



EMBRYOLOGIE HUMAINE

Version 2008-2009

Cours d'embryologie en ligne à l'usage des étudiants et étudiantes en médecine
Développé par les Universités de Fribourg, Lausanne et Berne sous l'égide du Campus Virtuel Suisse



Liste des Chapitres

Contact

EMBRYO GÉNÈSE

ACCUEIL

ZONE D'ÉCHANGES

RECHERCHER

AIDE

HAUT ▲

4.0 Objectifs, Prérequis, Introduction, Questions & réflexions

- [Objectifs](#)
- [Prérequis](#)
- [Introduction](#)
- [Questions & réflexions](#)

4.1 L'ovulation

- [Le tractus génital féminin](#)
- [L'ovaire et le follicule dominant](#)
- [Maturation de l'ovule dans le follicule dominant peu avant l'ovulation](#)
 - [Rétrospection: l'ovocyte primaire](#)
 - [Achèvement de la première division de maturation](#)
 - [L'ovocyte secondaire](#)
 - [Le rôle de la progestérone dans le liquide folliculaire](#)
 - [Le follicule mûr](#)
- [L'ovulation](#)
- [L'interception de l'ovule par la trompe](#)
- [L'ovule dans le nuage de cellules du cumulus après l'ovulation](#)

4.2 Mise en place des spermatozoïdes

- [Etapes de maturation des spermatozoïdes](#)
- [Processus dans le tractus génital masculin](#)
 - [Processus dans le testicule \(testis\)](#)
 - [Processus dans l'épididyme \(epididymis\)](#)
- [L'éjaculation et l'éjaculat](#)
 - [Les glandes qui participent à l'éjaculation](#)
 - [Le liquide séminal](#)
 - [Le spermatozoïde](#)

4.3 Le parcours des spermatozoïdes jusqu'à l'ovule - la capacitation

- [Survol](#)
- [Le passage du col \(cervix\)](#)
- [La capacitation des spermatozoïdes](#)

4.4 Les spermatozoïdes parviennent à l'ovule - la réaction acrosomique

- La pénétration des cellules du cumulus
- Le contact avec la zone pellucide
 - La réaction acrosomique
 - La pénétration de la zone pellucide

4.5 La pénétration du spermatozoïde dans l'ovocyte

- Le mécanisme d'arrimage du spermatozoïde à l'ovocyte (principe de la clé dans la serrure)
- Le blocage de la polyspermie
- La pénétration du spermatozoïde dans l'ovule (imprégnation)
- L'achèvement de la deuxième division de maturation de l'ovocyte

4.6 La fécondation s'achève. La formation du zygote

- Introduction à la formation et au développement des pronuclei
 - Formation du pronucleus paternel
 - Formation du pronucleus maternel
 - Phase de synthèse de l'ADN dans les pronuclei
- Rapprochement des pronuclei
- La formation du zygote

4.7 Quiz

- Testez vos connaissances

4.8 Résumé

- La fécondation en quelques mots

4.9 Bibliographie

- Références

Module
Fécondation
44.0 Objectifs, Prérequis, Introduction,
Questions réflexions

- [Objectifs](#)
- [Prérequis](#)
- [Introduction](#)
- [Questions & réflexions](#)

Objectifs

Au terme de ce module, l'étudiant est capable:

- d'expliquer les processus qui ont lieu lors de l'ovulation
- de connaître les étapes importantes qui mènent à la mise en place des spermatozoïdes
- de décrire le processus de capacitation des spermatozoïdes
- de décrire la pénétration de l'ovule par le spermatozoïde
- de connaître les processus menant à la formation du zygote

Prérequis

- Anatomie du tractus génital féminin
- Développement de l'ovule dans l'ovaire
- Anatomie du tractus génital mâle
- Spermatogénèse

Introduction

Pour une fécondation réussie, le **spermatozoïde mature doit pénétrer dans l'ovule mature**. C'est en même temps la rencontre de l'une des plus petites des cellules humaines avec l'une des plus grandes. En effet la tête du spermatozoïde mesure juste $4\mu\text{m}$ alors que l'ovule a un diamètre de $120\mu\text{m}$ (0.12mm !).

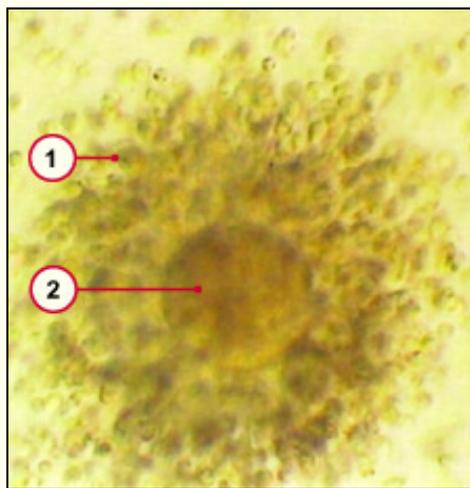
Fig. 1 - Ovocyte et corona radiata

Fig. 2 - Spermatozoïdes natifs

Légende

Quiz

[Quiz 08](#)



1 Cellule du cumulus
2 Ovule



3 Queue du spermatozoïde
4 Tête du spermatozoïde
5 Liquide séminal

Fig. 1
L'ovule après l'ovulation, entouré d'un nuage de cellules constitué de cellules du cumulus qui forment une enveloppe autour de l'ovule, la corona radiata

© Dr. A. Senn et al, CHUV Lausanne

Fig. 2
Spermatozoïdes dans un éjaculat. Ces spermatozoïdes doivent encore passer par plusieurs étapes de maturation pour qu'ils aient la capacité de féconder l'ovule.

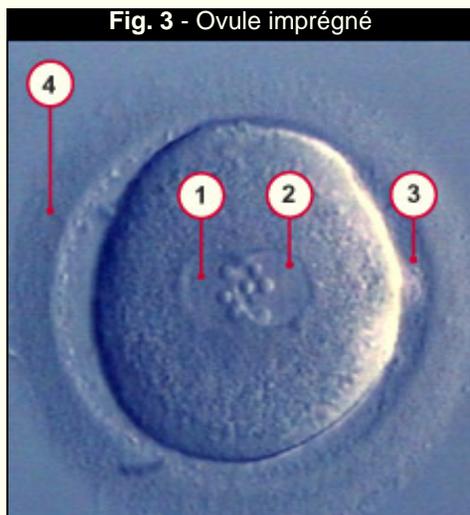
Vidéo

[Ejaculat](#)
(200 kB)

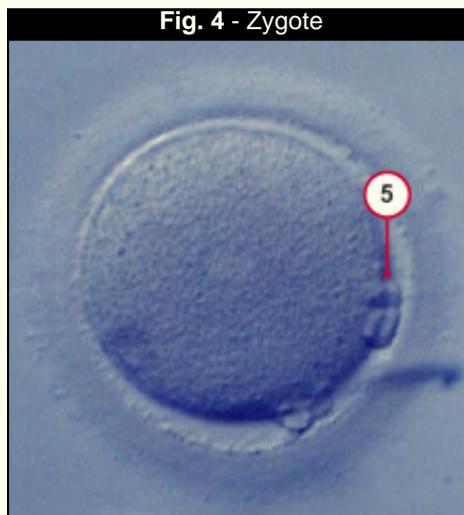
Pour en savoir plus

[Voilà ce que dit actuellement la législation suisse](#) à propos de cet ensemble thématique

On parle d'une **fécondation complètement terminée** lorsque l'information génétique du spermatozoïde mâle et celle de l'ovule femelle s'**unit** pour former un nouvel individu qui est unique.



1 Pronucleus mâle
2 Pronucleus femelle aux abords du globule polaire
3 Un globule polaire
4 Zone pellucide



5 Plusieurs globules polaires

Légende

Fig. 3
La fusion des deux pronuclei est imminente. Plus de **18 - 20 heures** ont passé depuis l'entrée du spermatozoïde dans l'ovule. On a désenveloppé l'ovule de ses cellules du cumulus pour une meilleure vue.

© Dr. A. Senn et al, CHUV Lausanne

Fig. 4
Après la fusion des pronuclei on reconnaît l'appareil microtubulaire et les chromosomes en anaphase. Le zygote, la première cellule de l'embryon, se divise immédiatement en deux cellules.

© Dr. A. Senn et al, CHUV Lausanne

Questions & réflexions

- Lorsque le spermatozoïde quitte le testicule, il n'est pas encore capable de féconder. Quelles sont les modifications qui doivent avoir lieu chez le spermatozoïde pour qu'il puisse s'unir à l'ovule?
- Comment l'ovule parvient-il depuis l'ovaire dans la trompe?
- Comment le spermatozoïde parvient-il à pénétrer dans l'ovule?
- Comment garantir qu'un spermatozoïde d'une autre espèce ne puisse pas déposer son information génétique?
- Au moment où la fécondation est complètement terminée, le patrimoine héréditaire des deux parents s'est uni. Comment se déroule la fusion du matériel génétique?

Notions clés

Notions qui sont importantes dans le module fécondation.

[Liste des chapitres](#) | [Chapitre suivant](#)

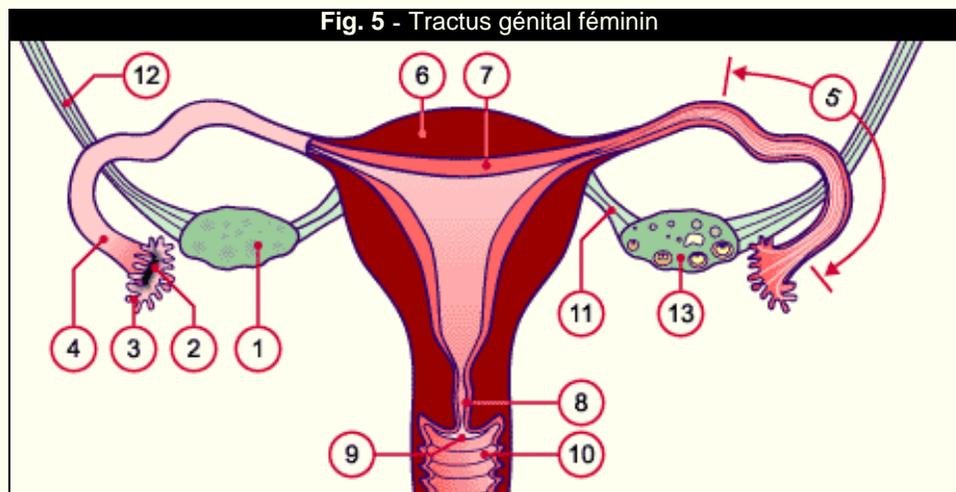


4.1 L'ovulation

- **Le tractus génital féminin**
- **L'ovaire et le follicule dominant**
- Maturation de l'ovule dans le follicule dominant peu avant l'ovulation
 - Rétrospection: l'ovocyte primaire
 - Achèvement de la première division de maturation
 - L'ovocyte secondaire
 - Le rôle de la progestérone dans le liquide folliculaire
 - Le follicule mûr
- L'ovulation
- L'interception de l'ovule par la trompe
- L'ovule dans le nuage de cellules du cumulus après l'ovulation

Le tractus génital féminin

Les processus aboutissants à la fécondation ont lieu dans le tractus génital féminin.



- Fig. 5 - Tractus génital féminin**
- 1 Ovaire
 - 2 Ampoule tubaire
 - 3 Fimbriae
 - 4 Trompe
 - 5 Partie ampolaire de la trompe
 - 6 Musculature de l'utérus
 - 7 Muqueuse de l'utérus
 - 8 Cervix
 - 9 Portio
 - 10 Vagin
 - 11 Lig. Ovarii proprium
 - 12 Lig. Suspensorium ovarii
 - 13 Ovaire vu en coupe (follicules à différents stades)

Légende

Fig. 5
Représentation schématique des organes sexuels féminins, vue de dos. Le vagin, l'utérus, la trompe et l'ovaire droite sont vus en coupe frontale.

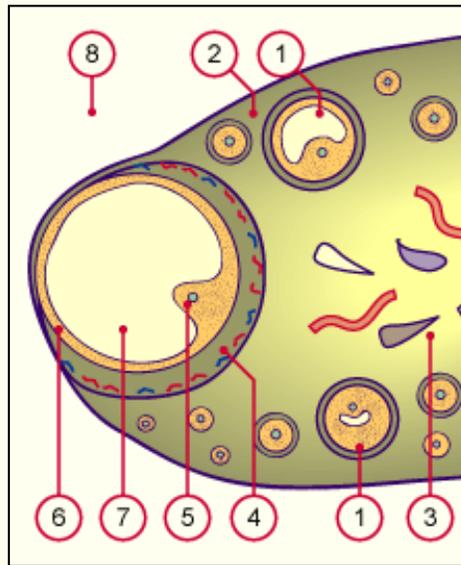
L'ovaire et le follicule dominant

Le **follicule dominant** se développe dans un des deux ovaires environ une

Fig. 6 - Follicule de Graaf

Légende

semaine avant le milieu du cycle. Il croît plus vite que les autres follicules tertiaires et il se prépare à l'ovulation. Il atteint un diamètre de 25mm et est aussi appelé **follicule de Graaf**.



- 1 Follicule tertiaire
- 2 Corticale de l'ovaire
- 3 Médulla de l'ovaire
- 4 Thèque avec le réseau capillaire du follicule de Graaf
- 5 Ovule dans le cumulus oophorus
- 6 Stratum Granulosum (Granulosa)
- 7 Antrum folliculi et liquide folliculaire
- 8 Cavité abdominale

Fig. 6
Dessin schématique d'un follicule de Graaf dans son milieu ovarien

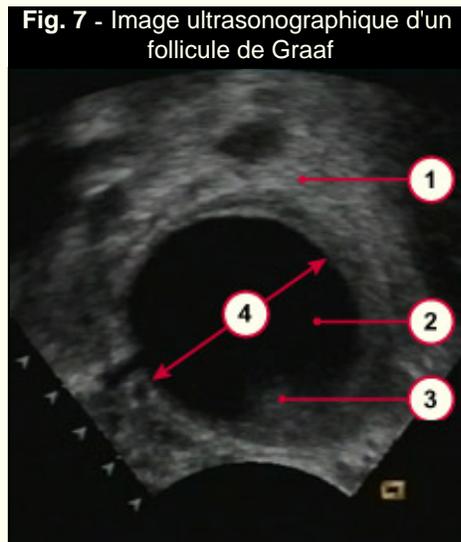
Quiz

[Quiz 03](#)

Quiz

[Quiz 11](#)

L'image ultrasonographique de la fig. 7 montre le liquide folliculaire sous forme d'une surface noire. L'image a été prise peu avant l'ovulation. Comme à ce moment le cumulus oophorus s'est détaché de la granulosa, l'ovule «baigne» dans le liquide folliculaire, entouré par ses cellules du cumulus (appelées corona radiata). Ceci n'est toutefois pas reconnaissable sur cette image. Le follicule de Graaf forme une protubérance à la surface de l'ovaire. Il est prêt à se rompre: sa paroi va bientôt se déchirer et son contenu visqueux et collant ainsi que l'ovule vont se déverser dans l'ampoule tubaire. Le diamètre de l'**antrum folliculi** mesure ici 22mm (cela correspond à 5ml de liquide folliculaire).



- Fig. 7 - Image ultrasonographique d'un follicule de Graaf**
- 1 Tissu ovarien
 - 2 Antrum folliculi
 - 3 Vestiges du cumulus oophorus
 - 4 Mesure de 22mm

Légende

Fig. 7
Image arrêtée tirée d'une séquence vidéo qui montre un follicule avant sa rupture.

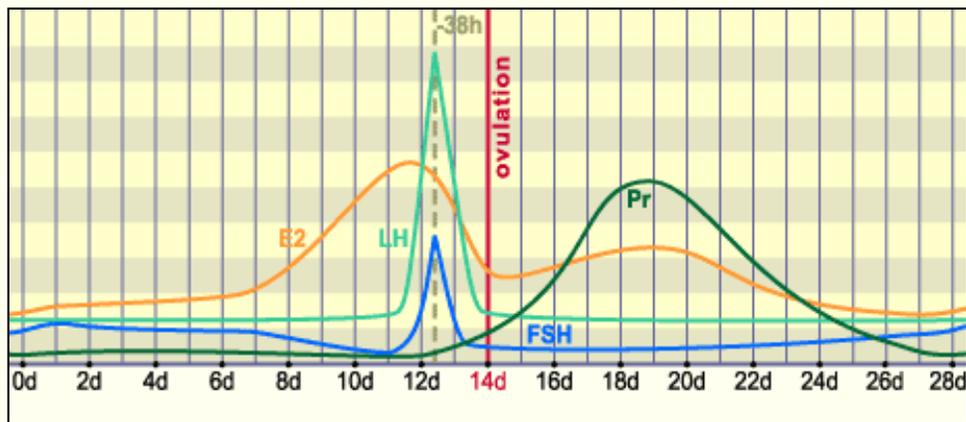
© Dr. L. Rayo,
Inselspital Bern

[Vidéo \(150KB\)](#)

Une oscillation hormonale perfectionnée est responsable de la maturation folliculaire. Les critères de sélection du follicule dominant ne sont toutefois pas connus. Le schéma suivant donne l'évolution de la concentration des hormones impliquées pendant le cycle.

Fig. 8 - Evolution hormonale du cycle

Légende



LH hormone lutéinique
E2 Oestradiol
Pr Progestérone
FSH Hormone folliculo-stimulante

Fig. 8
Les courbes montrent l'évolution des concentrations dans le sang des hormones FSH, LH, oestradiol et progestérone. Elles sont reportées tout au long du cycle qui dure en moyenne 28 jours. On observe un pic de LH environ 38 heures avant l'ovulation.

Quiz

Quiz 12

Quiz

Quiz 13

La concentration de l'hormone lutéinique (LH) augmente fortement environ un jour et demi avant le milieu du cycle. Le pic de LH est responsable de toute une série de processus. Ils ont pour but de déclencher l'**ovulation**, de créer un **milieu** optimal pour une fécondation réussie et de synchroniser le **déroulement temporel** des processus.

Le pic de LH induit les processus suivants dans l'ovule:

- Achèvement de la première division de maturation et début de la deuxième.

Le pic de LH induit les processus suivants dans le follicule:

- Relâchement des cellules du Stratum granulosum dans la zone du cumulus oophorus
- Augmentation de la concentration de progestérone dans le liquide folliculaire
- Relâchement du tissu périvasculaire et vascularisation croissante

Conséquences de ces processus:

- Déplacement adéquat des ampoules tubaires à la surface de l'ovaire
- Rupture de la paroi du follicule et passage du liquide folliculaire et de l'ovule dans l'ampoule tubaire
- Inhibition de la maturation d'autres follicules

Commentaire

Comment le pic de LH est-il atteint?

A quoi ressemblent les relations hormonales qui aboutissent au pic de LH? Comment influencent-elles le follicule dans son processus de maturation?.

Pour en savoir plus: [popup interactif](#). (620KB !)

Quiz

Quiz 02

Ces points vont être approfondis dans les pages suivantes.

[Liste des chapitres](#) | [Page suivante](#)



4.1 L'ovulation

- [Le tractus génital féminin](#)
- [L'ovaire et le follicule dominant](#)
- **Maturation de l'ovule dans le follicule dominant peu avant l'ovulation**
 - [Rétrospection: l'ovocyte primaire](#)
 - [Achèvement de la première division de maturation](#)
 - [L'ovocyte secondaire](#)
 - [Le rôle de la progestérone dans le liquide folliculaire](#)
 - [Le follicule mûr](#)
- [L'ovulation](#)
- [L'interception de l'ovule par la trompe](#)
- [L'ovule dans le nuage de cellules du cumulus après l'ovulation](#)

Maturation de l'ovule dans le follicule dominant peu avant l'ovulation

Rétrospection: l'ovocyte primaire

Pendant la **première semaine du cycle**, la **maturation de l'ovule** dans le follicule correspondant est **dépendante** de la progression du processus de maturation des **cellules folliculaires environnantes**. Le follicule le plus en forme ainsi que son ovule deviendront pendant la deuxième semaine du cycle le follicule dominant et plus tard, le follicule de Graaf (fig. 9).

Jusqu'à précisément deux jours avant l'ovulation, la maturation de l'ovule se restreint à l'absorption de substances (**constitution du vitellus**) qui lui sont mises à disposition par les cellules environnantes de la granulosa. Cet échange de substances est effectué par les **prolongements cytoplasmiques** des cellules de la granulosa qui traversent la zone pellucide et qui sont ancrés à la surface de l'ovule (fig. 10). Le **noyau de l'ovocyte** [2n, 4C] lui aussi est «maturé» dans les derniers jours qui précèdent le pic de LH. Il était jusqu'alors arrêté en une prophase extrêmement longue (= **dictyotène**) de la première division de maturation. (L'arrêt date de la période foetale.) Par le biais de la maturation, le noyau entre en **diacinèse** (de la prophase) et se prépare à l'achèvement de la première division de maturation qui est induite par le pic de LH.

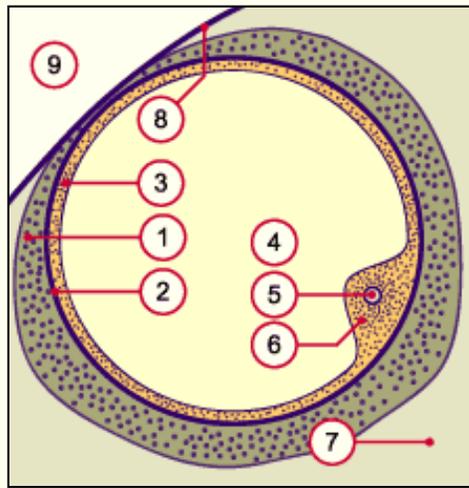
Commentaire

Comment les facteurs hormonaux influencent-ils le follicule dans son processus de maturation? Voir à ce sujet la série d'images [«comment le pic de LH est-il atteint?»](#) (620KB) de la page précédente.

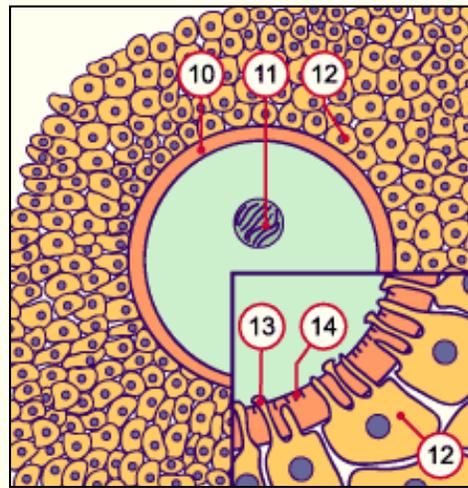
Fig. 9 - Follicule de Graaf

Fig. 10 - Ovocyte primaire

Légende



- 1 Thèque interne et externe
- 2 Membrane basale entre la thèque et la granulosa
- 3 Granulosa
- 4 Antrum folliculaire et liquide folliculaire
- 5 Ovocyte primaire
- 6 Cumulus oophorus
- 7 Tissu ovarien
- 8 Tunica albuginea de l'ovaire
- 9 Cavité abdominale



- 10 Zone pellucide
- 11 Noyau en diacinèse
- 12 Cellules de la granulosa
- 13 Prolongements cellulaires d'une cellule de la granulosa
- 14 Microvilli de la surface de l'ovule

Fig. 9
Représentation d'un follicule de Graaf peu avant le pic de LH: les cellules de la granulosa enveloppent l'ovocyte primaire (5) de manière compacte dans le cumulus oophorus (6). La taille effective de l'ovule correspond à la grandeur d'un point sur le i dans ce texte.

Fig. 10
Coupe à travers le cumulus oophorus avec vue sur l'ovocyte primaire. Les prolongements cellulaires (13) des cellules de la granulosa (12) approvisionnent l'ovocyte primaire à travers la zone pellucide (10). Le noyau est entré en diacinèse.

Suite au pic de LH, les étapes de maturation suivantes sont déclenchées dans l'ovule et à ses alentours.

Dans l'ovule:

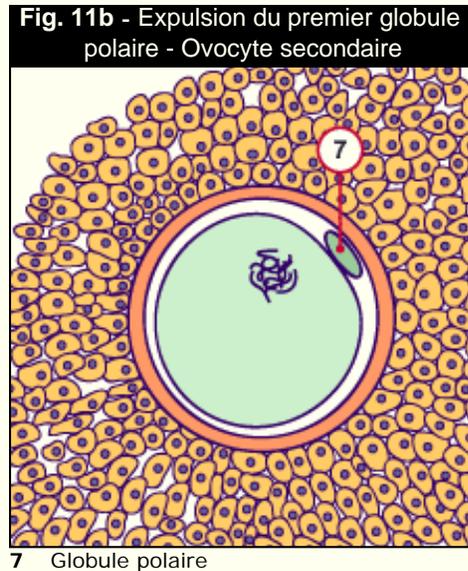
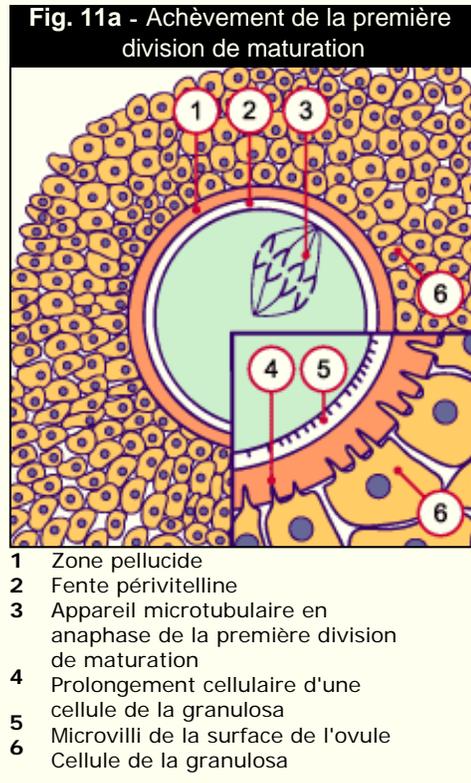
- Achèvement de la **première division de maturation** et production du premier globule polaire. (fig. 11b)
- Initiation de la **deuxième division de maturation** et arrêt en métaphase (fig. 14).
- Maturation du **cytoplasme** de l'ovule par la mise en place de molécules et de structures qui seront utiles au moment de la fécondation.

Dans le follicule:

- Les cellules de la granulosa qui se trouvent juste à l'extérieur de la zone pellucide rétractent de la surface de l'ovule leurs **prolongements cellulaires** formés pour le transport de substances et ceux-ci retournent dans la zone pellucide (fig. 11a).
- La **fente périvitelline** se forme entre l'ovule et la zone pellucide. Elle est nécessaire non seulement pour que l'ovule puisse se diviser, mais aussi pour que le globule polaire créé lors de cette division puisse y être expulsé.
- **Relâchement des cellules de la granulosa** dans la zone du cumulus oophorus et multiplication des cellules de la granulosa.
- Augmentation de la **concentration de progestérone** dans le liquide folliculaire suite à l'augmentation de sa production dans les cellules de la granulosa.

Achèvement de la première division de maturation

L'**appareil microtubulaire** affecté à la séparation des chromosomes est constitué et dirigé de manière radiaire à la surface cellulaire. Le premier globule polaire va apparaître à l'endroit où l'appareil microtubulaire est ancré à la surface de la cellule. Les prolongements cellulaires des cellules de la granulosa ont continué à se rétracter de la surface de l'ovule dans la zone pellucide. Le détachement des derniers prolongements de la surface de l'ovule mène à **la formation d'une fente périvitelline**. L'expulsion du globule polaire a lieu dans cette fente, signe de la fin de la première division de maturation.



Légende

Fig. 11a
Image instantanée 15 heures après le pic de LH. L'appareil microtubulaire nécessaire à la séparation des chromosomes est constitué et dirigé de manière radiaire à la surface cellulaire. Les couches de cellules de la granulosa sont en partie relâchées. L'agrandissement illustre la rétraction des prolongements des cellules de la granulosa et l'apparition de la fente périvitelline.

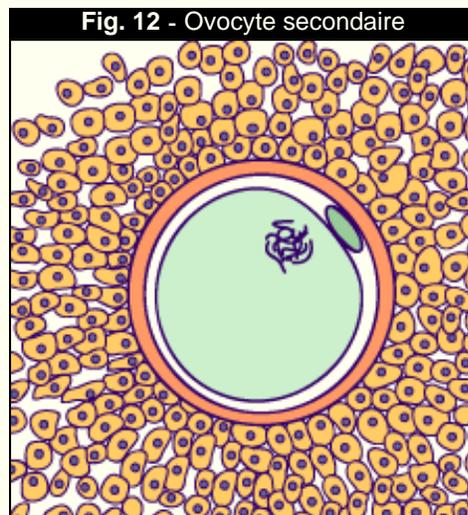
Fig. 11b
Ovocyte secondaire jeune et son globule polaire (18h).

Après la première division de maturation, la désignation de l'ovule change d'ovocyte primaire à ovocyte secondaire.

L'ovocyte secondaire

L'action de la LH sur les **cellules de la granulosa** a pour conséquence que celles-ci commencent à **relâcher leurs attaches cellulaires** et se mettent à se multiplier. Elles produisent désormais de la **progestérone** qu'elles sécrètent dans le liquide folliculaire.

Suite à la séparation des chromosomes homologues durant la première division de maturation, on trouve dès lors dans l'ovocyte primaire un jeu de chromosomes **haploïde** (redupliqué) (1n, 2C). Le premier globule polaire contient également 1n, 2C. Les globules polaires et l'ovule restent liés après la division méiotique par un fin cordon de cytoplasme, comme c'est le cas lors de la formation des gamètes mâles.



Légende

Fig. 12
Image instantanée 21h après le pic de LH: les cellules de la granulosa sont très relâchées.

Quiz

Quiz 01

Le rôle de la progestérone dans le liquide folliculaire

La progestérone dans le liquide folliculaire a, d'après les connaissances actuelles, **deux** fonctions principales:

- Elle stimule la suite de la **maturation de l'ovule**.
- Elle aboutit dans les trompes lors de l'ovulation et conduit à la formation d'un gradient de concentration visant à **attirer les spermatozoïdes**.

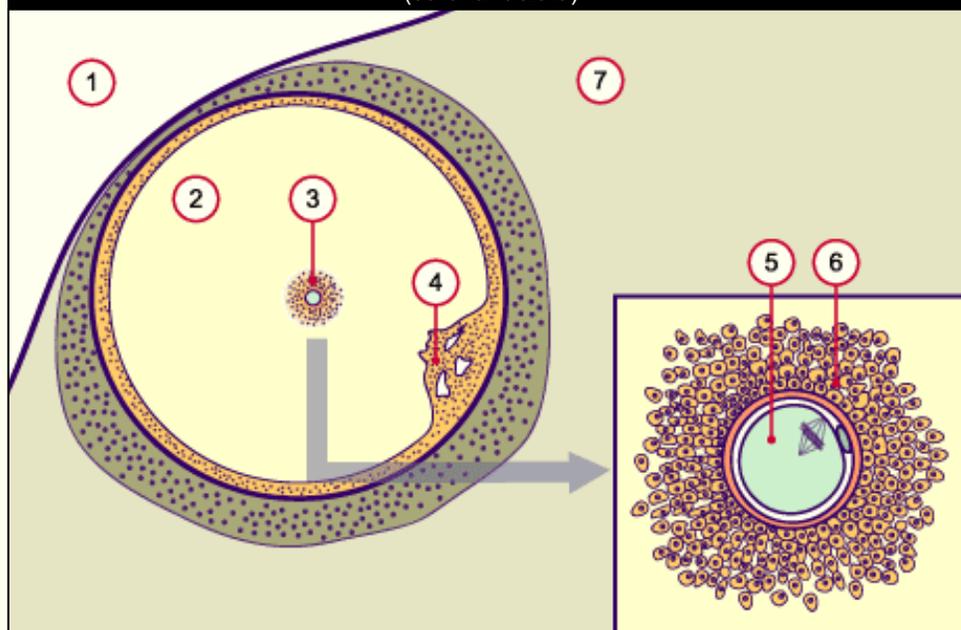
Le follicule avant sa rupture

En dehors des hormones, les cellules de la granulosa sécrètent également de la matrice extracellulaire dans le liquide folliculaire, principalement de l'acide hyaluronique. Le volume de liquide folliculaire augmente fortement avant l'ovulation. L'amas de cellules du cumulus continue à se relâcher. Avec l'ovule qu'il entoure, cet amas se détache ainsi de son support et baigne désormais dans le liquide folliculaire. On appelle corona radiata la couronne de cellules de la granulosa qui forment l'amas de cellule du cumulus et qui entourent l'ovule.

Quiz

Quiz 10

Fig. 13 - Follicule avant sa rupture - Ovule entouré d'un nuage de cellules du cumulus (corona radiata)



- 1 Cavité abdominale
- 2 Antrum folliculi et liquide folliculaire (à contenu élevé en acide hyaluronique et progestérone)
- 3 Nuage de cellules du cumulus et ovule
- 4 Cumulus relâché
- 5 Ovocyte secondaire
- 6 Corona radiata
- 7 Tissu ovarien

Légende

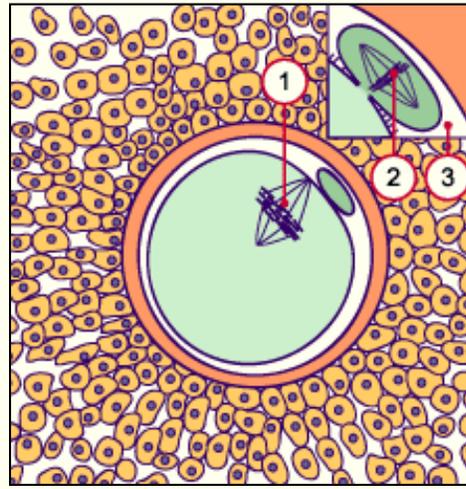
Fig. 13
Image instantanée 35 heures après le pic de LH. L'ovule baigne dans un nuage de cellules du cumulus dans le liquide folliculaire. Le follicule forme une protubérance à la surface de l'ovaire. La taille effective de l'ovule dans le follicule correspond à la grandeur d'un point sur un i dans ce texte.

L'ovule a désormais terminé toutes les étapes de maturation qui sont induites par le pic de LH. Dans le cytoplasme, les préparatifs moléculaires et structuraux pour la période suivant la pénétration du

Fig. 14 - Ovocyte secondaire en métaphase 2

Légende

spermatozoïde sont achevés. Un appareil microtubulaire s'est de nouveau formé (2ème division de maturation) et les chromosomes se trouvent sur le plan équatorial (**plaque métaphasique**). Les microtubules sont alors ancrés à la membrane cellulaire tout près du globule polaire et disposés de manière radiaire par rapport à celle-ci. Les mêmes processus ont également lieu dans le globule polaire. **La deuxième division de maturation se fige dans cette situation.** Le reste des étapes de maturation, à savoir la reprise de la deuxième division de maturation, engendrant l'ovocyte secondaire n'a lieu que lorsque le spermatozoïde entre dans l'ovule.



- 1 Appareil microtubulaire et chromosomes formant la plaque métaphasique
- 2 Appareil microtubulaire arrêté dans le globule polaire
- 3 Fente périvitelline

Fig. 14

Ovocyte secondaire: ovule et globules polaires arrêtés en métaphase de la deuxième division de maturation (sur l'agrandissement on distingue le cordon cytoplasmique subsistant). Les globules polaires dégèrent avec le temps.

Le follicule et l'ovule sont désormais prêts pour l'ovulation qui a lieu environ 38 heures après le pic de LH.

[Page précédente](#) | [Page suivante](#)



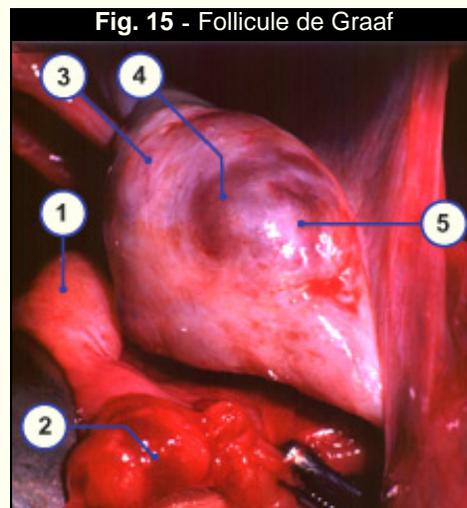
4.1 L'ovulation

- Le tractus génital féminin
- L'ovaire et le follicule dominant
- Maturation de l'ovule dans le follicule dominant peu avant l'ovulation
 - Rétrospection: l'ovocyte primaire
 - Achèvement de la première division de maturation
 - L'ovocyte secondaire
 - Le rôle de la progestérone dans le liquide folliculaire
 - Le follicule mûr
- L'ovulation
- L'interception de l'ovule par la trompe
- L'ovule dans le nuage de cellules du cumulus après l'ovulation

L'ovulation en elle-même

L'ovulation, à savoir la sortie de l'ovocyte secondaire hors du follicule, dépend de la rupture de la paroi du follicule et de la paroi de l'ovaire.

Quelques heures après le pic de LH et FSH on observe un vascularisation renforcée et une modification oedémateuse des alentours du follicule dominant. Il migre vers la surface de l'ovaire où il forme une protubérance (fig. 15).



- 1 Trompe
- 2 Fimbriae
- 3 Ovaire
- 4 Follicule
- 5 Stigma

Légende

Fig. 15
Le follicule de Graaf forme une protubérance à la surface de l'ovaire. Constitution débutante d'un stigma (zone blanche dépourvue de vaisseaux).

Vidéo

Enregistrement [vidéo](#) d'une laparoscopie d'un ovaire montrant un follicule avant sa rupture. (190kB)
© PD. Dr. med. Michel Müller, Frauenklinik, Inselspital Bern

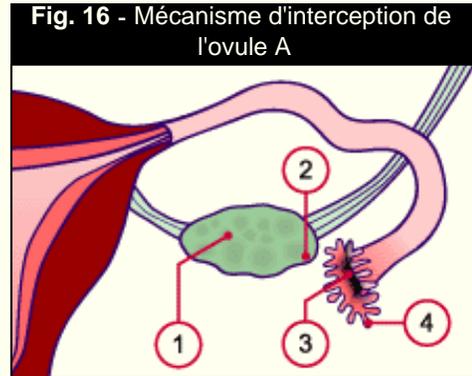
L'acide hyaluronique sécrété par les cellules de la granulosa a la capacité de lier l'eau: plus la production d'acide hyaluronique est importante, plus l'eau s'accumule. Ainsi **l'augmentation rapide de la quantité de liquide folliculaire** provoque une **augmentation drastique de la tension de la paroi**. Ce processus, en coopération avec l'action d'enzymes destructrices et lytiques, aboutit finalement à la rupture du follicule en un endroit bien précis. Un point blanc (compression des vaisseaux) appelé **stigma** se forme à la surface de l'ovaire, au-dessus du follicule juste avant sa rupture.

HAUT ▲

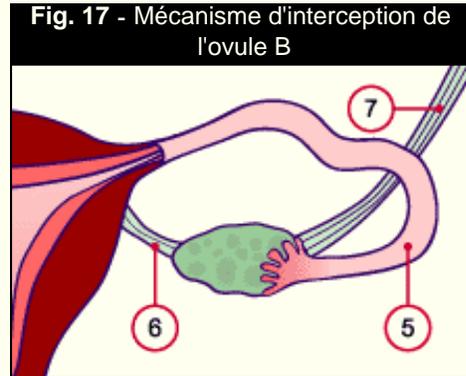
L'interception de l'ovule par la trompe

Entre-temps, les fimbriae de l'ampoule tubaire se sont disposées autour du stigma de l'ovaire et assurent l'étanchéité avec cet endroit.

L'ovaire peut tourner le follicule prêt à se rompre en direction de la trompe par rotation autour de l'axe du ligamentum suspensorium ovarii et du ligamentum ovarii proprium.



- 1 Ovaire
- 2 Follicule avant sa rupture
- 3 Ampoule tubaire
- 4 Fimbriae



- 5 Trompe
- 6 Ligamentum ovarii proprium
- 7 Ligamentum suspensorium ovarii

Imbibée d'acide hyaluronique, l'amas de cellules du cumulus qui abrite l'ovule en son sein parvient dans la trompe avec le liquide folliculaire visqueux lors de la rupture de la surface.

Fig. 18 - Mécanisme d'interception de l'ovule C

Quiz

Quiz 14

Légende

Fig. 16
Mécanisme d'interception de l'ovule: situation initiale

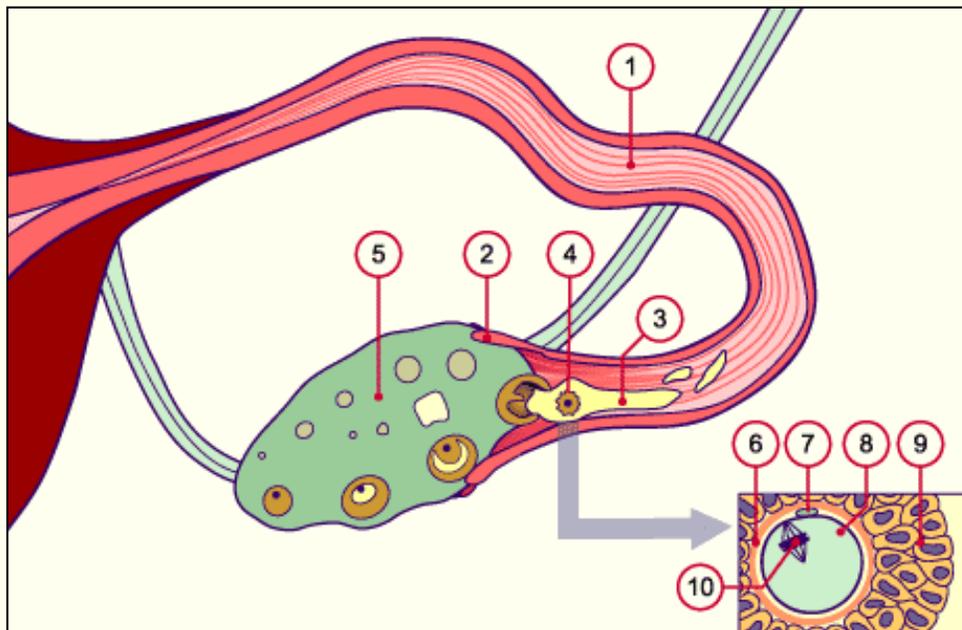
Fig. 17
Mécanisme d'interception de l'ovule: les fimbriae adhèrent.

Vidéo

Enregistrement d'une [laparoscopie](#) de l'utérus, des trompes et des ovaires. (Vidéo: 620KB !)
© PD. Dr. med. Michel Müller, Frauenklinik Inselspital Bern

Légende

Fig. 18
Mécanisme d'interception de l'ovule: à travers les fimbriae et la trompe, on voit l'ovule et le liquide folliculaire dans la trompe.



- 1 Trompe vue en coupe et sa muqueuse plissée
- 2 Fimbriae adhérant fortement
- 3 Liquide folliculaire qui a coulé du follicule
- 4 Ovocyte secondaire et corona radiata
- 5 Ovaire avec follicules atrésiques à différents stades
- 6 Zone pellucide
- 7 Premier globule polaire
- 8 Ovocyte secondaire
- 9 Cellules de la corona radiata
- 10 Appareil microtubulaire atrésique

L'écoulement du contenu du follicule est un **mouvement lent** qui est accompagné de processus de coagulation. Cette lente expulsion de l'ovule hors du follicule rend intelligible le fait que l'ampoule tubaire de la trompe a bien assez de temps pour recouvrir le point d'ovulation et réceptionner le complexe ovocyte-cumulus ainsi que le volume de liquide folliculaire.

L'ovule dans le nuage de cellules du cumulus oophorus après l'ovulation

Dans la trompe, l'ovocyte secondaire est entouré de la corona radiata et d'amas dispersés de cellules du cumulus (le nuage de cellules du cumulus). Le liquide qui se trouve entre ces amas est visqueux et filamenteux (conséquence de l'acide hyaluronique) et il contient beaucoup de progestérone (pour attirer les spermatozoïdes).

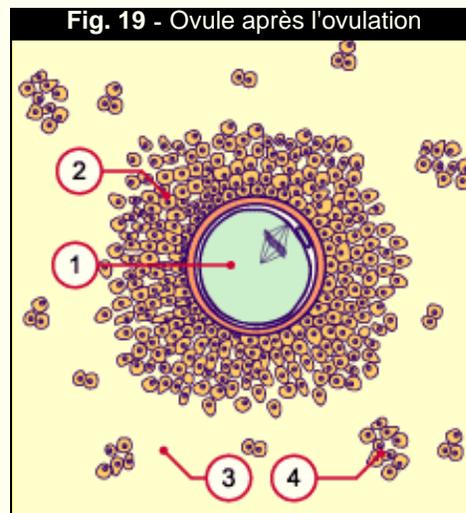


Fig. 19 - Ovule après l'ovulation

Quiz

Quiz 15

Légende

Fig. 19
Représentation schématique de l'ovule après l'ovulation.

- 1 Ovocyte secondaire (arrêtée en métaphase de la deuxième division de maturation)
 - 2 Corona radiata
 - 3 Liquide folliculaire et matrice acide hyaluronique
 - 4 Cellules du cumulus en amas isolés
-

Vidéo

Dans cette [vidéo](#) (332kB), on voit le nuage de cellules du cumulus, l'ovule et la corona radiata et l'action de l'acide hyaluronique in vivo. Enregistré avec l'aimable soutien du Dr. A. Senn, Lausanne und S. von Wyl, Bern

Commentaire

L'ovule «attend» désormais dans la trompe la fécondation par un spermatozoïde. La matrice d'acide hyaluronique le retient «prisonnier» dans la trompe. Après plusieurs heures, la matrice se fluidifie de plus en plus et l'ovule est transporté en direction de l'utérus par le battement des cils des cellules épithéliales de la trompe. Comme l'ovule ne peut être fécondé que pendant quelques heures après l'ovulation, la fécondation doit avoir lieu presque inévitablement dans la partie ampolaire de la trompe.

[Début du chapitre](#) | [Page précédente](#) | [Chapitre suivant](#)



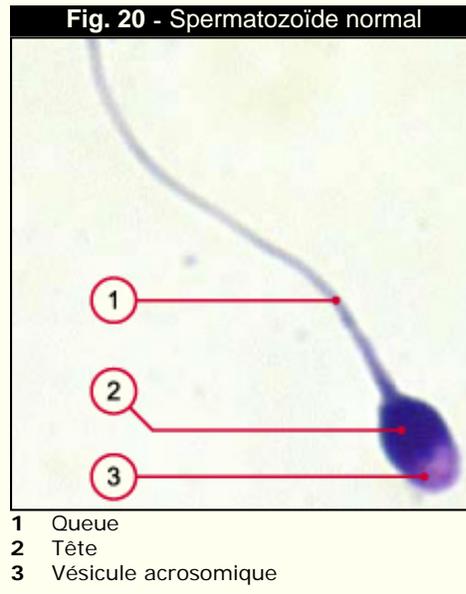
4.2 Mise en place des spermatozoïdes

- **Étapes de maturation des spermatozoïdes**
- Processus dans le tractus génital masculin
 - Processus dans le testicule (testis)
 - Processus dans l'épididyme (epididymis)
- L'éjaculation et l'éjaculat
 - Les glandes qui participent à l'éjaculation
 - Le liquide séminal
 - Le spermatozoïde

Étapes de maturation des spermatozoïdes

Il y a d'une part des parallélismes entre la mise en place des spermatozoïdes et la maturation de l'ovule, mais il y a aussi des différences significatives. Pour qu'il soit prêt à recevoir un spermatozoïde, une suite d'étape de maturation est nécessaire à l'ovule. Celle-ci se déroule pendant une période définie.

Le spermatozoïde doit lui aussi subir plusieurs **étapes de maturation chronologiquement et géographiquement séparées** pour pouvoir pénétrer l'ovule. Pour l'ovule, les étapes de maturation concernent le stockage du vitellus et la progression des division de maturation; pour le spermatozoïde, il s'agit d'étapes de maturation fonctionnelle qui concernent avant tout l'**aptitude à la motilité** et la **capacité de pénétration** à travers l'enveloppe de l'ovule. Les spermatozoïdes sont **activés en plusieurs étapes**.



Quiz

Quiz 19

Légende

Fig. 20
Spermatozoïde normal (tête et queue). On voit une zone plus claire dans la tête, c'est l'acrosome. L'implantation de la queue, une partie légèrement plus large, contient les mitochondries.

Les spermatozoïdes subissent une première étape de maturation lors de leur «période de stockage» dans l'**épididyme**. Une deuxième étape a lieu durant l'**éjaculation**, elle conduit à une **activation de la motilité**. La troisième étape a lieu durant le **séjour** dans le tractus génital féminin, en particulier lors de l'ascension vers l'ovaire. Les spermatozoïdes y subissent la **capacitation**. Pour finir, la dernière étape de maturation, la **réaction acrosomique**, a lieu dans les **environs directs de l'ovule**.

Les quatre étapes suivantes entraînent la maturation et l'activation du spermatozoïde:

Stockage dans l'épididyme	➔	Maturation
Ejaculation	➔	Activation
Ascension vers l'ovaire	➔	Capacitation
Aux environs de l'ovule	➔	Réaction acrosomique

La succession décrite ci-dessus, de la maturation dans l'épididyme jusqu'à la réaction acrosomique aux alentours de l'ovule, est une condition préalable pour que les spermatozoïdes soient capables de féconder de manière optimale in vivo. Seul un spermatozoïde ayant subi une réaction acrosomique est en mesure de se lier à l'ovule. ([Commentaire approfondissant le sujet](#)).

[Liste des chapitres](#) | [Page suivante](#)



4.2 Mise en place des spermatozoïdes

- Etapes de maturation des spermatozoïdes
- Processus dans le tractus génital masculin
 - Processus dans le testicule (testis)
 - Processus dans l'épididyme (epididymis)
- L'éjaculation et l'éjaculat
 - Les glandes qui participent à l'éjaculation
 - Le liquide séminal
 - Le spermatozoïde

Processus dans le tractus génital masculin

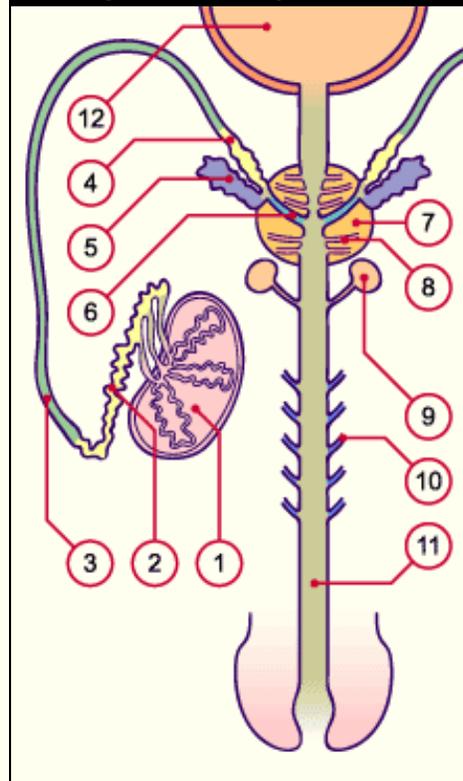
La mise en place des spermatozoïdes a lieu dans le tractus génital masculin. La figure 21 donne une vue d'ensemble sur le cheminement des spermatozoïdes lors de l'éjaculation.

Quiz

Quiz 07

- 1 Testicule (paire)
- 2 Ductus epididymidis / canal épидидymaire (paire)
- 3 Ductus deferens/Vas deferens/canal déférent (paire)
- 4 Ampulla ductus deferentis (paire)
- 5 Vesicula seminalis (paire)
- 6 Ductus ejaculatorius (paire)
- 7 Prostata (unique)
- 8 Canaux excréteurs de la prostate (multiples)
- 9 Glandulae bulbourethrales (glandes de Cowper) (paire)
- 10 Glandulae urethrales (glandes de Littre) (multiples)
- 11 Urètre (unique)
- 12 Vessie (unique)

Fig. 21 - Tractus génital mâle



Légende

Fig. 21
Testicule (= lieu de formation des spermatozoïdes), épидидyme (= lieu de stockage des spermatozoïdes). La voie d'éjaculation est constituée par les deux canaux déférents (3), les deux ductus ejaculatorii (6) et l'urètre (11). C'est le passage à travers la prostate vers l'urètre que l'on appelle ductus ejaculatorius. Tout au long de la voie d'éjaculation, différentes glandes (4 + 5 + 7 + 9 + 10) contribuent à l'éjaculat par leurs sécrétions.

Processus qui ont lieu dans le testicule (testis)

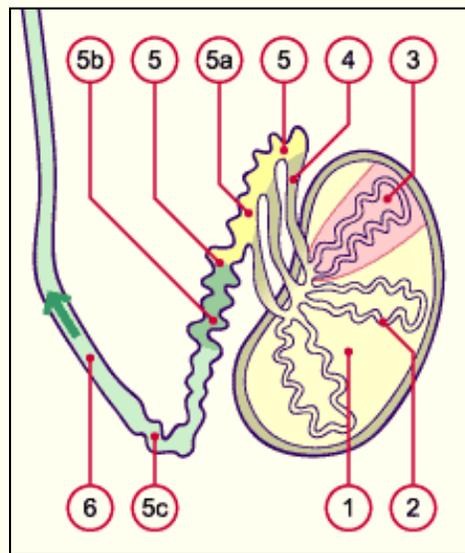
Le testicule est le lieu de production des spermatozoïdes ; ceux-ci se forment à

Fig. 22 - Testicule et épидидyme

Légende

partir des spermatogonies par division mitotique et méiotique dans les tubes séminifères contournés (voir spermatogénèse).

Les 600 à 800 tubuli seminiferi contorti constituent la plus grande partie du parenchyme du testicule ; celui-ci est compartimenté en plus de 300 lobules incomplètement septés. Comme un seul tubulus seminiferus contortus mesure environ 50 à 60cm, le calcul nous apprend qu'un testicule abrite une longueur totale d'environ 300m de canalicules testiculaires. En outre, on trouve dans le tissu interstitiel des cellules interstitielles de Leydig qui produisent une hormone (la testostérone).



- 1 Testicule
- 2 Tubuli seminiferi contorti
- 3 Lobule
- 4 Canalicules efférents
- 5 Ductus epididymidis / canal épидидymaire
- 5a Caput epididymidis
- 5b Corpus epididymidis
- 5c Cauda epididymidis
- 6 Ductus deferens / canal déférent

Fig. 22
Les très sinueux tubuli seminiferi contorti sont organisés en lobules dans le testicule. L'**épididyme** est constitué d'un **seul canal** très sinueux de 5 à 6m, le ductus epididymidis. Dans l'épididyme, on distingue la **tête** (caput) - dans cette région les 10 à 20 **Canalicules efférents** qui proviennent du testicule s'abouchent au ductus epididymidis - le **corps** (corpus) et la **queue** (cauda).

Processus qui ont lieu dans l'épididyme (epididymis)

Après leur production dans les tubuli seminiferi contorti du testicule, les spermatozoïdes s'accumulent et sont stockés dans le ductus epididymidis. Le pool de spermatozoïdes prêts à l'éjaculation se trouve dans la partie caudale du canal épидидymaire ; celui-ci se jète immédiatement dans le canal déférent. Il faut **en moyenne 14 jours** aux spermatozoïdes pour parcourir d'un bout à l'autre les 5 à 6m de canal épидидymaire. Les spermatozoïdes subissent différentes **étapes de maturation morphologique et fonctionnelle** durant ces deux semaines:

Etapes de maturation des spermatozoïdes dans l'épididyme:

- L'**ADN continue à être condensé** par l'inclusion de nouvelles protéines dans le noyau. Ainsi la tête du spermatozoïde devient plus petite et plus compacte. C'est une étape importante pour une décondensation future correcte de l'ADN paternel dans l'ovule maternel.
- Le **cytoplasme** déjà clairsemé **diminue encore de volume** ; les spermatozoïdes deviennent ainsi plus élancés.
- L'**aptitude à la motilité** est obtenue, mais elle est aussitôt inhibée par le milieu.
- La structure de la **membrane plasmique change**. Ceci a des conséquences sur la motilité, l'aptitude à la capacitation et l'aptitude à la réaction acrosomique.

De ce qui précède on peut conclure:

Seuls les spermatozoïdes qui ont traversé les épидидymes sont assez matures pour posséder l'aptitude à la motilité.



4.2 Mise en place des spermatozoïdes

- Etapes de maturation des spermatozoïdes
- Processus dans le tractus génital masculin
 - Processus dans le testicule (testis)
 - Processus dans l'épididyme (epididymis)
- **L'éjaculation et l'éjaculat**
 - Les glandes qui participent à l'éjaculation
 - Le liquide séminal
 - Le spermatozoïde

L'éjaculation et l'éjaculat

L'éjaculation est provoquée par des **contractions rythmiques des canaux déférents** et des contractions de soutien de la **musculature du plancher pelvien** qui subviennent toutes par vagues.

Le sens et le but de l'éjaculation pendant l'acte sexuel est de déposer dans la partie postérieure du vagin, près de la portio (l'entrée de l'utérus), les spermatozoïdes qui sont stockés dans la cauda de l'épididyme et qui sont pour la plupart immobiles.

Un grand volume de sécrétions provenant de différentes glandes s'ajoute aux spermatozoïdes lors de leur passage dans le canal déférent et l'urètre. Cette partie liquide de l'éjaculat constitue le **liquide séminal**.

En conséquence, l'éjaculat est composé d'un maximum de 10% de spermatozoïdes et de 90% de liquide séminal pour un volume total de 2 à 6ml.

Les glandes qui participent à l'éjaculation

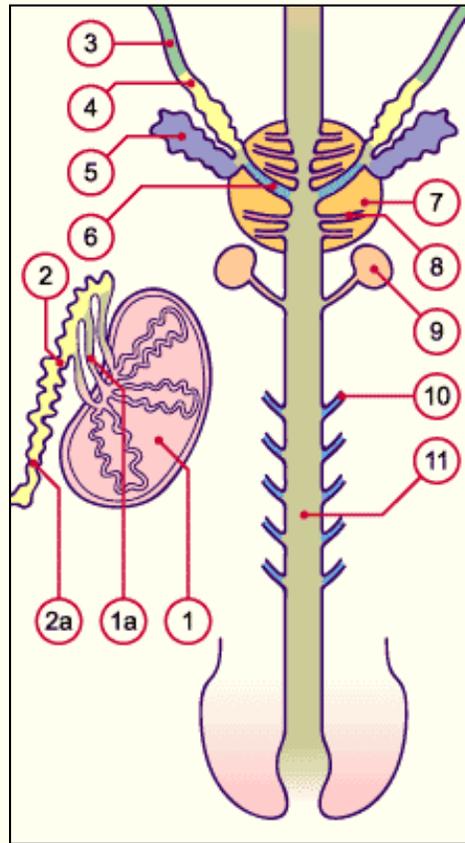
La figure 23 montre les glandes qui participent à la composition du liquide séminal. En dehors des sécrétions de l'**épididyme** (manteau liquidien pour les spermatozoïdes), ce sont les sécrétions de la **vésicule séminale**, de la **prostate** et des glandes accessoires (**Cowper** et **Littre**) qui le constituent. Ces sécrétions seront mélangées à l'éjaculat dans un ordre chronologique précis.

Fig. 21 - Tractus génital mâle

Légende

Fig. 23
Les glandes sexuelles qui participent à l'éjaculat sont indiquées et mises en évidence en couleurs. Leurs sécrétions se mélangent au liquide séminal; celui-ci constitue 90% de l'éjaculat. ([Popup avec image interactive; 138 Kb](#)).

- 1 Testicule
- 1a Canalicules efférents
- 2 Ductus epididymidis
- 2a Cauda epididymidis
- 3 Ductus deferens / canal déférent
- 4 Ampulla ductus deferens
- 5 Vesicula seminalis / vésicule séminale
- 6 Ductus ejaculatorius
- 7 Prostate
- 8 Canaux excréteurs de la prostate
- 9 Glandulae bulbourethrales (glandes de Cowper)
- 10 Glandulae urethrales (glandes de Littre)
- 11 Urethra / Urètre



L'éjaculation représente la **deuxième étape de maturation** des spermatozoïdes. Les aptitudes des spermatozoïdes à la motilité sont subitement activées à cette occasion. Le mécanisme exact de cette activation reste en partie inexplicé. Les facteurs suivants interviennent quoiqu'il en soit:

1. La stimulation **mécanique** lors de l'éjaculation
2. L'ajout de sécrétions glandulaires qui
 - a) **diluent** le concentré de spermatozoïdes
 - b) participent à l'activation **chimique**.

La conséquence sur les spermatozoïdes du jeu de la stimulation mécanique due à l'éjaculation et de l'action chimique due aux sécrétions glandulaires correspond à une activation physiologique des spermatozoïdes qui sont désormais en état de subir la capacitation imminente et la réaction acrosomique, toutes deux étant des conditions préalables à l'approche et à l'attachement du spermatozoïde à l'ovule.

Répétition

Maturation et activation du spermatozoïde

[Page précédente](#) | [Page suivante](#)



4.2 Mise en place des spermatozoïdes

- Etapes de maturation des spermatozoïdes
- Processus dans le tractus génital masculin
 - Processus dans le testicule (testis)
 - Processus dans l'épididyme (epididymis)
- L'éjaculation et l'éjaculat
 - Les glandes qui participent à l'éjaculation
 - Le liquide séminal
 - Le spermatozoïde

Le liquide séminal

Les fonctions chimiques de l'éjaculat sont assumées par le liquide séminal. Dans un délai d'une minute, le mélange des différentes fractions glandulaires mène à une coagulation de l'éjaculat dans la partie postérieure du vagin. De cette manière, un dépôt de spermatozoïdes est constitué dans le vagin. L'éjaculat coagulé se liquéfie à nouveau après 15 à 20min.

En raison de sa légère alcalinité (tampon alcalin faible), le liquide séminal est également responsable de la création d'un milieu favorable pour les spermatozoïdes dans l'environnement vaginal qui est normalement acide.

Le liquide séminal doit remplir les fonctions suivantes:

- Création d'un milieu de type tampon alcalin dans le vagin
- Coagulation de l'éjaculat et constitution d'un dépôt de spermatozoïdes dans le vagin
- Stockage d'inhibiteurs de la capacitation pour les spermatozoïdes
- Activation et amélioration de la motilité des spermatozoïdes
- Mise à disposition de nutriments pour les spermatozoïdes
- Liquéfaction de l'éjaculat après 15 à 20min

La plus grande contribution au liquide séminal est apportée par les vésicules séminales.

Les sécrétions de la vésicule séminale contiennent différentes protéines ainsi que du fructose qui sont des fournisseurs d'énergie pour la motilité des spermatozoïdes. Ces sécrétions sont aussi en grande partie responsables de la création du tampon alcalin. Les sécrétions prostatiques contiennent des protéases qui servent à la liquéfaction de l'éjaculat et de la spermine, qui stimule la motilité et la suite de la maturation des spermatozoïdes.

La composition exacte du liquide séminal est détaillée dans le tableau suivant.

Composition du liquide séminal	
Quantité	2 à 6ml
Valeur du pH	7 à 8 (tampon légèrement alcalin)

EMBRYOLOGIE HUMAINE Embryogénèse

MODULE 4

LISTE CHAPITRES

OBJECTIFS

QUIZ

RÉSUMÉ

BIBLIOGRAPHIE

◀ PAGES ▶

EMBRYO GÉNÈSE

ORGANO GÉNÈSE

ACCUEIL

ZONE D'ÉCHANGES

RECHERCHER

AIDE

HAUT ▲

Sécrétions des vésicules séminales	75% du volume, sécrétion alcaline et riche en fructose (1,5 à 6,5mg/ml), phosphorylcholine, acide ascorbique
Sécrétions prostatique	20 à 25% du volume, amines biogènes (spermidine, spermine), acide citrique, cholestérol, phospholipides, protéases affectées à la liquéfaction de l'éjaculat (fibrinolysine, fibrinogénase)
Autres composants	Tampon de phosphate et de bicarbonate, prostaglandine, hyaluronidase, déchets cellulaires provenant des cellules de Sertoli, cellules à des stades préliminaires de la spermatogénèse, lymphocytes.

[Page précédente](#) | [Page suivante](#)

-



4.2 Mise en place des spermatozoïdes

- Etapes de maturation des spermatozoïdes
- Processus dans le tractus génital masculin
 - Processus dans le testicule (testis)
 - Processus dans l'épididyme (epididymis)
- L'éjaculation et l'éjaculat
 - Les glandes qui participent à l'éjaculation
 - Le liquide séminal
 - Le spermatozoïde

Le spermatozoïde

On distingue chez le spermatozoïde:

- la tête
- le collet
- la pièce intermédiaire
- la pièce principale
- la pièce terminale

La tête contient le noyau condensé, qui est recouvert en avant par l'acrosome, une vésicule en forme de chape. Des enzymes hydrolytiques sont stockées dans cette vésicule; elles assument un rôle prépondérant lors de la pénétration de l'enveloppe protectrice de l'ovule (corona radiata et zone pellucide).

Ainsi l'acrosome occupe environ 40% du volume de la tête.

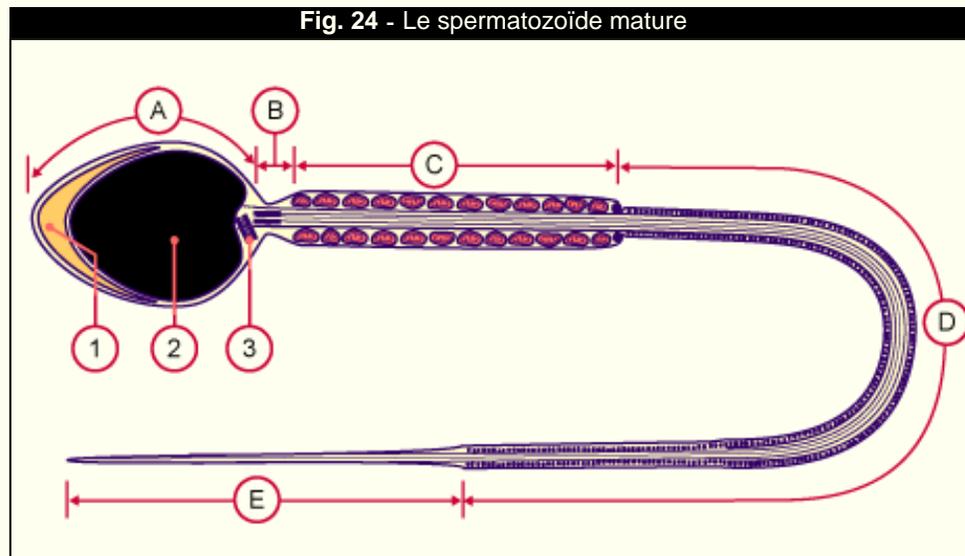


Fig. 24 - Le spermatozoïde mature

- 1 Acrosome
- 2 Noyau
- 3 Centriole proximal
- A Tête
- B Collet
- C Pièce intermédiaire
- D Pièce principale
- E Pièce terminale

Légende

Fig. 24

Le spermatozoïde mature est élancé. Les mitochondries sont disposées dans la pièce intermédiaire en anneau autour des filaments extérieurs. L'ADN du noyau est condensé au maximum.

Pour en savoir plus

Plus d'informations au sujet de la [structure du spermatozoïde](#)

Même dans un éjaculat normal, il y a de nombreux spermatozoïdes mal formés. On trouve des spermatozoïdes ayant les anomalies suivantes:

- Forme de la tête divergente
 - Trop petite
 - Trop étroite
 - Piriforme = tête en forme de poire
 - Deux ou trois têtes
- Anomalies de la chape acrosomique
- Deux queues

Pour en savoir plus

Plus d'informations sur la [quantité minimale de spermatozoïdes](#)

[Début du chapitre](#) | [Page précédente](#) | **[Chapitre suivant](#)**



4.3 Le parcours des spermatozoïdes jusqu'à l'ovule - la capacitation

- **Survol**
- Le passage du col (cervix)
- La capacitation des spermatozoïdes

Survol

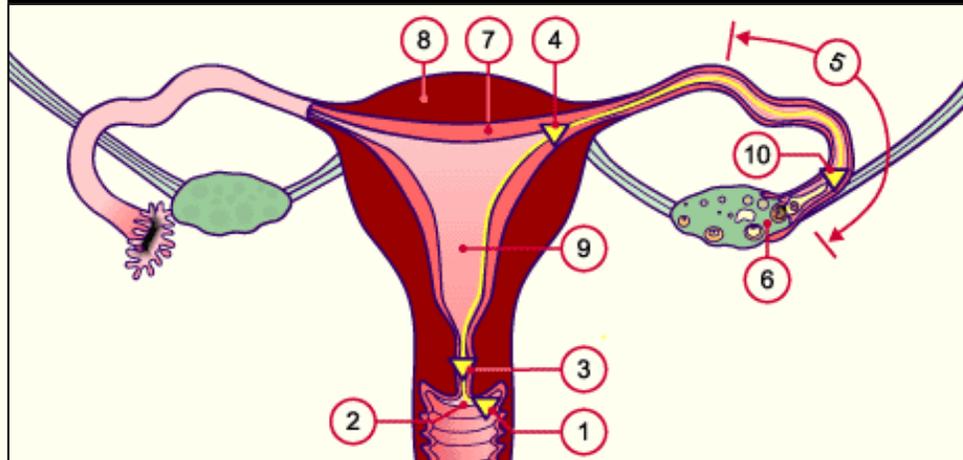
Quiz

Quiz 05

Après l'éjaculation, les spermatozoïdes se trouvent en grand nombre dans le fornix vaginal, près de la portion vaginale du col utérin («l'entrée» de l'utérus). Le chemin que les spermatozoïdes doivent escalader depuis la portion vaginale de l'utérus jusqu'à ce qu'ils atteignent l'ovule dans la partie ampoulaire de la trompe mesure de 13 à 15cm. En route, les spermatozoïdes subissent un processus de maturation supplémentaire, la **capacitation**.

Les mécanismes qui régissent le cheminement des spermatozoïdes vers l'ovule n'ont pas été étudiés sous toutes leurs facettes. Les spermatozoïdes doivent être très nombreux pour **qu'une quantité suffisante** se trouve **dans l'ampoule au moment voulu**.

Fig. 25 - Tractus génital féminin? cheminement des spermatozoïdes



- 1 Fornix vaginal
- 2 Portion vaginale du col utérin (portio vaginalis)
- 3 Canal du col utérin (cervix uteri)
- 4 Angle tubaire
- 5 Partie ampoulaire de la trompe (ampoule)
- 6 Ovaire et franges (fimbriae) adhérentes
- 7 Endomètre
- 8 Myomètre
- 9 Cavité utérine (cavum uteri)
- 10 Lieu de rencontre entre les spermatozoïdes et l'ovule

Légende

Fig. 25

Le chemin qu'arpentent les spermatozoïdes est mis en évidence en couleur. Les points désignent les endroits le long du chemin où les spermatozoïdes s'arrêtent et attendent probablement pendant des périodes relativement longues. Ces endroits sont: les cryptes du col, les environs de l'angle tubaire et l'ampoule de la trompe.

Parmi les quelques 200 millions de spermatozoïdes éjaculés, **seules quelques centaines** parcourent le long chemin qui passe par le col de l'utérus (cervix), l'utérus, l'angle tubaire et la trompe et qui aboutit dans l'ampoule de la trompe où ils **atteignent l'ovule**.

Des groupes entiers de spermatozoïdes peuvent s'arrêter en chemin et entrer dans une phase de moindre activité. C'est pourquoi une partie des spermatozoïdes conserve son aptitude à féconder jusqu'à quatre jours.

[Liste des chapitres](#) | [Page suivante](#)

-



4.3 Le parcours des spermatozoïdes jusqu'à l'ovule - la capacitation

- [Survol](#)
- **Le passage du col (cervix)**
- [La capacitation des spermatozoïdes](#)

Le passage du col (cervix)

Quiz

[Quiz 16](#)

Après l'éjaculation, les spermatozoïdes sont entourés de liquide séminal ; c'est un tampon légèrement alcalin qui les protège du milieu vaginal acide. Malgré cela une grande partie des spermatozoïdes meure à cet endroit. Les survivants sont **accueillis par le col, un milieu alcalin** et approprié aux spermatozoïdes.

Au moment de l'ovulation, les propriétés du col et du mucus du col se modifient. Ainsi l'environnement «inamical aux spermatozoïdes» est remplacé par un environnement «amical aux spermatozoïdes».

Avant l'ovulation (fig. 26), le canal du col utérin est **étroit** et le mucus du col est **très ramifié** (il constitue ce qu'on appelle le **bouchon du col**), ce qui empêche le passage des spermatozoïdes.

Au moment de l'ovulation (fig. 27), le col devient plus lâche et le canal s'**élargit**. Les plis de la muqueuse (fig. 28) s'approfondissent et forment des cryptes encaissées et ramifiées ; il y a de **nombreuses glandes du col**.

Sous l'influence de l'augmentation des oestrogènes qui a lieu peu avant l'ovulation, le **mucus du col est restructuré**. Le bouchon de mucus devient ainsi **perméable aux spermatozoïdes**.

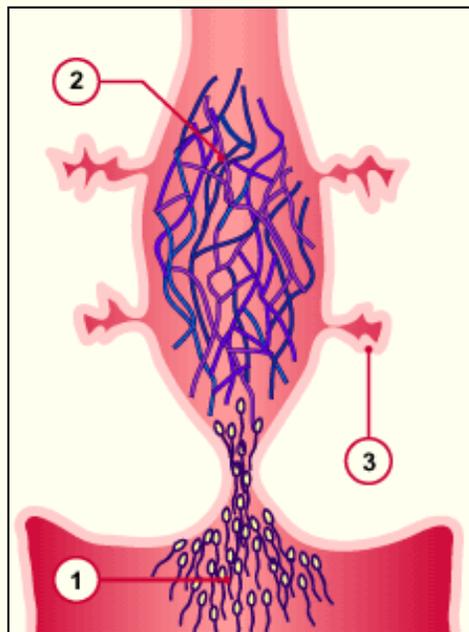
Fig. 26 - Canal du col avant l'ovulation

Fig. 27 - Canal du col pendant l'ovulation

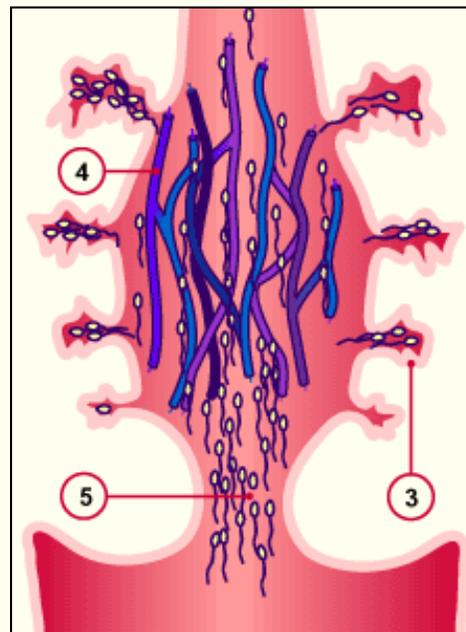
Légende

Fig. 26 ; Fig. 27
Avant l'ovulation, le canal du col est étroit et ne contient que quelques petites glandes ; le mucus est très ramifié. Les spermatozoïdes «bouchonnent» à l'orifice de la portion vaginale du col. Lors de l'ovulation, le canal du col s'élargit et se peuple de nombreuses glandes très ramifiées ; les mailles du mucus s'agrandissent et des canaux s'y forment. Les spermatozoïdes peuvent passer. Des dessins semblables ont déjà été faits en 1953

HAUT ▲



- 1 Spermatozoïdes
- 2 Filaments du mucus (fortement ramifiés)
- 3 Crypte d'une glande du col



- 4 Filaments de mucus (mailles larges)
- 5 Orifice de la portion vaginale du col

par Hempel qui décrivait les modifications dans la structure du mucus du col aux abords de la période d'ovulation.

Suite à la transformation du bouchon du col, le mucus devient **plus liquide**. De véritables **canaux** s'y forment ; ceux-ci sont **recouverts de molécules chémoattractives** et les spermatozoïdes peuvent facilement passer le col en les empruntant.

De plus le mucus a un **pH alcalin** au moment de l'ovulation, ce qui convient mieux aux spermatozoïdes par rapport aux sécrétions vaginales acides.

Le passage actif du col est d'une grande signification quant à la sélection des spermatozoïdes. **Le bouchon muqueux du col fait office de filtre** ; les spermatozoïdes atypiques y restent accrochés. Leur ascension est empêchée par un effet hydrodynamique. Ce mécanisme simple garantit que seuls les spermatozoïdes normalement formés et bien motiles puissent franchir la barrière muqueuse du col.

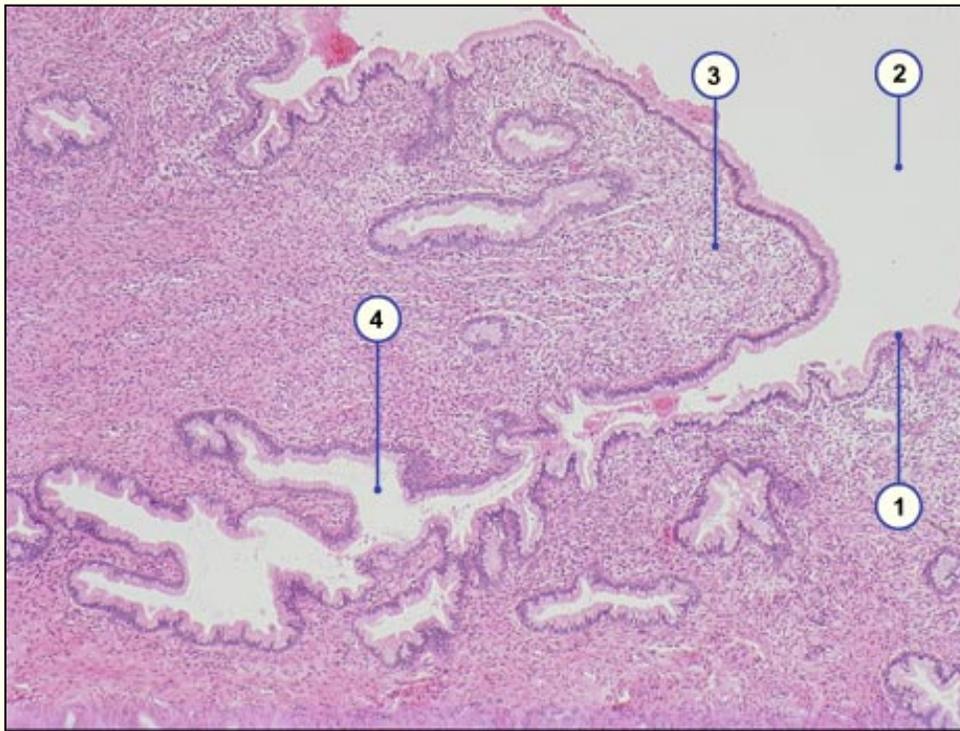
Commentaire

Lors de l'insémination artificielle, on reproduit ce processus de filtration et sélection des spermatozoïdes par centrifugation dans du gel de percoll.

Fig. 28 - Coupe histologique du canal du col utérin

Légende

Fig. 28
Les cellules épithéliales qui recouvrent le canal du col produisent du mucus. Les plis de la muqueuse forment des cryptes fortement ramifiées dans lesquelles le mucus s'accumule. C'est pourquoi on les appelle aussi glandes du col. Au moment de l'ovulation, elles s'élargissent et s'approfondissent ;



elles peuvent immobiliser des spermatozoïdes pendant plusieurs jours.

- 1 Epithélium (qui produit du mucus)
- 2 Canal du col utérin
- 3 Plis de la muqueuse
- 4 Cryptes (glandes du col à proprement parler)

[Page précédente](#) | [Page suivante](#)



4.3 Le parcours des spermatozoïdes jusqu'à l'ovule - la capacitation

- [Survol](#)
- [Le passage du col \(cervix\)](#)
- **La capacitation des spermatozoïdes**

La capacitation des spermatozoïdes

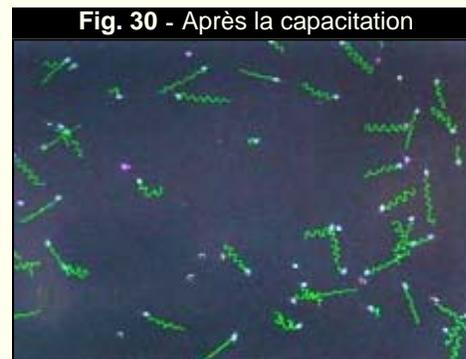
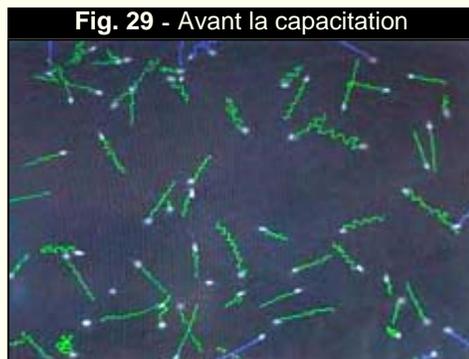
Après leur éjaculation dans le tractus génital féminin, les spermatozoïdes subissent quelques modifications physiologiques essentielles avant qu'ils puissent finalement pénétrer la membrane cellulaire de l'ovule.

La **capacitation** est la première modification de cette cascade. Elle est accomplie par les spermatozoïdes durant l'ascension du tractus génital (en contact avec les sécrétions de celui-ci). Il s'agit d'un processus de maturation physiologique de la membrane des spermatozoïdes; c'est une condition préalable à l'étape suivante, la réaction acrosomique.

La **capacitation est une maturation fonctionnelle du spermatozoïde**. Les modifications ont lieu sur la membrane cellulaire des spermatozoïdes; des récepteurs sont probablement libérés en retirant une couche glycoprotéique. La zone de la chape acrosomique est également modifiée par ce processus, de sorte que la réaction acrosomique devient possible.

Les modifications membranaires influent aussi sur l'aptitude à la motilité des spermatozoïdes. La **queue** se meut en **décharges de coups de fouet** et la **tête** effectue de grands **mouvements pendulaires latéraux**. Ce type de motilité est décrit comme une hyperactivité. On peut aussi dire que la conséquence visible de la capacitation consiste en une hyperactivité du spermatozoïde.

La capacitation est décrite comme un ensemble de modifications qui mènent à l'hyperactivité du spermatozoïde et qui lui permettent de subir plus tard la réaction acrosomique.



Légende

Fig. 29, Fig. 30
Ce sont des photos de l'écran d'un appareil qui relève les mouvements de la tête des spermatozoïdes (points blancs) pendant une période définie et qui les représente par des lignes vertes. Avant la capacitation, les lignes sont plutôt droites. Après la capacitation, presque tous les spermatozoïdes se sont mis à balancer la tête, ce qui se manifeste par des

Quiz

[Quiz 17](#)

Quiz

[Quiz 18](#)

HAUT ▲

Comme on ne peut pas prévoir le moment exact où l'ovocyte et le spermatozoïde vont se rencontrer, les **mécanismes de maturation** sont ainsi faits que différents groupes de spermatozoïdes maintiennent leurs chances de fécondation pendant une longue période après le coït. Dans ce but, les spermatozoïdes éjaculés n'achèvent pas tous leur capacitation simultanément. Ainsi des **groupes hétérogènes** de spermatozoïdes se forment.

Chaque groupe a une histoire différente derrière lui en ce qui concerne son âge et ses conditions de stockage. Par conséquent, ils ne se trouvent pas au même niveau de maturation/capacitation; ceci permet de conserver pendant une longue période des spermatozoïdes capables de féconder car ceux-ci arrivent à maturité par échelons. (On peut s'imaginer que chaque fois une **petite population de spermatozoïdes achève sa capacitation** et est donc prête à féconder un ovule éventuel qui aurait pénétré dans la partie ampoulaire de la trompe).

[Début du chapitre](#) | [Page précédente](#) | [Chapitre suivant](#)



4.4 Les spermatozoïdes parviennent à l'ovule - la réaction acrosomique

- La pénétration des cellules du cumulus
- Le contact avec la zone pellucide
 - La réaction acrosomique
 - La pénétration de la zone pellucide

La pénétration des cellules du cumulus

Les spermatozoïdes atteignent par vagues l'ovule entouré des cellules du cumulus. Cela ne pose pas de problème dans une fécondation in vivo ; en revanche lors de la fécondation en éprouvette (in vitro), la quantité de spermatozoïdes à ajouter requiert la plus grande attention car une quantité insuffisante ne donne pas de fécondation et une quantité excessive a une action agressive sur l'ovule.

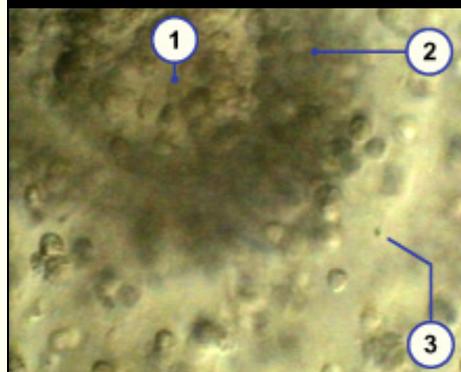
Des enzymes sont libérés par la réaction acrosomique ; la hyaluronidase **lyse la matrice intercellulaire** qui se trouve entre les cellules du cumulus ; d'autres enzymes détruisent la zone pellucide qui recouvre l'ovule. En règle générale, cette réaction du spermatozoïde a lieu seulement lorsque celui-ci entre en contact avec la zone pellucide.

Chez un faible pourcentage de spermatozoïdes, la réaction acrosomique a lieu spontanément, de la même manière qu'un faible pourcentage de spermatozoïdes subit la capacitation directement après l'éjaculation. Ce fait a pour conséquence qu'une petite quantité de hyaluronidase est libre dès le début, lorsque la vague de spermatozoïdes atteint l'ovule et qu'elle contribue à creuser pour ceux-ci le chemin qui mène à la zone pellucide. Lorsqu'ils atteignent la zone pellucide, les spermatozoïdes subissent la réaction acrosomique et libèrent une quantité supplémentaire de **hyaluronidase** et d'autres enzymes. De cette manière, l'amas de cellules du cumulus continue à se relâcher et de plus en plus de spermatozoïdes peuvent subir eux-mêmes la réaction acrosomique aux abords de la zone pellucide.

L'**hyperactivité** du spermatozoïde résultant de la capacitation est un facteur déterminant qui permet au spermatozoïde de s'insinuer dans l'amas des cellules du cumulus en faisant des mouvements en coups de fouet et ce dès le début du contact même sans grande contribution de la hyluronidase.

En résumé, il s'agit d'une attaque «dirigée» sur les structures qui entourent l'ovule par de nombreux spermatozoïdes et ayant pour but final de permettre l'union d'**un seul** spermatozoïde avec l'ovule.

Fig. 31 - Ovule entouré par les cellules du cumulus



- 1 Centre de l'ovule
- 2 Corona radiata (entoure et masque partiellement l'ovule)
- 3 Tête du spermatozoïde

Quiz

Quiz 20

Légende

Fig. 31
Image d'une fécondation in vitro. On ajoute des spermatozoïdes à l'ovule entouré de cellules du cumulus. Les spermatozoïdes fécondent l'ovule par la voie naturelle.

Observer dans la première [vidéo \(230KB\)](#) la manière dont un spermatozoïde essaye de pénétrer les cellules du cumulus.

Dans la deuxième [vidéo \(220KB\)](#),

plusieurs
spermatozoïdes
encerclent l'ovule.

Vidéo

ICSI: Insémination par injection intracytoplasmique de sperme (ICSI) .

(3 MB)

© Prof. B. Imthurn, Unispital, Zürich

[Liste des chapitres](#) | [Page suivante](#)

-



4.4 Les spermatozoïdes parviennent à l'ovule - La réaction acrosomique

- La pénétration des cellules du cumulus
- **Le contact avec la zone pellucide**
 - **La réaction acrosomique**
 - **La pénétration de la zone pellucide**

Le contact avec la zone pellucide

Lorsque les spermatozoïdes atteignent la zone pellucide, ils se lient à celle-ci. La **réaction acrosomique est induite** par la ZP3 (Zona Protein 3) après la **liaison du spermatozoïde à la zone pellucide**.

Commentaire

Les modifications de la **membrane cellulaire du spermatozoïde** auxquelles aboutit la capacitation sont co-déterminantes de la réussite de la réaction acrosomique. La liaison à la zone pellucide tout comme la réaction acrosomique qui la suit immédiatement sont dépendantes de la fonction de la membrane cellulaire.

La réaction acrosomique

Lors de la réaction acrosomique, le contenu de l'acrosome est libéré vers l'extérieur. La membrane cellulaire du spermatozoïde **fusionne** avec la membrane extérieure de l'acrosome qui se trouve en dessous. Le contenu de l'acrosome parvient à l'extérieur par les pores qui sont ainsi formés.

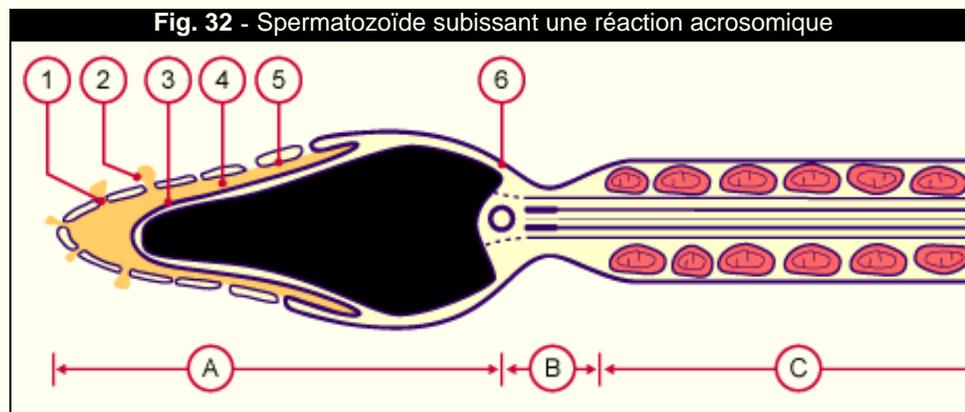


Fig. 32 - Spermatozoïde subissant une réaction acrosomique

Quiz

Quiz 21

Légende

Fig. 32
Lors de la réaction acrosomique, la membrane cellulaire fusionne avec la membrane acrosomique externe.

◀ PAGES ▶

EMBRYO GÉNÈSE

ORGANO GÉNÈSE

ACCUEIL

ZONE D'ÉCHANGES

RECHERCHER

AIDE

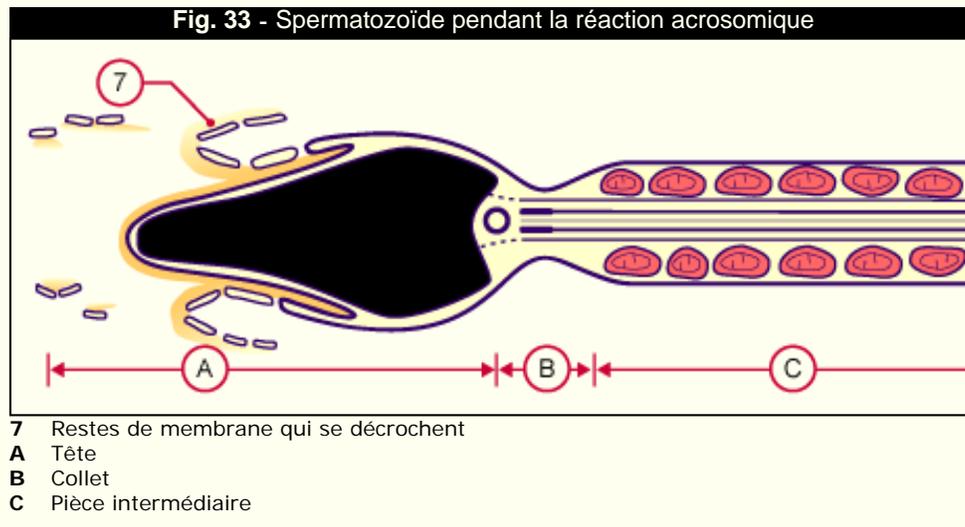
HAUT ▲

- 1 Pores
- 2 Sortie du contenu acrosomique
- 3 Membrane acrosomique interne
- 4 Contenu acrosomique (enzymes)
- 5 Membrane acrosomique externe
- 6 Membrane cellulaire
- A Tête
- B Collet
- C Pièce intermédiaire

La liaison préliminaire du spermatozoïde à la zone pellucide est une condition préalable à la réussite de la réaction acrosomique.

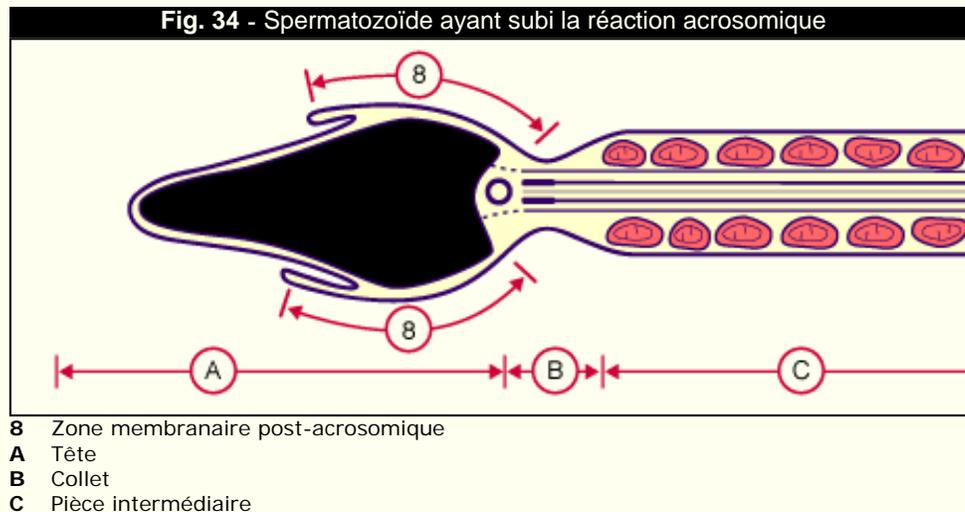
Le fait que la **liaison à la zone pellucide** est **spécifique de l'espèce** nous laisse penser que c'est une étape déterminante dans la cascade de la fécondation; en revanche, la liaison à l'ovule qui a lieu ensuite n'est pas spécifique de l'espèce.

Lorsque la réaction acrosomique s'est achevée, le spermatozoïde n'est alors recouvert à l'avant plus que par ce qui était la membrane acrosomique interne. Ceci est déterminant pour la suite de la fécondation car des structures indispensables pour le contact avec l'ovule sont ainsi découvertes. Par conséquent des modifications ont lieu en particulier dans la **zone membranaire post-acrosomique**.



Légende

Fig. 33
La réaction acrosomique est achevée. Des restes de la membrane vésiculaire sont encore partiellement retenus par des liaisons moléculaires adhésives. Ces restes sont cependant rapidement perdus en raison des mouvements vigoureux des spermatozoïdes vers l'avant.



Légende

Fig. 34
La partie antérieure de la tête du spermatozoïde n'est recouverte plus que par ce qui était auparavant la membrane interne de l'acrosome. En revanche la zone post-acrosomique qui est désormais «active» est déterminante pour la liaison à l'ovule.

La pénétration de la zone pellucide

Les enzymes qui sont libérées dans les environs immédiats de la zone pellucide lors de la réaction acrosomique la relâchent localement et permettent ainsi au spermatozoïde de passer à travers la zone pellucide. De nombreuses enzymes sont libérées; les plus connues, la hyaluronidase et l'acrosine, ont déjà été mentionnées. L'acrosine est responsable du passage du spermatozoïde à travers la zone pellucide.

[Début du chapitre](#) | [Chapitre suivant](#)



4.5 La pénétration du spermatozoïde dans l'ovocyte

- Le mécanisme d'arrimage du spermatozoïde à l'ovocyte (principe de la clé dans la serrure)
- Le blocage de la polyspermie
- La pénétration du spermatozoïde dans l'ovule (imprégnation)
- L'achèvement de la deuxième division de maturation de l'ovocyte

Le mécanisme d'arrimage du spermatozoïde à l'ovocyte (principe de la clé dans la serrure)

Finalement, l'entrée du spermatozoïde dans l'ovule ne peut réussir qu'après le déroulement d'une suite complexe de processus ayant lieu chez le spermatozoïde et chez l'ovule. [Voir chapitre précédent.](#)

Sur le plan moléculaire, la reconnaissance du spermatozoïde et sa fixation à la membrane de l'ovule fonctionne de la même manière que l'arrimage des virus, lorsque ceux-ci ont trouvé la cellule hôte adaptée, c'est-à-dire selon un principe de clé dans la serrure.

La serrure et la clé sont des protéines qui sont implantées dans la membrane cellulaire et qui ont une grande affinité réciproque. Le spermatozoïde porte la clé et l'ovule les serrures qui sont appelées **récepteurs** dans ce contexte.

Ainsi un spermatozoïde qui se rapproche et qui porte la clé adaptée peut aussitôt s'arrimer à l'ovule.

La partie «clé» du spermatozoïde se trouve à la tête, dans les environs de l'équateur. Pour que l'arrimage réussisse, cette zone de la membrane doit d'abord être découverte, ce qui est atteint par un déroulement complet et dénué d'erreur de la réaction acrosomique.

Le déroulement de la réaction acrosomique est une condition préalable à la fusion des membranes du spermatozoïde et de l'ovule.

Fig. 35 - Spermatozoïde ayant subi la réaction acrosomique et qui se trouve dans l'espace périvitellin

Quiz

[Quiz 23](#)

Quiz

[Quiz 24](#)

Légende

◀ PAGES ▶

EMBRYO GÉNÈSE

ORGANO GÉNÈSE

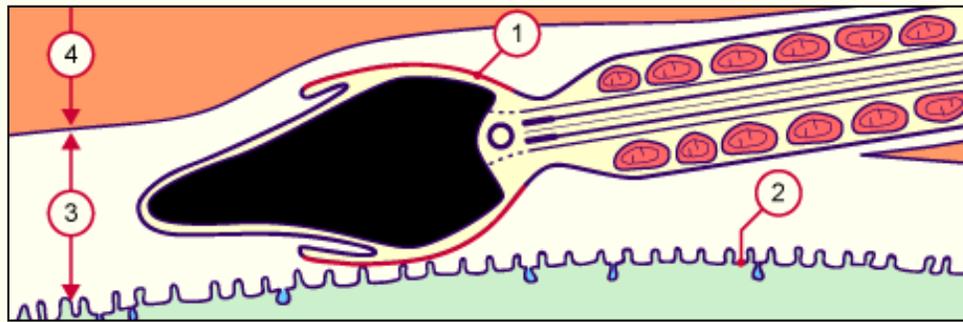
ACCUEIL

ZONE D'ÉCHANGES

RECHERCHER

AIDE

HAUT ▲



- 1 Zone post-acrosomique
- 2 Membrane de l'ovule avec microvillosités
- 3 Espace périvitellin
- 4 Zone pellucide

Fig. 35
Lorsqu'un spermatozoïde ayant subi la réaction acrosomique atteint la membrane de l'ovule après la pénétration de la zone pellucide et qu'il l'effleure, les récepteurs membranaires se lient mutuellement.

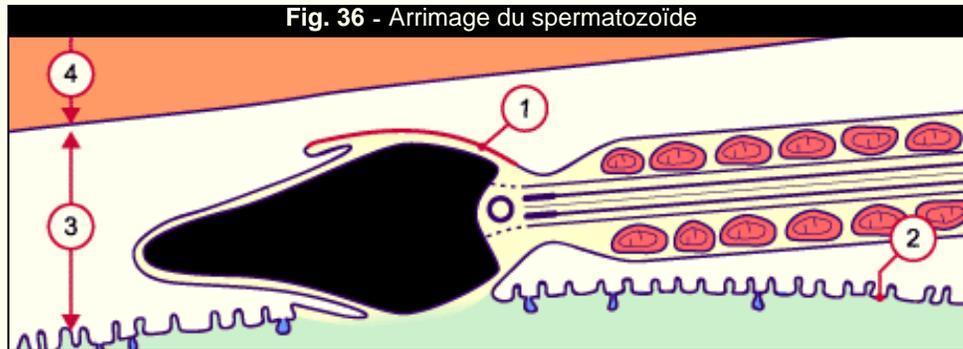


Fig. 36 - Arrimage du spermatozoïde

- 1 Zone post-acrosomique
- 2 Membrane de l'ovule avec microvillosités
- 3 Espace périvitellin
- 4 Zone pellucide

Légende

Fig. 36
La zone membranaire post-acrosomique s'est liée avec la surface de l'ovule.

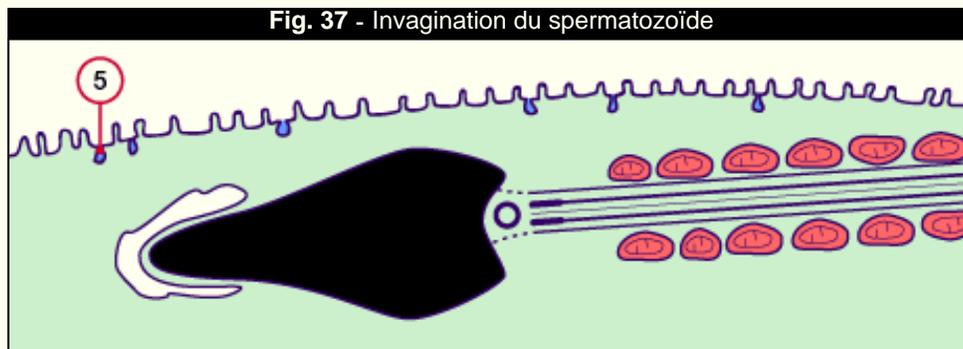


Fig. 37 - Invagination du spermatozoïde

- 5 Vésicule à la surface de l'ovule

Légende

Fig. 37
Le «contenu» du spermatozoïde a complètement été intégré au cytoplasme de l'ovule

Comme chacun le sait, la réaction acrosomique libère des enzymes qui contribuent à l'affaiblissement et le relâchement local de la zone pellucide. Le spermatozoïde pénètre la zone pellucide notamment à l'aide de violents coups de flagelle; il parvient finalement dans l'espace périvitellin. Lorsqu'il effleure l'ovule, les lieux d'arrimage se reconnaissent mutuellement.

Une cascade d'événement est déclenchée dans l'ovule par l'arrimage du spermatozoïde.

L'arrimage déclenche une cascade d'événements qui ont les buts suivants:

- empêchement de la polyspermie: l'entrée d'autres spermatozoïdes doit être empêchée
- durcissement de la zone pellucide qui fait office de protection mécanique de l'embryon
- intégration du spermatozoïde dans l'ovocyte
- achèvement de la deuxième division de maturation de l'ovocyte et expulsion du deuxième globule polaire
- dans l'ovocyte, préparation à la décondensation de l'ADN mâle au plan moléculaire.

[Liste des chapitres](#) | [Page suivante](#)

-



4.5 La pénétration du spermatozoïde dans l'ovocyte

- Le mécanisme d'arrimage du spermatozoïde à l'ovocyte (principe de la clé dans la serrure)
- **Le blocage de la polyspermie**
- **La pénétration du spermatozoïde dans l'ovule (imprégnation)**
- L'achèvement de la deuxième division de maturation de l'ovocyte

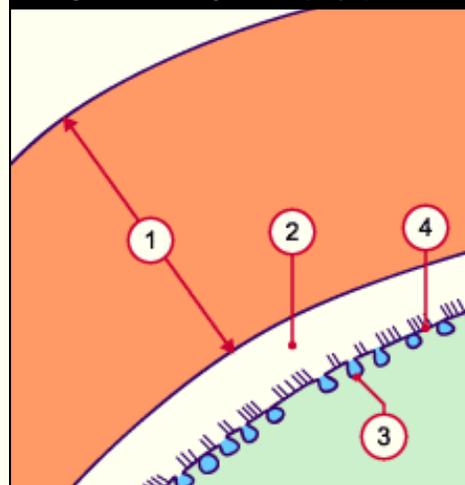
Le blocage de la polyspermie

Aussitôt qu'un spermatozoïde s'est arrimé, il faut empêcher que d'autres spermatozoïdes puissent faire de même. Des modifications appropriées ont lieu aussi bien au niveau de la **membrane de l'ovule** qu'au niveau de la **zone pellucide**.

L'arrimage libère une **onde de dépolarisation rapide** qui conduit à des modifications de la surface de la membrane.

L'onde de dépolarisation provoque également la **libération dans l'espace périvitellin du contenu** de toutes petites **vésicules** qui se trouvent du côté interne de la membrane de l'ovule. La zone pellucide s'en trouve «durcie». Elle ne laisse plus passer les spermatozoïdes et elle offre une meilleure protection à l'embryon qui se développera dans les prochains jours à l'intérieur des murs formés par la zone pellucide.

Fig. 38 - blocage de la polyspermie



- 1 Zone pellucide
- 2 Espace périvitellin
- 3 Vésicule
- 4 Membrane de l'ovule

Quiz

Quiz 22

Légende

Fig. 38

Le contenu des vésicules qui est libéré dans l'espace périvitellin conduit à un durcissement de la zone pellucide.

La pénétration du spermatozoïde dans l'ovule (imprégnation)

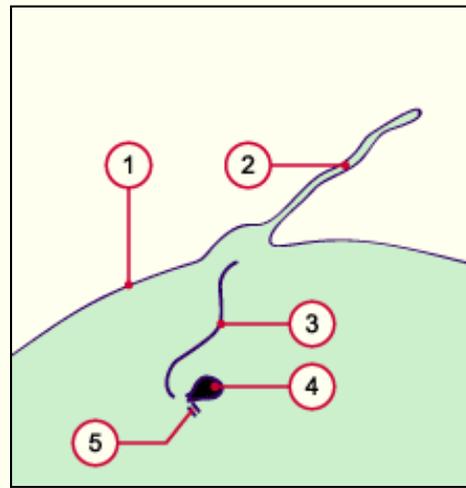
Après l'arrimage du spermatozoïde à l'ovule, les deux membranes fusionnent. Cela permet aux structures qui se trouvent à l'intérieur du spermatozoïde de passer dans le cytoplasme de l'ovule. On appelle ce processus **imprégnation** de l'ovule. Le **noyau** et son ADN fortement condensé, le **centrosome** qui est disposé transversalement entre le noyau et l'implantation de la queue et le kinocil qui constitue la queue sont transférés entre autres.

Le kinocil se lyse par la suite.
L'information génétique provenant du

Fig. 39 - Imprégnation de l'ovule

Légende

père qui se trouve dans le noyau se décondense en vue de la formation du pronucleus mâle. Le centrosome joue ensuite un rôle important lors du rapprochement des deux pronuclei. Plus tard, après qu'une division ait eu lieu, il sera également responsable de la formation du premier appareil microtubulaire de division du nouvel être vivant. Tous les centrosomes des cellules du corps d'un homme proviennent de cet unique centrosome paternel. Les autres éléments du spermatozoïde, tel que le flagelle, qui pénètrent normalement dans l'ovocyte au moment de la fécondation sont éliminés en temps normal. Il en est de même des mitochondries du spermatozoïde, ce qui implique que toutes les mitochondries du corps sont en général d'origine maternelle.



- 1 Membrane de l'ovule
- 2 Membrane cellulaire du spermatozoïde
- 3 Kinocil
- 4 Noyau (compact) du spermatozoïde
- 5 Centrosome (transversal) du spermatozoïde

Fig. 39
L'imprégnation de l'ovule: la membrane de la tête du spermatozoïde et de la pièce intermédiaire fusionne avec la membrane de l'ovule et la totalité du contenu du spermatozoïde pénètre dans l'ovule. La membrane de la queue persiste comme appendice.

Mehr dazu

Dans de rares cas, le mécanisme responsable de l'élimination des mitochondries paternelles est déficitaire. Ces dernières survivent alors dans l'ovocyte et se retrouvent finalement dans les tissus foetaux. Ceci ne pose en règle générale pas de problème. Il arrive toutefois que des maladies causées par une altération de l'ADN mitochondrial soient transmises de cette manière du père à l'enfant. (2)

[Page précédente](#) | [Page suivante](#)

Module
Fécondation
44.5 La pénétration du spermatozoïde
dans l'ovocyte

- Le mécanisme d'arrimage du spermatozoïde à l'ovocyte (principe de la clé dans la serrure)
- Le blocage de la polyspermie
- La pénétration du spermatozoïde dans l'ovule (imprégnation)
- **L'achèvement de la deuxième division de maturation de l'ovocyte**

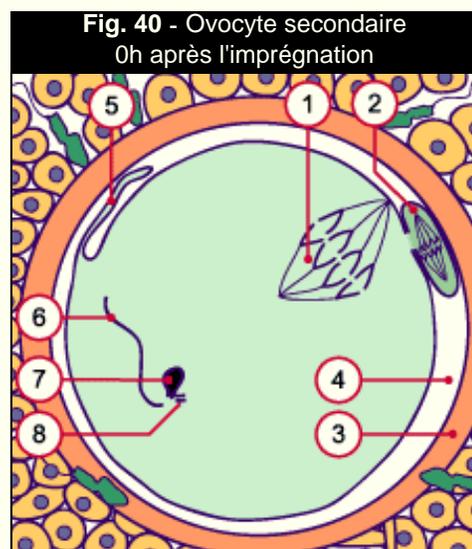
L'achèvement de la deuxième
division de maturation de l'ovocyte

L'ovocyte secondaire qui s'est formé peu avant l'ovulation se trouve dans l'état suivant au moment de l'imprégnation:

L'**appareil microtubulaire de division** qui se trouvait immobilisé en métaphase de la deuxième division de maturation est **réactivé** par l'imprégnation. L'arrimage et l'imprégnation par le spermatozoïde déclenche un signal qui induit la reprise et l'achèvement de la deuxième division de maturation de l'ovocyte. On parle désormais d'**ovule imprégné**.

Quiz

Quiz 25



- Fig. 40 - Ovocyte secondaire**
0h après l'imprégnation
- 1 Appareil microtubulaire de division et chromatides
 - 2 Premier globule polaire
 - 3 Zone pellucide
 - 4 Espace périvitellin
 - 5 Membrane cellulaire du spermatozoïde (vestige appendiculaire)
 - 6 Kinocil
 - 7 Noyau (compact) du spermatozoïde
 - 8 Centrosome proximal du spermatozoïde



Fig. 41 - Ovocyte secondaire
Ovule imprégné

Légende

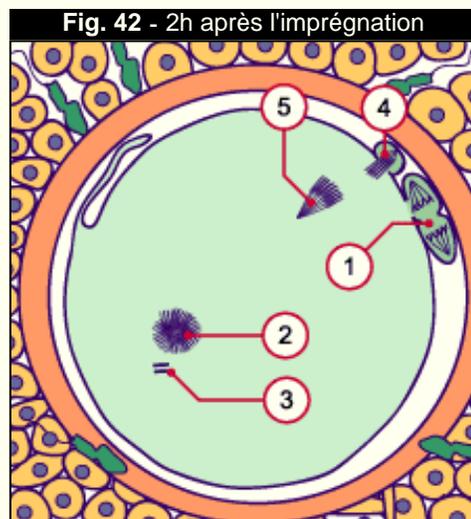
Fig. 40
Image instantanée au moment de l'imprégnation de l'ovule (heure zéro). L'appareil microtubulaire de division qui est organisé de manière radiaire et qui est ancré près du premier globule polaire est devenu actif; ici, il est arrêté en anaphase.

Fig. 41
Juste après l'imprégnation, on ne peut observer aucune caractéristique de celle-ci chez l'ovocyte secondaire. L'ovule se distingue par la présence du premier globule polaire. (celui-ci est parfois déjà légèrement segmenté dans l'attente de la division à venir, comme ici).

Vidéo montrant le premier globule polaire (90 Kb)

Pendant les deux heures qui suivent l'imprégnation, l'appareil microtubulaire de division sépare les chromatides qui sont arrangées sur le plan équatorial, de telle sorte qu'il ne reste que 1n1C dans l'ovule. Le **deuxième globule polaire néoformé** contient l'autre 1n1C. Le premier globule polaire qui est resté attaché par un fin cordon cytoplasmique reçoit le même signal et se divise aussi.

L'achèvement de la deuxième division de maturation signifie: la division de l'ovocyte secondaire (1n, 2C) en un **ovocyte mature** (1n, 1C) et l'expulsion du **deuxième globule polaire** (1n, 1C) dans l'espace périvitellin.



- Fig. 42 - 2h après l'imprégnation**
- 1 Premier globule polaire
 - 2 Noyau (légèrement décondensé) du spermatozoïde
 - 3 Centrosome proximal du spermatozoïde
 - 4 Deuxième globule polaire (en formation)
 - 5 Vestige de l'appareil microtubulaire de division et chromosomes maternels (1n, 1C)

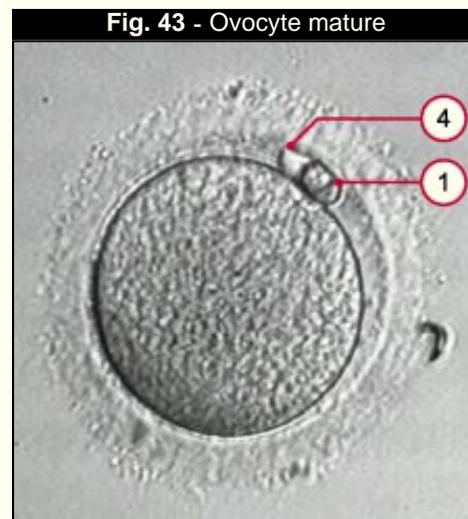


Fig. 43 - Ovocyte mature

Légende

Fig. 42
Image instantanée environ deux heures après l'imprégnation de l'ovule. Le deuxième globule polaire est sur le point de se former. À côté, on voit le premier globule polaire en cours de division. (pour en savoir plus à l'aide d'une vidéo; 490kb). L'ADN du noyau du spermatozoïde a commencé à se décondenser.

Fig. 43
Trois globules polaires sont désormais reconnaissables: le deuxième globule polaire et le premier qui s'est divisé.

Par la suite, les structures de l'appareil microtubulaire de division se lysent. Les futurs appareils microtubulaires de division se forment à partir du centrosome paternel.



4.6 La fécondation s'achève. La formation du zygote

- **Introduction à la formation et au développement des pronuclei**
 - **Formation du pronucleus paternel**
 - **Formation du pronucleus maternel**
 - **Phase de synthèse de l'ADN dans les pronuclei**
- **Rapprochement des pronuclei**
- **La formation du zygote**

Introduction à la formation et au développement des pronuclei

Quiz

Quiz 26

Après que le spermatozoïde ait imprégné l'ovule, donc après avoir transmis la partie paternelle de l'information génétique, il s'agit désormais dans l'ovule de mettre aussi bien l'information génétique mâle que femelle sous une forme qui leur permettent de s'unir de manière adéquate. Chaque ADN décondensé est enveloppé dans les **pronuclei paternel et maternel** qui se forment progressivement. Le dédoublement de l'ADN a lieu dans ces pronuclei durant une phase de synthèse.

Après cette phase de synthèse qui dure presque un jour, l'ADN se condense en chromosomes. Ceux-ci s'organisent immédiatement sur l'appareil microtubulaire de division du zygote pour que celui-ci puisse se diviser et atteindre le stade bicellulaire. Les processus mentionnés ci-dessus vont être expliqués en détail par la suite.

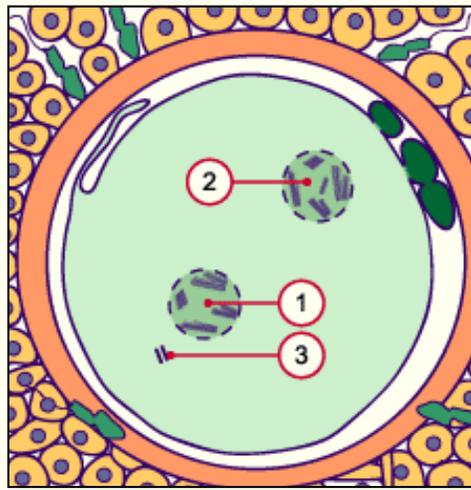
Formation du pronucleus paternel

Par le biais de la tête du spermatozoïde, c'est un demi jeu de chromosomes (1n1C) très condensé qui pénètre dans le cytoplasme de l'ovule. Cet **ADN condensé** de manière particulière doit dans un premier temps être décondensé. Les protamines autour desquelles le brin d'ADN est enroulé sont désinsérées. Le pronucleus paternel se forme progressivement en ayant recours à des enzymes et des molécules qui se trouvent dans le cytoplasme de l'ovule. Cela signifie qu'une **membrane nucléaire** entoure progressivement l'**ADN décondensé**. La formation d'un (pro)noyau est nécessaire à la phase de synthèse qui a lieu ensuite et pendant laquelle l'ADN est dédoublé.

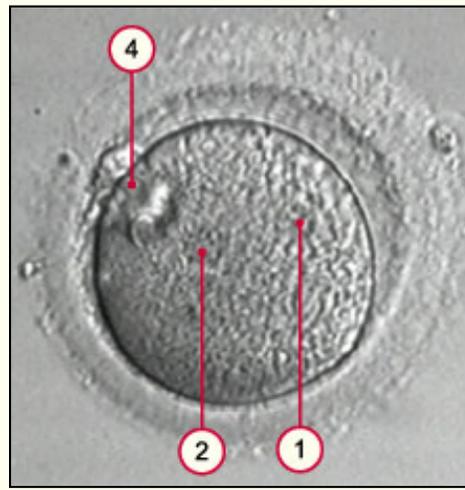
Fig. 44 - 4h après l'imprégnation

Fig. 45 - Ovule imprégné depuis 4h

Légende



- 1 Pronucleus paternel
- 2 Pronucleus maternel
- 3 Centrosome apporté par le spermatozoïde



- 4 Amas des globules polaires

Fig. 44
Représentation schématique quatre heures après l'imprégnation. Une membrane nucléaire se forme autour des deux pronuclei. (Un dédoublement de l'ADN des chromosomes décondensés a lieu dans le pronucleus-même.)

Fig. 45
Image instantanée environ quatre heures après l'imprégnation de l'ovule. La formation du pronucleus est déjà reconnaissable dans ses grandes lignes.

Commentaire

Le pronucleus maternel est le plus proche des globules polaires. Le pronucleus paternel se forme près du point d'entrée du spermatozoïde, qui se trouve presque toujours à une certaine distance des globules polaires.

Vidéo

[Vidéo](#) de la formation des pronuclei (166 kB)
© Dr. A. Senn, CHUV CEMCAV Lausanne

Formation du pronucleus maternel

Le pronucleus maternel se forme au même moment que le pronucleus paternel. La pénétration du spermatozoïde dans l'ovocyte secondaire induit dans celui-ci la reprise et l'achèvement de la deuxième division de maturation. Après la formation du deuxième globule polaire, **les chromosomes maternels qui restent dans l'ovocyte sont entourés d'une membrane nucléaire** et sont décondensés. Les chromosomes doivent être décondensés en vue de la phase terminale de synthèse pendant laquelle l'ADN est dédoublé.

Phase de synthèse de l'ADN dans les pronuclei

L'ADN doit être dédoublé avant toute division cellulaire à venir pour qu'il puisse être réparti entre les cellules filles qui vont se former. Dans l'ovule imprégné, cela a lieu **pour chaque jeu de chromosomes** - celui du père et celui de la mère - **dans leur pronucleus respectif**. Le temps nécessaire au dédoublement de l'ADN est d'environ 12 à 18h. Pendant cette période, les deux pronuclei se rapprochent également l'un de l'autre.

Commentaire

1n, 2C sont synthétisés dans le pronucleus paternel à partir de 1n, 1C.
1n, 2C sont formés dans le pronucleus maternel à partir de 1n, 1C qui sont restés dans l'ovule après la deuxième division de maturation.

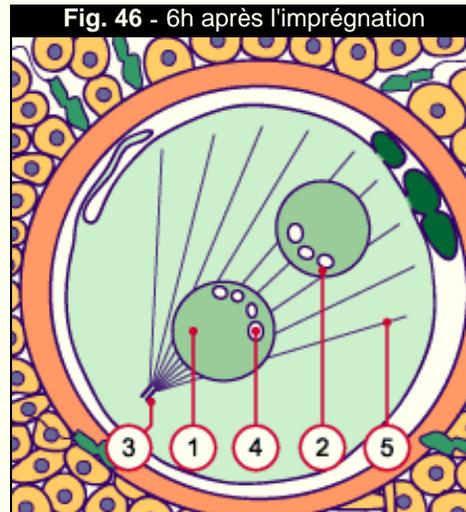


4.6 La fécondation s'achève. La formation du zygote

- Introduction à la formation et au développement des pronuclei
 - Formation du pronucleus paternel
 - Formation du pronucleus maternel
 - Phase de synthèse de l'ADN dans les pronuclei
- **Rapprochement des pronuclei**
- La formation du zygote

Rapprochement des pronuclei

Les pronuclei paternel et maternel s'approchent l'un de l'autre à l'aide de **microtubules** qui commencent à se former juste après la pénétration du spermatozoïde (l'imprégnation). Ces microtubules croissent **en étoile** à partir du centrosome paternel (= constitution d'un aster composé de douzaines de microtubules) juste à côté du pronucleus paternel en formation. Les protéines microtubulaires elles-mêmes proviennent du cytoplasme de l'ovule.



- Fig. 46 - 6h après l'imprégnation**
- 1 Pronucleus paternel
 - 2 Pronucleus maternel
 - 3 Centrosome paternel
 - 4 «Inner bodies»
 - 5 Microtubules maternels de l'aster

La **synthèse** du duplicata de l'ADN a lieu dans les pronuclei pendant que les microtubules de l'aster attirent ces mêmes pronuclei **vers le centre de l'ovule**. Cette synthèse **dure environ 12 heures**. Les pronuclei grossissent pendant cette période.

Fig. 47 - 18h après l'imprégnation

Quiz

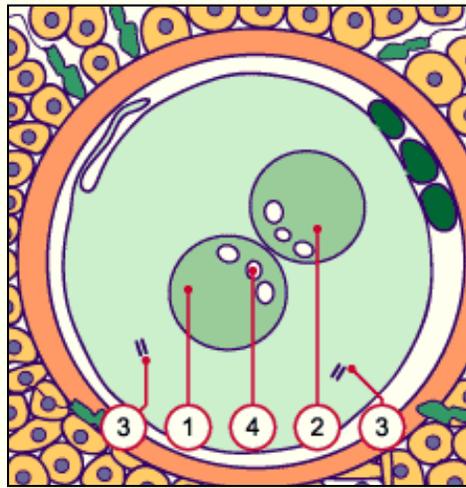
[Quiz 27](#)

Légende

Fig. 46
Schéma représentant un ovule imprégné: un aster ([pour en savoir plus](#)) s'est formé à partir du centrosome paternel initial. A l'intérieur des pronuclei, on reconnaît les «inner bodies» qui s'alignent de manière typique.

Légende

Fig. 47
Les pronuclei maternel et paternel ont atteint leur taille maximale. Ils se sont fortement rapprochés et le centrosome s'est divisé en prévision de la division cellulaire. [Vidéo à ce sujet](#) (255KB)



- 1 Pronucleus paternel
- 2 Pronucleus maternel
- 3 Centrosome paternel dupliqué
- 4 «Inner bodies»

Commentaire

Comment peut-on distinguer le pronucleus paternel du pronucleus maternel ? Deux caractéristiques peuvent nous aider: le pronucleus maternel est plus proche des globules polaires. Le pronucleus paternel est légèrement plus grand. Mais comme l'angle d'observation de l'ovule au microscope n'est pas toujours optimal, il peut tout à fait arriver qu'il soit impossible d'observer cet agencement de manière univoque.

Fig. 48 - 20h après l'imprégnation



Légende

Fig. 48
Ovule imprégné, 20 heures après l'insémination artificielle. Les cellules du cumulus ont été enlevées comme d'habitude. Les pronuclei se sont rapprochés l'un de l'autre au maximum mais on peut encore bien les distinguer ([Vidéo à ce sujet 190KB](#)). Ces considérations sont importantes pour la clinique. [Pour en savoir plus.](#)



4.6 La fécondation s'achève. La formation du zygote

- Introduction à la formation et au développement des pronuclei
 - Formation du pronucleus paternel
 - Formation du pronucleus maternel
 - Phase de synthèse de l'ADN dans les pronuclei
- Rapprochement des pronuclei
- **La formation du zygote**

◀ PAGES ▶

EMBRYO GÉNÈSE

ORGANO GÉNÈSE

ACCUEIL

ZONE D'ÉCHANGES

RECHERCHER

AIDE

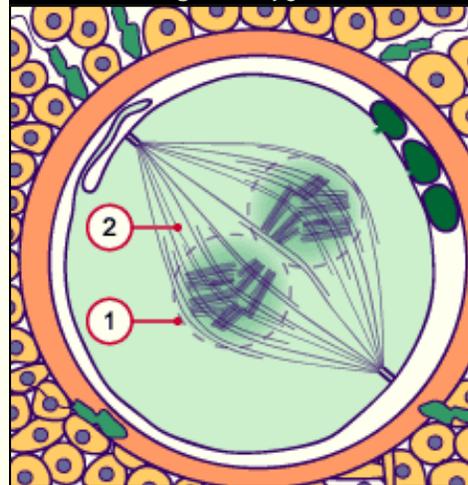
HAUT ▲

La formation du zygote

Il n'y a **pas de fusion** des deux pronuclei après qu'ils se soient rapprochés au maximum; une mise en commun des chromosomes des deux pronuclei à l'intérieur d'une seule membrane nucléaire n'a pas lieu. Au contraire, **les membranes des deux pronuclei se lysent** et les chromosomes des deux pronuclei s'arrangent sur le plan équatorial de l'appareil microtubulaire. L'arrangement des chromosomes paternels et maternels ensemble dans un appareil microtubulaire commun marque le début du zygote, la première cellule du nouvel organisme; celle-ci possède un génome individuel ($2n4C$).

L'appareil microtubulaire de division répartit les chromosomes (qui viennent d'être rassemblés) dans les deux premières cellules de l'embryon. Ce processus qui mène **au stade bicellulaire** a lieu en moyenne **entre 22 et 26 heures** après la fécondation.

Fig. 49 - Zygote

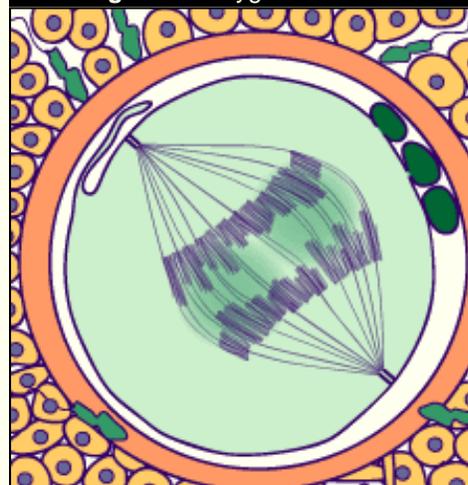


- 1 Membrane nucléaire du pronucleus en cours de lyse
- 2 Microtubules de l'appareil microtubulaire de division

Légende

Fig. 49
Un appareil microtubulaire de division s'est formé 22 heures après la fécondation ([pour en savoir plus](#)). La membrane nucléaire des deux pronuclei se lyse. Ceci indique sans équivoque que le zygote s'est formé.

Fig. 50 - Le zygote se divise



Légende

Fig. 50
23 heures après la fécondation. L'appareil microtubulaire est en anaphase. Les chromosomes vont être séparés. ([pour en savoir plus](#) à l'aide d'une vidéo de [620KB](#) ou [940KB](#)).

Commentaire et résumé:

Le **zygote** - selon la définition: la première cellule de l'embryon - ne subit **qu'un cycle cellulaire incomplet**.

Cela vient du fait que l'ovule n'achève les dernières étapes de sa maturation qu'au moment où le spermatozoïde l'a pénétré. Le zygote se forme donc selon un mode légèrement différent de celui que l'on pourrait supposer. Les informations génétiques des deux parents **ne sont pas** directement mises en commun lors de la pénétration du spermatozoïde pour être dédoublées ensembles et finalement séparées par une mitose. En réalité, les informations génétiques aussi bien paternelles que maternelles sont d'abords dédoublées dans deux pronuclei indépendants; elles y sont également recondensées en chromosomes pour s'aligner juste ensuite sur le plan équatorial de l'appareil microtubulaire de division.

Le but de la cascade de la fécondation est ainsi atteint:

- La formation d'un jeu de chromosomes **diploïde**
- La détermination du sexe chromosomique du nouvel **individu**
- L'induction des «**divisions de segmentation**» normales de l'embryogénèse

[Début du chapitre](#) | [Page précédente](#) | [Chapitre suivant](#)



4.7 Quiz

MODULE 4

LISTE CHAPITRES

OBJECTIFS

QUIZ

RÉSUMÉ

BIBLIOGRAPHIE

◀ PAGES ▶

EMBRYO GÉNÈSE

ORGANO GÉNÈSE

ACCUEIL

ZONE D'ÉCHANGES

RECHERCHER

AIDE

HAUT ▲

Apprenez en jouant !

Les quiz vous permettent de tester vos connaissances de manière ludique. Ils vous aident à mettre le doigt sur des détails qui ont pu vous échapper ou sur des processus que vous n'aviez peut-être pas totalement saisi.

Pour «mettre à jour» vos connaissances, suivez les liens [Répétition théorie](#) en regard des quiz. Ils vous mèneront directement aux pages utiles.

Les quiz ne remplacent pas l'étude sérieuse de tous les chapitres de ce module ;-)

Quiz 01: [Différence entre l'ovocyte primaire et secondaire](#)

Quiz 02: [Pic de LH et période de l'ovulation](#)

Quiz 03: [Stades du follicule](#)

Quiz 04: [Stimulation hormonale du follicule](#)

Quiz 05: [Cheminement des spermatozoïdes](#)

Quiz 06: [Progestérone](#)

Quiz 07: [Glandes sexuelles mâles](#)

Quiz 08: [Ovule \(I\)](#)

Quiz 09: [Follicule tertiaire](#)

Quiz 10: [Ovule \(II\)](#)

Quiz 11: [Follicule de Graaf](#)

Quiz 12: [Pic de LH \(I\)](#)

Quiz 13: [Pic de LH \(II\)](#)

Quiz 14: [Ovulation](#)

Quiz 15: [Liquide folliculaire](#)

Quiz 16: [Mucus du col](#)

Quiz 17: [Capacitation \(I\)](#)

Quiz 18: [Capacitation \(II\)](#)

Quiz 19: [Maturation des spermatozoïdes](#)

Quiz 20: [Réaction acrosomique \(I\)](#)

Attention

Pour faire les quiz, vous devez impérativement disposer du plugin **Flash 6**.
A défaut: v. [Aide/téléchargements](#)

[Répétition théorie](#)

Quiz 21: [Réaction acrosomique \(II\)](#)

[Répétition théorie](#)

Quiz 22: [Blocage de la polyspermie](#)

[Répétition théorie](#)

Quiz 23: [Imprégnation \(I\)](#)

[Répétition théorie](#)

Quiz 24: [Imprégnation \(II\)](#)

[Répétition théorie](#)

Quiz 25: [Ovule mature](#)

[Répétition théorie](#)

Quiz 26: [Formation du pronucleus](#)

[Répétition théorie](#)

Quiz 27: [Centrosome](#)

[Répétition théorie](#)

[Liste des chapitres](#) | **[Chapitre suivant](#)**

-



4.8 Résumé

MODULE 4

LISTE CHAPITRES

OBJECTIFS

QUIZ

RÉSUMÉ

BIBLIOGRAPHIE

◀ PAGES ▶

EMBRYO GÉNÈSE

ORGANO GÉNÈSE

ACCUEIL

ZONE D'ÉCHANGES

RECHERCHER

AIDE

HAUT ▲

Pour une fécondation couronnée de succès il faut un **spermatozoïde mature** qui contient un jeu de chromosomes haploïde et un **ovocyte mature type II** arrêté au cours de la deuxième division de maturation de la méiose. La fusion a lieu dans la partie ampoulaire de la **trompe utérine**. Le processus de pénétration du spermatozoïde dans l'ovule est appelé **imprégnation**. Ainsi l'ovocyte est amené à achever sa deuxième division de maturation; il finit donc également par contenir un jeu de chromosomes haploïde. La fertilisation complète jusqu'à la formation du zygote (état d'union des jeux chromosomiques des deux pronuclei sur la plaque métaphasique de la première division mitotique) dure environ 24 heures et correspond au stade 1 selon Carnegie (stade 1, env. 1 jour, ◀1▶). Le but en est la **restauration d'un jeu de chromosomes diploïde et la détermination du sexe chromosomique**.

Le **spermatozoïde mature** est constitué de la tête qui contient la chape acrosomique et le noyau, du collet contenant les 2 centrioles, de la pièce intermédiaire contenant des mitochondries, de la pièce principale et de la pièce terminale. Les spermatozoïdes subissent une série de processus d'activation lors de leur ascension à travers le col, la cavité utérine et la trompe; l'ensemble de ces processus est désigné sous le nom de: **capacitation**. Ainsi certaines macromolécules qui proviennent du liquide séminal sont éliminées de la surface des spermatozoïdes. C'est ainsi que par la suite les spermatozoïdes deviennent plus mobiles et préparés à la **réaction acrosomique**.

La réaction corticale a lieu après le succès de l'imprégnation de l'ovule par un spermatozoïde; elle conduit à l'**empêchement de la polyspermie**. Elle déclenche également par la suite l'achèvement de la deuxième division de maturation (méiose II). Ce processus conduit à l'expulsion du deuxième globule polaire. Le matériel nucléaire haploïde (contenu dans le spermatozoïde et l'ovocyte) se dilate et forme les pronuclei **mâle** et **femelle**. Ceux-ci se rapprochent lentement; le **zygote** se forme environ 22 h après l'imprégnation de l'ovule; les deux jeux chromosomiques s'y trouvent arrangés sur une plaque métaphasique commune. La première division de segmentation est accomplie par l'appareil microtubulaire de division qui provient du centrosome proximal du spermatozoïde. La fertilisation s'achève avec la formation des deux cellules filles. La préimplantation a commencé.

[Liste des chapitres](#) | [Chapitre suivant](#)



4.9 Bibliographie

1. Die Reifung humaner Spermien im Nebenhoden, Trevor G. Cooper, Reproduktionsmedizin 2000.16:299-300, Springer Verlag
2. Paternal inheritance of mitochondrial DNA. Schwartz M., Vissing J.; New England Journal of Medicine 347: 576-579.

EMBRYOLOGIE
HUMAINE
Embryogénèse

MODULE 4

LISTE CHAPITRES

OBJECTIFS

QUIZ

RÉSUMÉ

BIBLIOGRAPHIE

◀ PAGES ▶

EMBRYO GÉNÈSE

ORGANO GÉNÈSE

ACCUEIL

ZONE D'ÉCHANGES

RECHERCHER

AIDE

HAUT ▲

[Liste des chapitres](#)