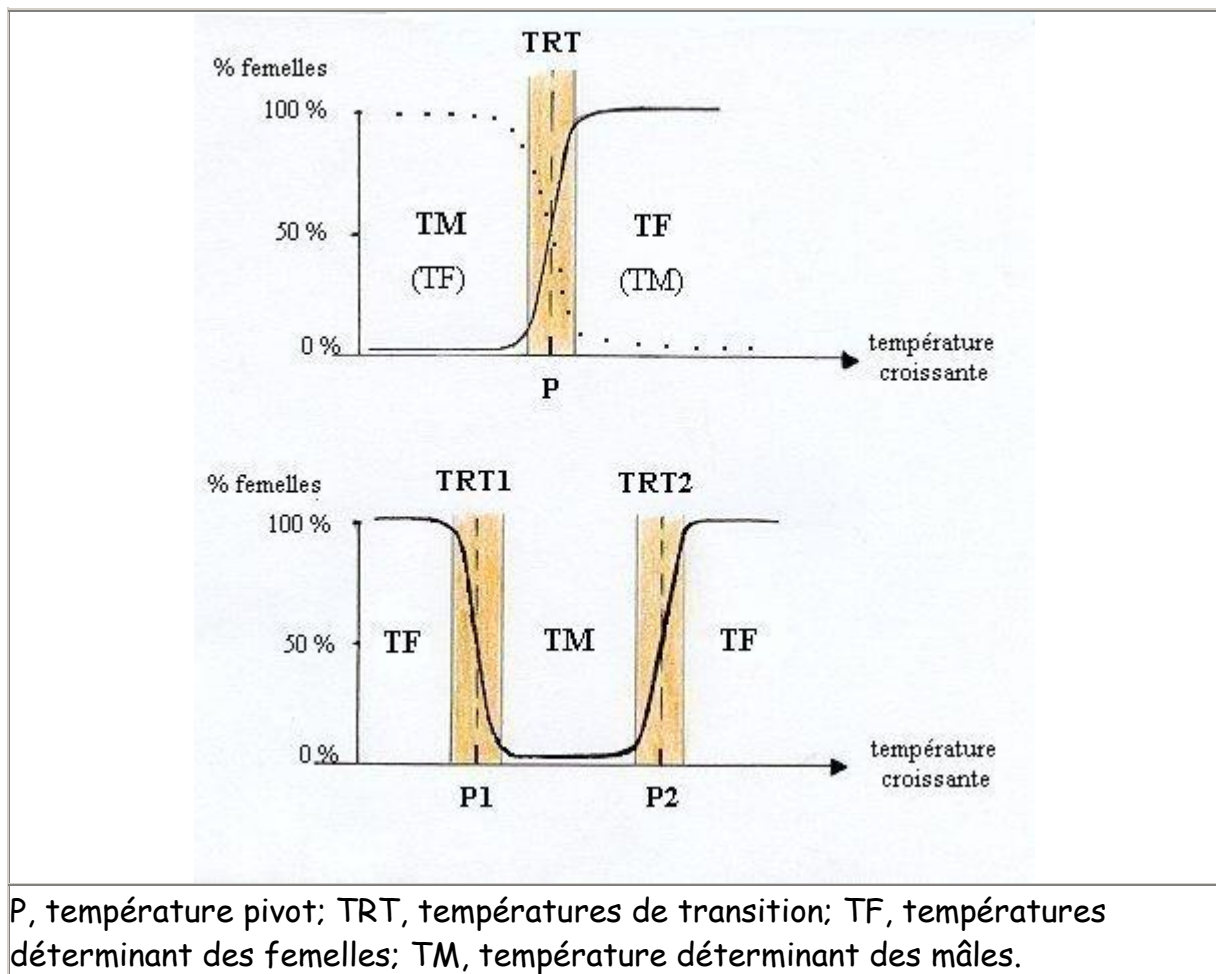
2 : Déterminisme du sexe

Le sexe du zygote est déterminé dès la fécondation, il n'en est pas pour autant fonctionnel. Il faut une phase de différenciation sexuelle pour que les gonades deviennent matures et que l'animal soit capable de se reproduire.

Le déterminisme sexuel, c'est-à-dire le choix du sexe du zygote, se fait au cours de la fécondation, et de différentes façons :

-Il existe des cas où le sexe est déterminé avant fécondation par production d'œufs dimorphes comme chez certains annélides (déterminisme progamique). Les facteurs génétiques du déterminisme sexuel sont nombreux. Ils peuvent être basés sur la présence de chromosomes sexuels ou simplement sur la présence de facteurs génétiques sexualisants.

- Mais ce peut être également un facteur externe qui intervient après la fécondation (déterminisme épigamique), comme c'est le cas chez les reptiles, dont le déterminisme sexuel dépend de la température comme le montre la figure 17.



P, température pivot; TRT, températures de transition; TF, températures déterminant des femelles; TM, température déterminant des mâles.

Figure 17 : Différentes modalités de détermination du sexe par la température
(D'après C.Pieau, "Temperature variation and sex determination in reptiles" in BioEssays, vol.18, no1, 1995)

En haut, il n'existe qu'une seule température pivot et une seule gamme de température transitionnelle, entre températures masculinisantes et températures féminisantes, détermine le sexe. Le cas présenté correspond à celui rencontré chez de la majorité des tortues.

La courbe opposée, en pointillé, correspond au cas de certains lézards et des Sphenodon.

En bas, deux températures pivot et deux gammes de températures transitionnelles déterminent le sexe. C'est le cas des crocodiles et de certaines espèces de tortues et de lézards.

-Le plus souvent le sexe est déterminé par un facteur génétique (déterminisme syngamique).

Dans ce cas, parmi l'ensemble des chromosomes d'un organisme, on distingue une paire de chromosomes sexuels, ou hétérosomes. Les chromosomes de cette paire sont caractérisés par une taille et un contenu génique différent, contrairement aux autres paires où les deux chromosomes sont quasi-identiques. Il existe deux cas :

- Le gamète mâle possède un ou l'autre des hétérosomes. Le gamète femelle n'en possède qu'un seul type. C'est le cas de l'Homme. Les spermatozoïdes contiennent soit X soit Y tandis que les ovules ne possèdent que X. Ainsi un individu portant XY est un mâle, un individu portant XX est une femelle.
- Inversement, le gamète femelle possède l'un ou l'autre des hétérosomes tandis que le gamète mâle n'en possède qu'un seul type. C'est le cas chez certains oiseaux (canard) et insectes (ver à soie). Pour différencier du cas précédent on parle de chromosomes Z et W. Une femelle aura donc des gamètes Z ou W, le mâle uniquement Z. Ainsi un individu ZW est une femelle tandis qu'un individu ZZ est un mâle.

Ce système peut être compliqué par la perte ou la fusion d'un hétérosome (Y ou W) avec un autosome. Un individu aura alors pour génotype sexuel : XO (nématodes) ou ZO (cas du canard), où O indique que le second hétérosome a fusionné avec un autosome. De plus chez beaucoup de reptiles on ne peut distinguer les hétérochromosomes entre eux.

Le sexe peut également être déterminé par la nature du caryotype : haploïde ou diploïde (hyménoptère) ou par la perte de chromosomes (certains diptères) lors du développement embryonnaire.

3 : Complémentarité du génome

Nous avons vu que le zygote résulte de la fusion de deux noyaux ce qui restaure la diploïdie. On peut se demander si la fusion de deux noyaux ayant subi une méiose est suffisante pour assurer le développement ultérieur de l'œuf. Autrement dit, la fusion de deux ovules ou deux spermatozoïdes permet-elle le développement ultérieur du zygote ainsi obtenu ?

Des expériences de fécondation in vitro chez des souris ont montré que ce type de fécondation ne donnait pas de descendance. Il y a donc une complémentarité des génomes, car les gamètes mâles et femelles se complètent pour donner un zygote viable. Pour expliquer la complémentarité des génomes, il faut admettre que certains gènes se comportent différemment en fonction de leur origine, paternelle ou maternelle. C'est-à-dire que chaque cellule contient un mémoire de l'origine de certains gènes. En effet, pour certains gènes, seul un des allèles s'exprime.

La fécondation est donc la fusion de deux gamètes qui sont complémentaires et tout deux nécessaires à l'élaboration d'un individu viable et unique, car les allèles des gènes apportés peuvent s'exprimer différemment en fonction de leur origine.

B : Place de la fécondation dans les cycles de la reproduction

La fécondation a un rôle important au niveau de chaque génération. Elle rétablit la diploïdie perdue lors de la méiose, que ce soit pour des animaux à cycle haplo-diplobiontique, à dominance haplobiontique ou diplobiontique.

Elle a aussi un rôle à une échelle plus importante dans l'hétérosis, car elle favorise les caractères hétérozygotes. En effet, certaines espèces alternent entre des phases de reproduction sexuée et asexuée (parthénogenèse, schizogamie), comme *Plasmodium falciparum*.

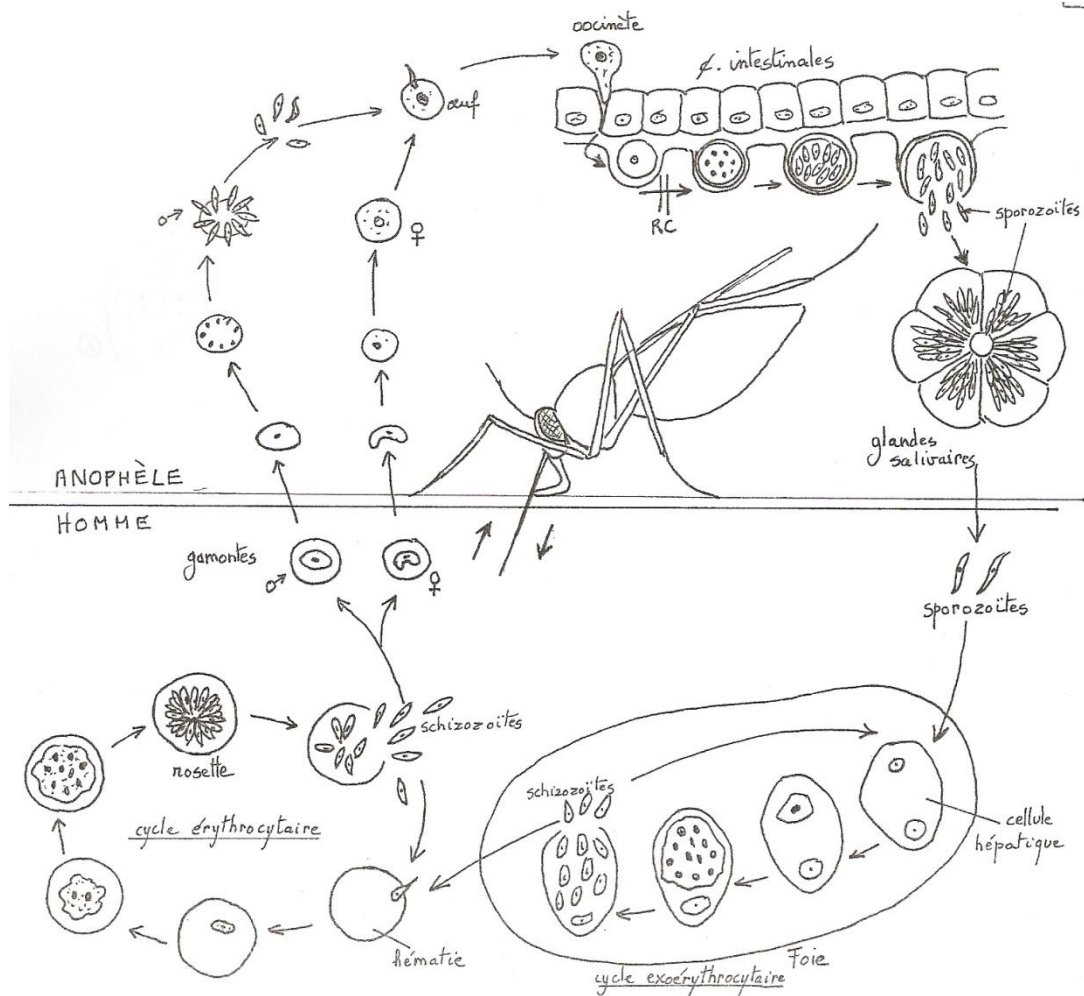


Figure 18 : Cycle de *Plasmodium falciparum*, agent du paludisme
(Cours de Bernard Vitte, BOR 402)

La figure 18 nous montre les différents cycles de ce parasite. Il se développe dans deux hôtes, l'homme et l'anophèle. Chez l'homme, la reproduction de *Plasmodium falciparum* est asexuée, et elle est sexuée chez le moustique. La reproduction asexuée permet d'augmenter le nombre d'individu, mais ne favorise pas la diversité génétique, car tous les descendants sont des clones. La reproduction sexuée en revanche, grâce à l'alternance méiose-fécondation, permet de favoriser l'hétérozygotie, comme nous l'avons vu précédemment.

Conclusion

On a pu voir avec ces différents exemples, qu'au cours de l'évolution la fécondation a su faire face aux différents problèmes que le milieu pouvait lui imposer. Comme le milieu aérien avec l'apparition de la fécondation interne ou le milieu sous terrain grâce à différentes stratégies. Cette évolution se traduit aussi au niveau des mécanismes cellulaires et moléculaires, qui sont différents en fonction du milieu aquatique ou aérien.

Plus qu'une ré-acquisition de la diploïdie, la fécondation, couplée à la méiose, est à l'origine de la diversité génétique et de l'unicité du vivant. Elle tient donc une place primordiale dans la plupart des cycles de vie.

Malgré ces nombreux avantages la fécondation présente des inconvénients qui expliquent la persistance de la reproduction asexuée au cours de l'évolution.