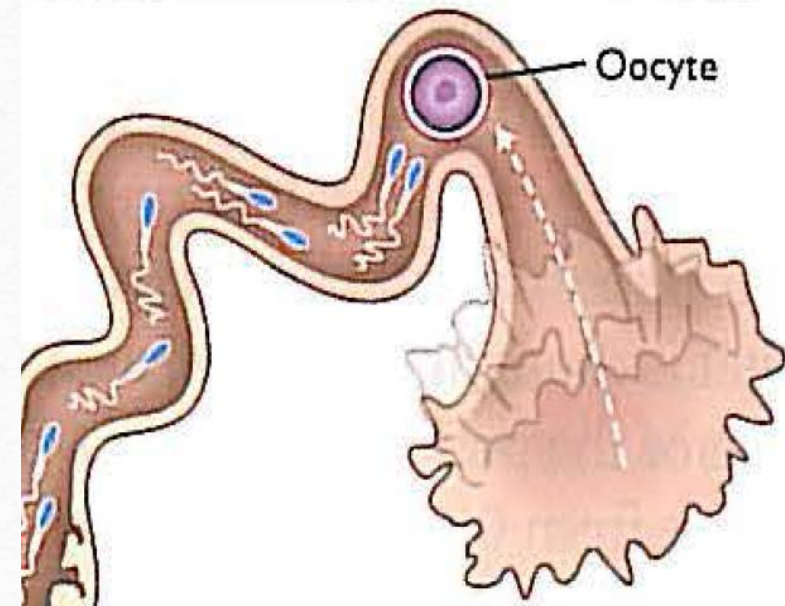


**MIGRATION DES GAMÈTES
DANS LES VOIES GÉNITALES
FEMELLES ET FÉCONDATION**

Prof. Sana HIRECHE

La fécondation

- Fusion d'un gamète mâle et femelle
- Donne naissance à l'œuf, cellule *totipotente* à $2n$ chromosomes
- Réunion des matériels génétiques paternel et maternel
- A lieu dans l'ampoule de l'oviducte



La réalisation de la fécondation nécessite:

- La mise en place des gamètes mâles dans l'appareil génital femelle par saillie ou insémination artificielle
- La rencontre de gamètes de bonne qualité :
 - Ovocytes aptes à être fécondés,
 - Spermatozoïdes avec pouvoir fécondant intact
 - Déplacement des spermatozoïdes du lieu de départ au lieu de fécondation dans des délais compatibles avec le maintien de leur pouvoir fécondant.

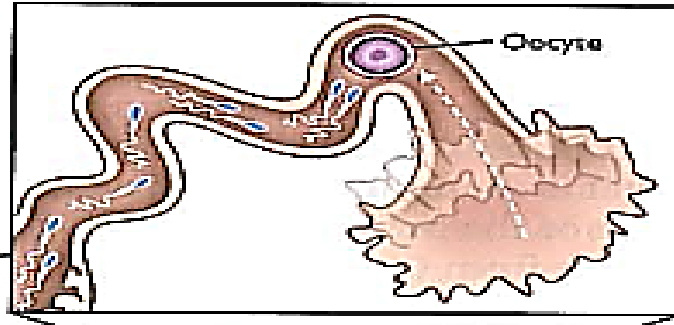
Les spermatozoïdes doivent:

- D'abord traverser le col de l'utérus
- Être transportés de l'utérus à l'oviducte
- Subir une capacitation puis fusionner à l'ovocyte
- Subir la réaction d'acrosome
- Rompre la zone pellucide et fusionner avec la membrane plasmique de l'ovocyte
- le spermatozoïde fécondant entre dans le cytoplasme de l'ovocyte et son noyau se décondense
- Le pronucléus mâle est formé

5

Fertilization

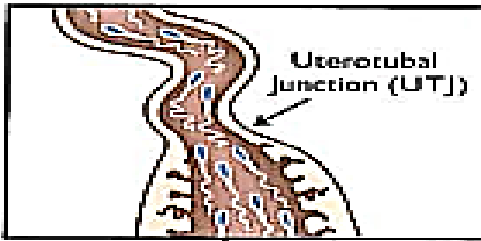
- acrosome reaction
- spermatozoon penetrates oocyte
- male and female pronuclei form



1

Immediate Transport

- retrograde loss
- phagocytosis
- entrance into cervix/uterus



4

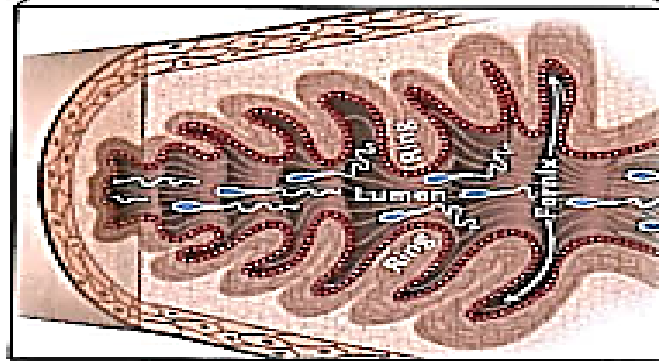
Oviduct

- docking to oviductal cells
- capacitation completed
- hyperactive motility

3

Uterus

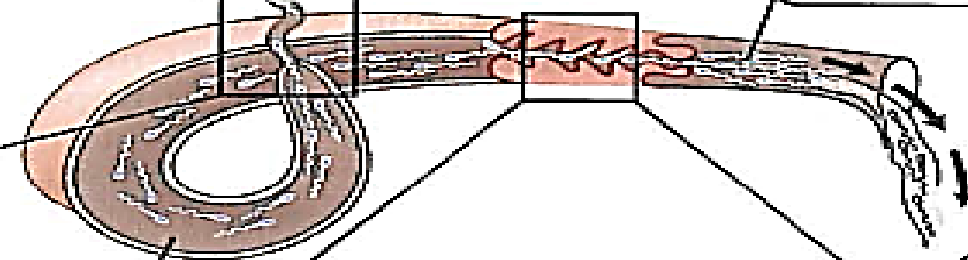
- capacitation initiated
- phagocytosis



2

Cervix

- "privileged pathways"
- removal of non-motile sperm
- removal of some abnormalities



Moment de l'insémination

Migration des gamètes femelles

Migration des gamètes mâles

- Trajet des spermatozoïdes
- Capacitation
- Sécrétions utérines lors de la remontée des spermatozoïdes

Fusion des gamètes: Fécondation proprement dite

- Le piégeage des spermatozoïdes et la traversée des enveloppes de l'ovocyte
- L'entrée du spermatozoïde et la réaction corticale
- Formation d'une membrane de fécondation
- Fusion des noyaux

Moment de l'insémination

- Par rapport au moment de l'ovulation
- L'ovulation survient 12 à 13 heures après la fin des chaleurs chez la vache.
- L'ovule peut survivre 6 à 8 heures.
- Les spermatozoïdes ont un délai de survie de 24 heures à compter de leur dépôt dans l'appareil génital femelle.
- Leur remontée jusqu'à l'oviducte prend environ 12 heures.
- Inséminer dans le dernier tiers des chaleurs (vache)

Transit des spermatozoïdes dans les voies génitales femelles et moment de l'ovulation

En heures	Spermatozoïdes		Ovules	
	Temps de déplacement chez la femelle	Maintien de pouvoir fécondant femelle	Moment ovulation/chaleurs	Maintien aptitude à être fécondés
Bovins	10 à 12	30 à 48	6 à 19 h après la fin	8 à 24
Ovins	9	30 à 48	32 h après le début	16 à 24
Equins	-	144	36 à 48 h avant la fin	6 à 8

Rôle des voies génitales femelles

Vagin

- Mouvement du pénis
- Relâchement brusque de l'utérus (aspiration)
- Contraction (chatte, lapine)
- Bouchon vaginal (rongeurs)

Col

- pH alcalin, mucus orienté (favorable aux spermatozoïdes qui passent par eux-mêmes)

Utérus

- Sécrétions favorables
- Péristaltisme favorables + + + (ocytocine)

Trompes

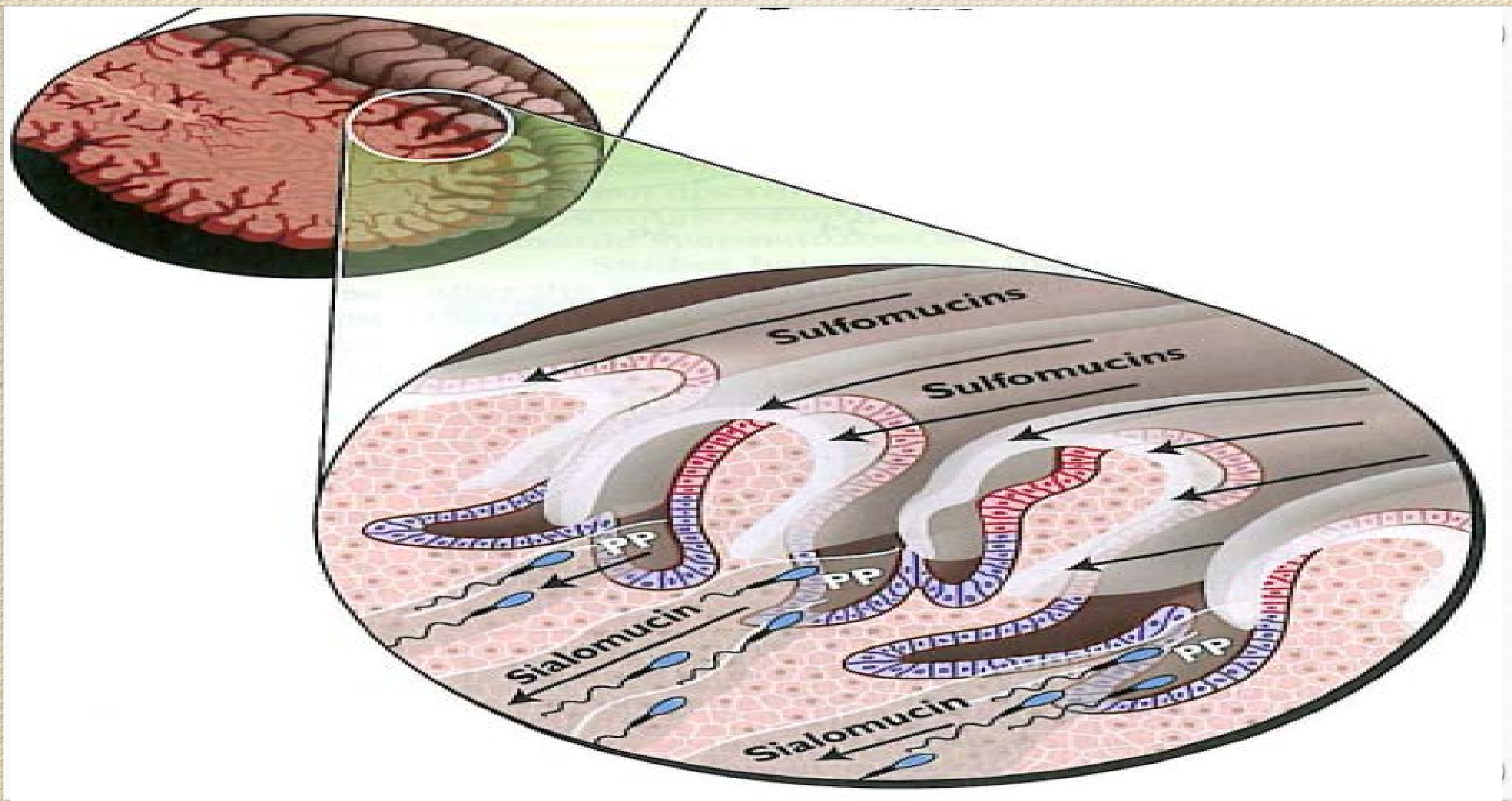
- Zone défavorable: anti-péristaltisme
- Mouvements sécrétoires et ciliaires défavorables parfois brusques
- Mouvements péristaltiques favorables

Migration des gamètes femelles

- Captés par l'infundibulum
- Grace aux:
 - *Mouvements des cils des cellules de l'épithélium*
 - *Contractions péristaltiques*
 - S'engagent dans l'oviducte
 - Progressent vers le lieu de la fécondation

Trajet des spermatozoïdes

- Les spz sont exposés à une série d'environnements qui modifient considérablement leur nombre et leur fonction
- Le sperme introduit dans le vagin va subir une première sélection:
 - Col de l'utérus: **glai**re cervicale
 - Influence des **œstrogènes**
 - En phase ovulatoire → structure très lâche
 - En phase folliculaire et lutéiques → structure très dense



Le col de l'utérus est une véritable barrière (un filtre) mais aussi un réservoir pour les spermatozoïdes

Transit des spz: rôle de la glaire cervicale

- Eliminer les spermatozoïdes anormaux ou immobiles
- Constituer un réservoir pour beaucoup de spz qui peuvent y survivre quelques jours
- Eliminer le liquide séminal et laver les spz

Transit des spz

- **Jonction utéro-tubaire:** nouvelle et importante sélection
- **Le tiers seulement des spz** ayant franchis le col parvient jusqu'à l'orifice de la trompe

Transit des spz

- Deux (2) heures après l'éjaculation, près d'un millier de spz sont au niveau supérieur des trompes

La seule poussée de leur flagelle ne leur permet pas de se déplacer à cette vitesse → d'autres facteurs interviennent:

1 Contraction des muscles de l'utérus et des trompes

2 Mouvement des cils vibratiles

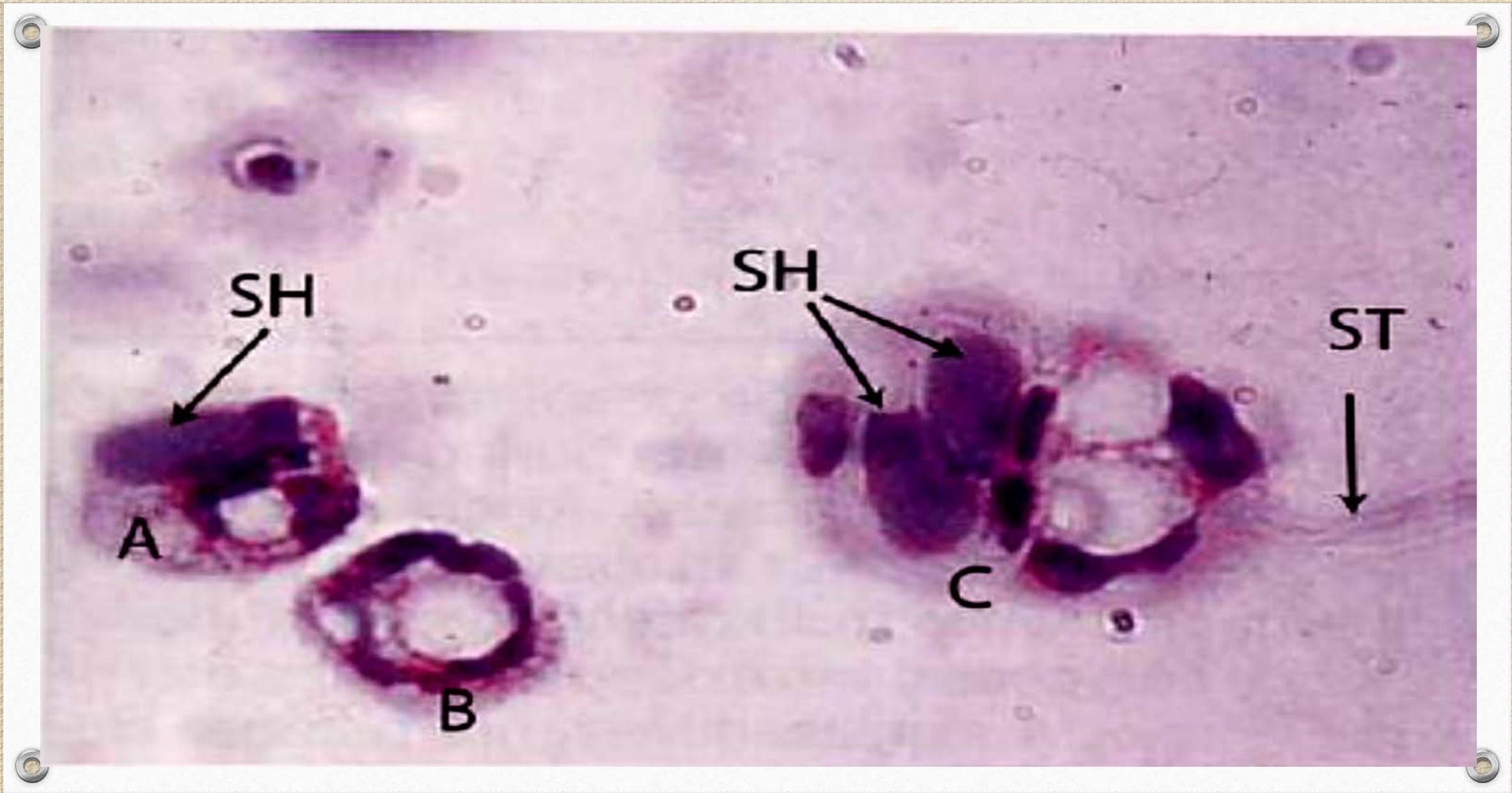
3 Ocytocine (excitation du col)

Élimination des spz au cours de leur transit

- Les spermatozoïdes sont éliminés du tractus génital femelle par :
 - Phagocytose
 - Mouvement rétrograde

Elimination des spz par **phagocytose**

- Œstrus → **œstrogènes**
- Muqueuse du tractus génital → **neutrophiles**
- Spz → corps étranger
- Les neutrophiles phagocytent les spz sans discrimination
- → perte des spz + prévention des infections



Élimination des spz par mouvement rétrograde

- Nature physique de l'éjaculat et site du dépôt séminal
- Bouchon vaginal empêchant les spermatozoïdes de subir un écoulement rétrograde à l'extérieur (**souris et rats**)

Élimination des spz par mouvement rétrograde

- **L'étalon** éjacule en « jets ».
- Les 3 à 4 premiers jets contiennent environ 80 % des spermatozoïdes.
- Les derniers 5 à 8 jets sont émis en faible pression et contiennent moins de spermatozoïdes.
- Le plasma séminal des derniers jets est très visqueux, il contribue à réduire la perte rétrograde des spermatozoïdes.

L'éjaculat du chien se scinde en trois phases, chacune ayant un rôle précis :

- **Phase 1: Fraction urétrale ou pré sperme**
- D'origine prostatique.
- Volume faible (de 0.5 à 5 ml, mais jusqu'à 15 ml sur des grands chiens)
- Fraction translucide et acellulaire éjaculée lors des mouvements saccadés du bassin du mâle.
- Assure la lubrification des voies génitales femelles, favorisant ainsi la pénétration lors de la saillie.

L'éjaculat du chien se scinde en trois phases, chacune ayant un rôle précis :

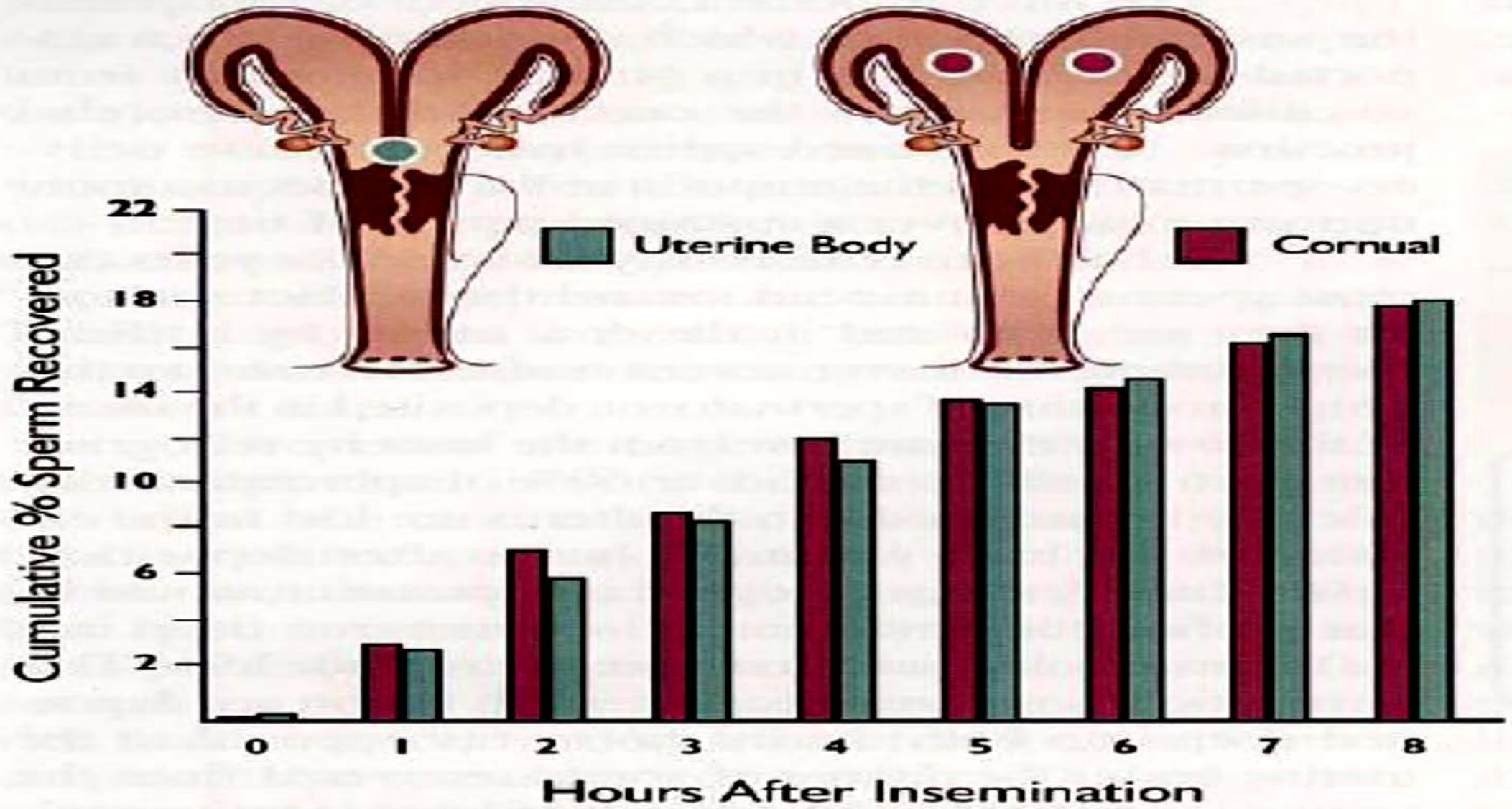
- **Phase 2: Fraction épидидymaire ou sperme**
- De couleur opalescente.
- Son volume est compris entre 1 et 4 ml.
- Fraction riche en spermatozoïdes et représente la fraction véritablement fertilisante.
- Contient 300 millions à 2 milliards de spermatozoïdes.

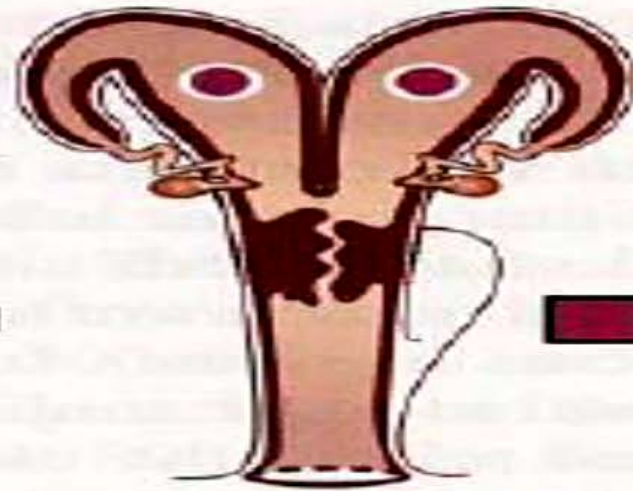
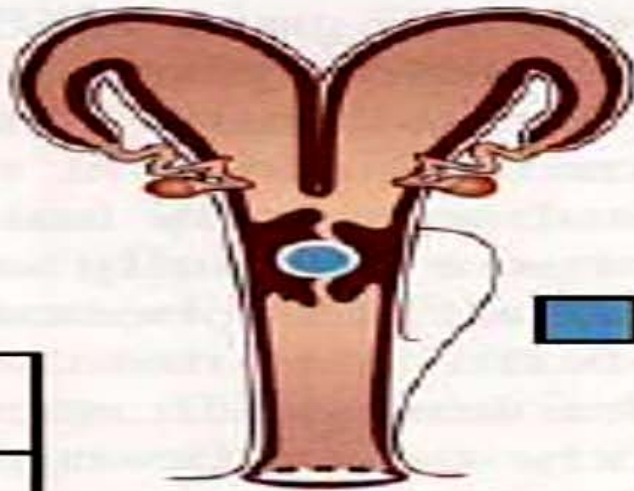
L'éjaculat du chien se scinde en trois phases, chacune ayant un rôle précis :

- **Phase 3: Fraction prostatique ou post-sperme**
- Représente la plus grosse partie de l'éjaculat,
- Volume variant de 1 à 80 ml.
- Phase généralement éjaculée tant que les partenaires restent verrouillés après la saillie (entre 10 et 45 minutes)
- Joue un rôle de « remplissage » au niveau du vagin de la femelle.
- Favorise la remontée des spermatozoïdes dans les voies génitales
- Apporte également aux gamètes mâles de nombreux facteurs permettant leur survie et leur fonctionnement

Elimination des spz par mouvement rétrograde

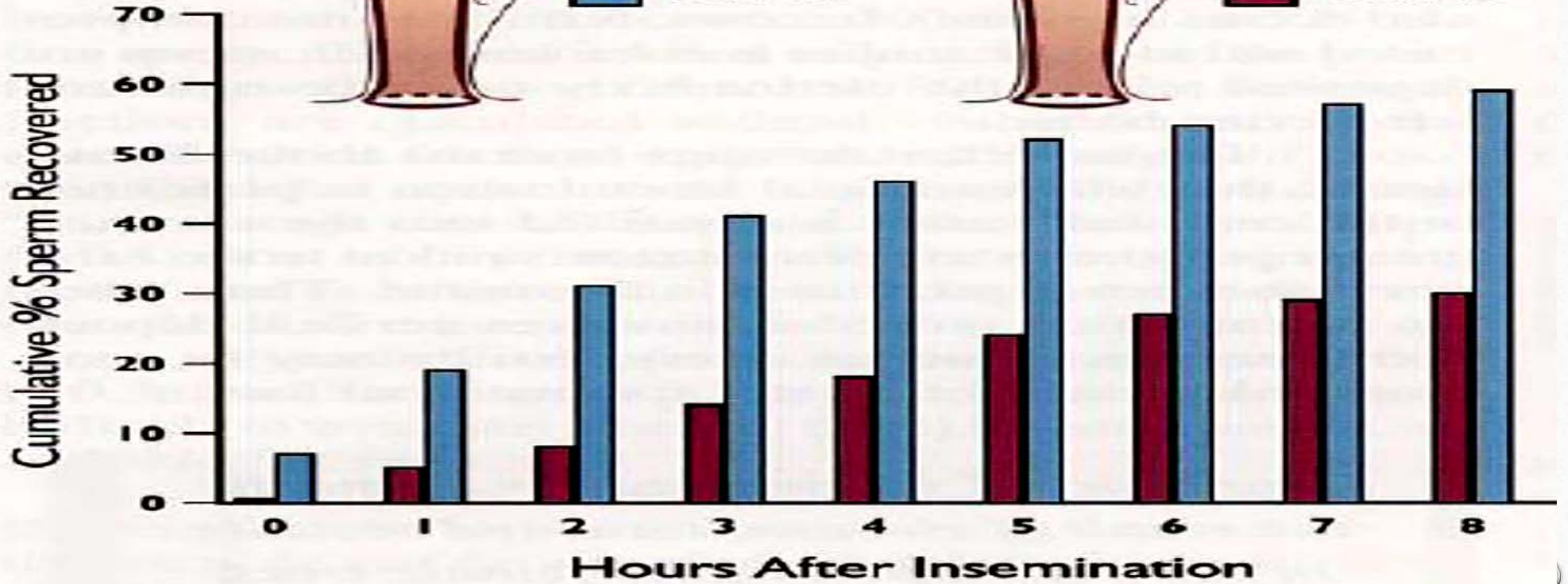
- Bovins – ovins
- 60 % des spz perdus 12 h après IA
- Degré de sperme récupéré du vagin (indication de perte rétrograde) similaire
 - IA au corps utérin
 - IA dans les deux cornes
- Degré de sperme récupéré du vagin plus élevé
 - IA cervicale



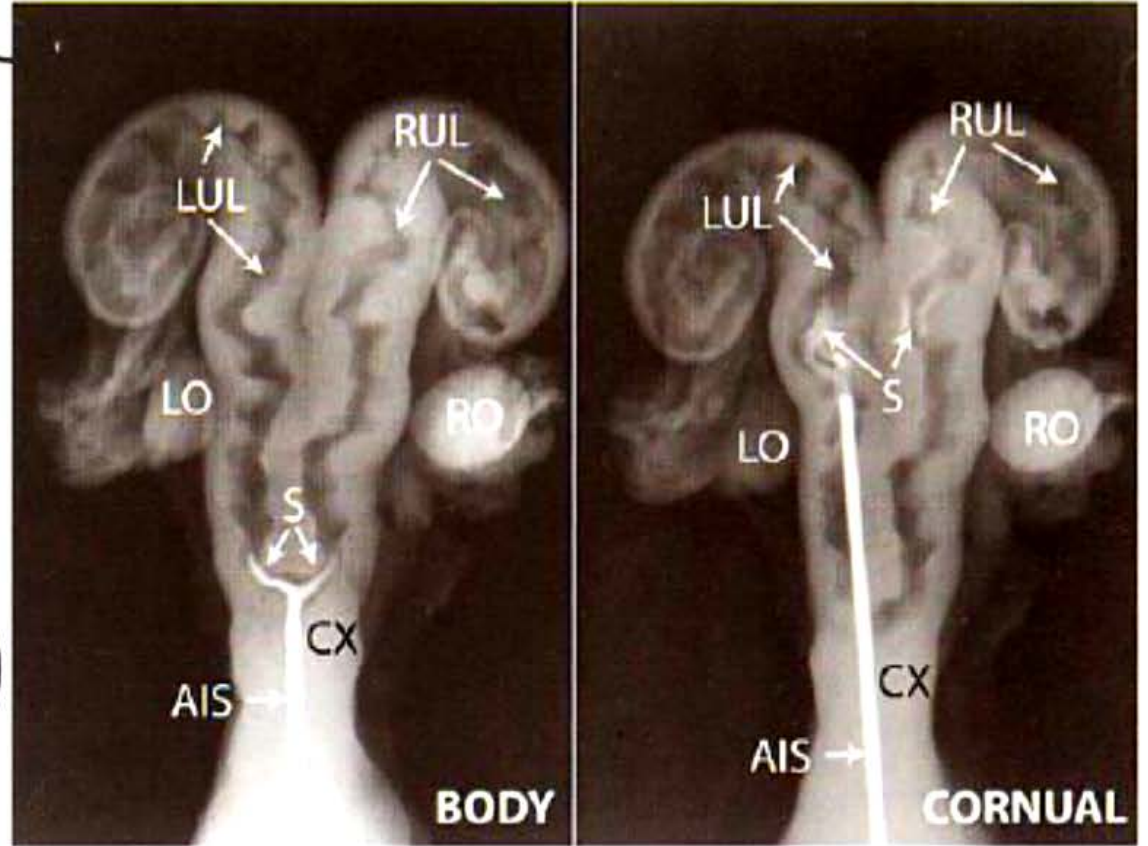
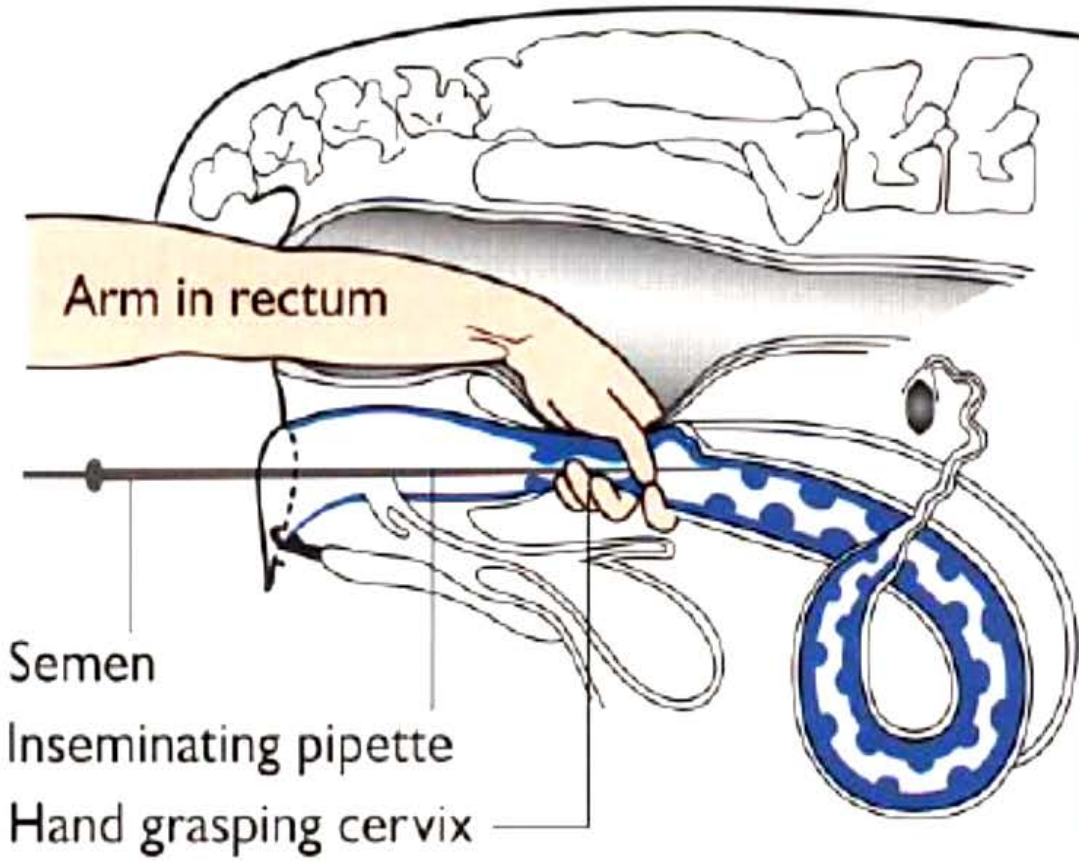


■ Cervical

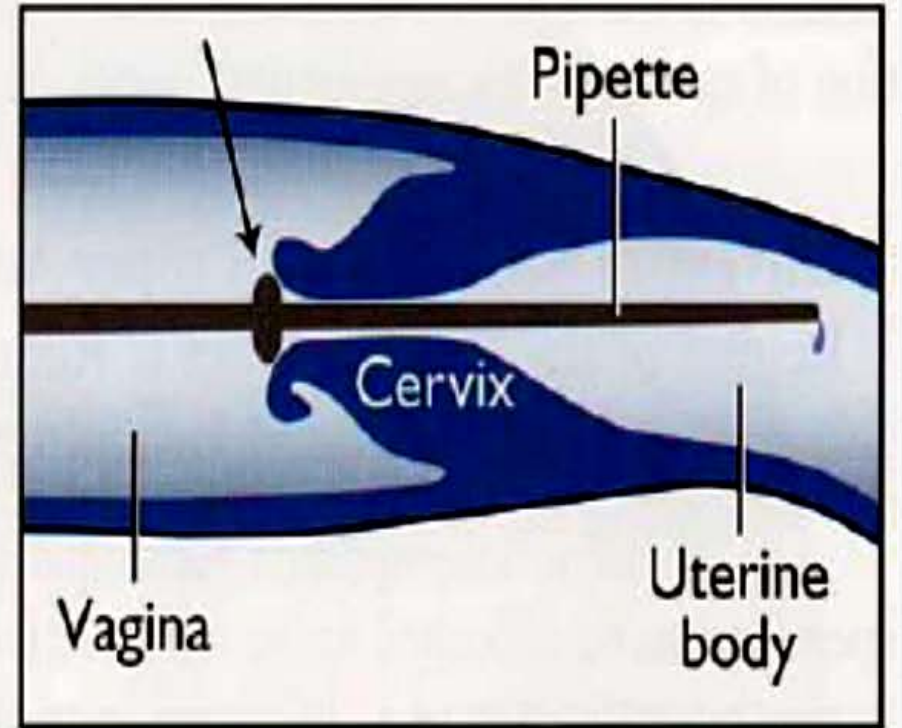
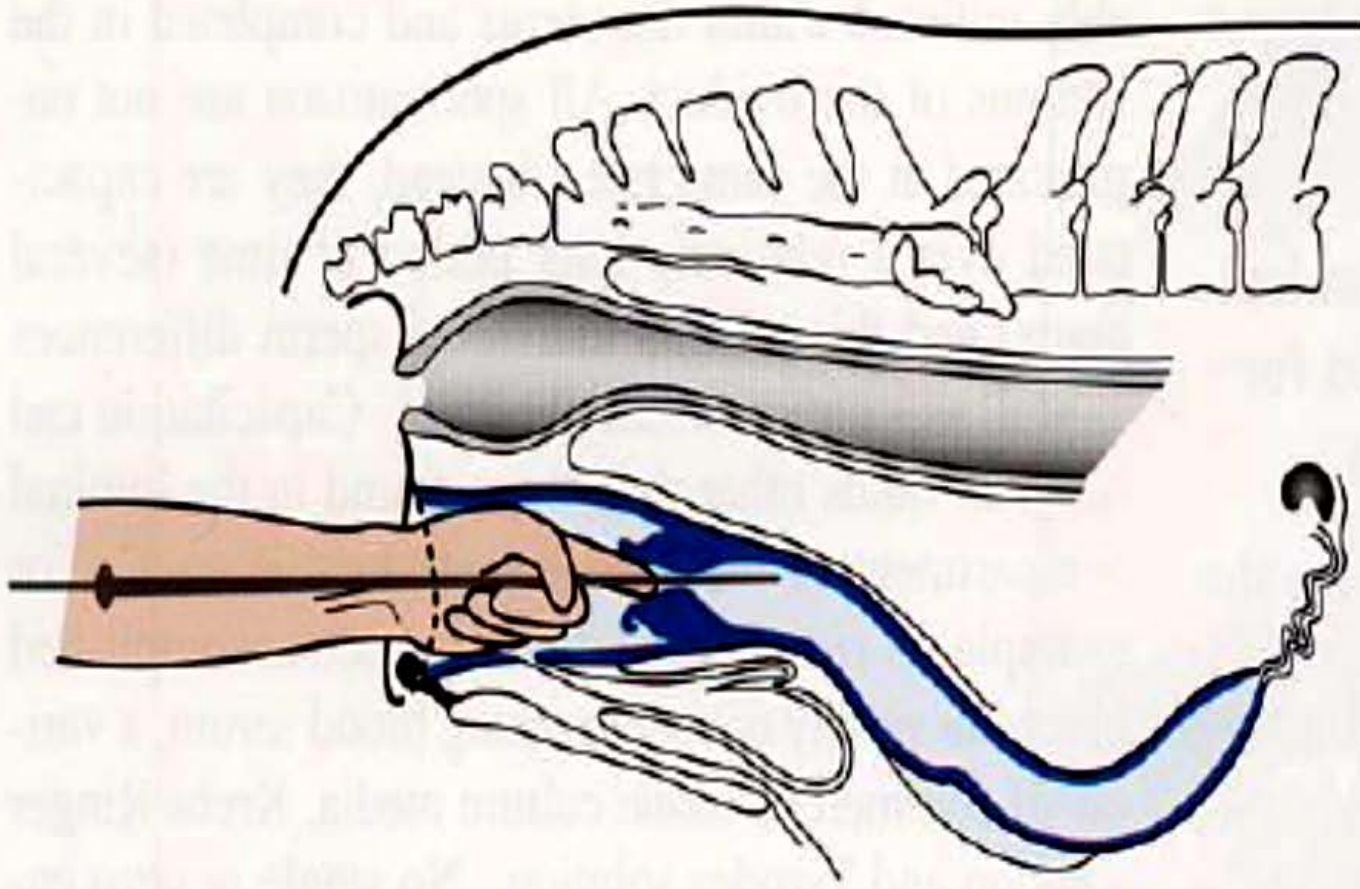
■ Cornual



Cow



Mare



Transport des spz

- Phase de transport rapide
- Phase de transport soutenue

- Le transport des spz est le résultat d'une augmentation de la **tonicité** et de la **motilité** de la **musculeuse** des voies génitales femelles

Capacitation

Capacitation des spz

- Acquisition du pouvoir fécondant
- Elimination du plasma séminal
- Changements membranaires
- Changements de mobilité : l'amplitude du battement du flagelle est augmentée, il en résulte un battement de la tête
- Changements métaboliques

Capacitation des spz

- La capacitation demande au plus 6 à 8 heures et le spermatozoïde peut survivre **plusieurs jours voire plusieurs semaines** dans des sites privilégiés de la jonction utéro tubaire, isthme.

Epididymal



+

Seminal plasma



Ejaculated

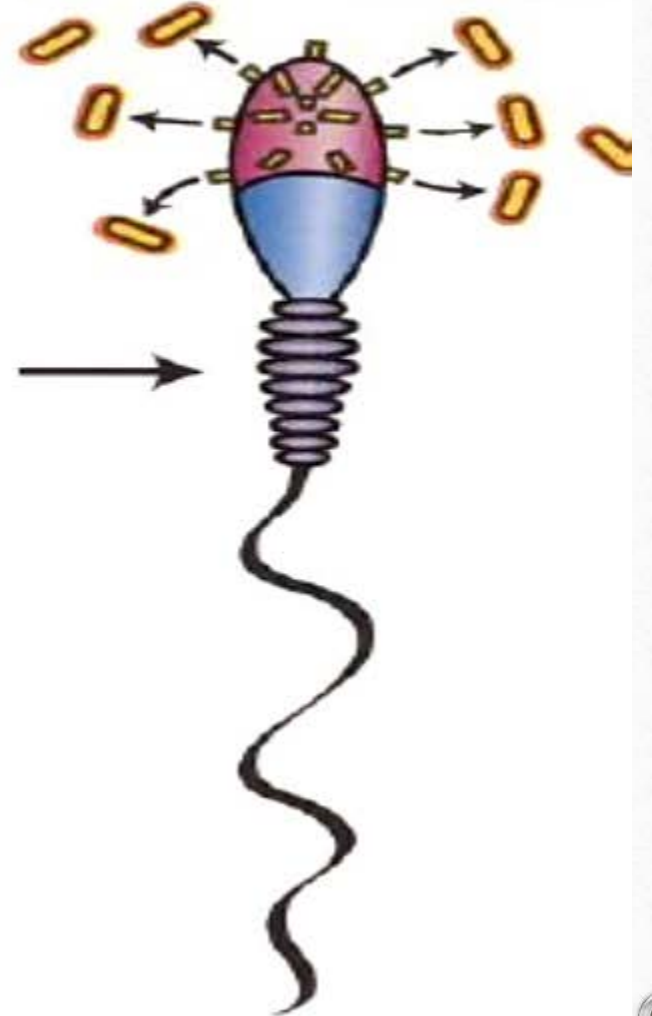


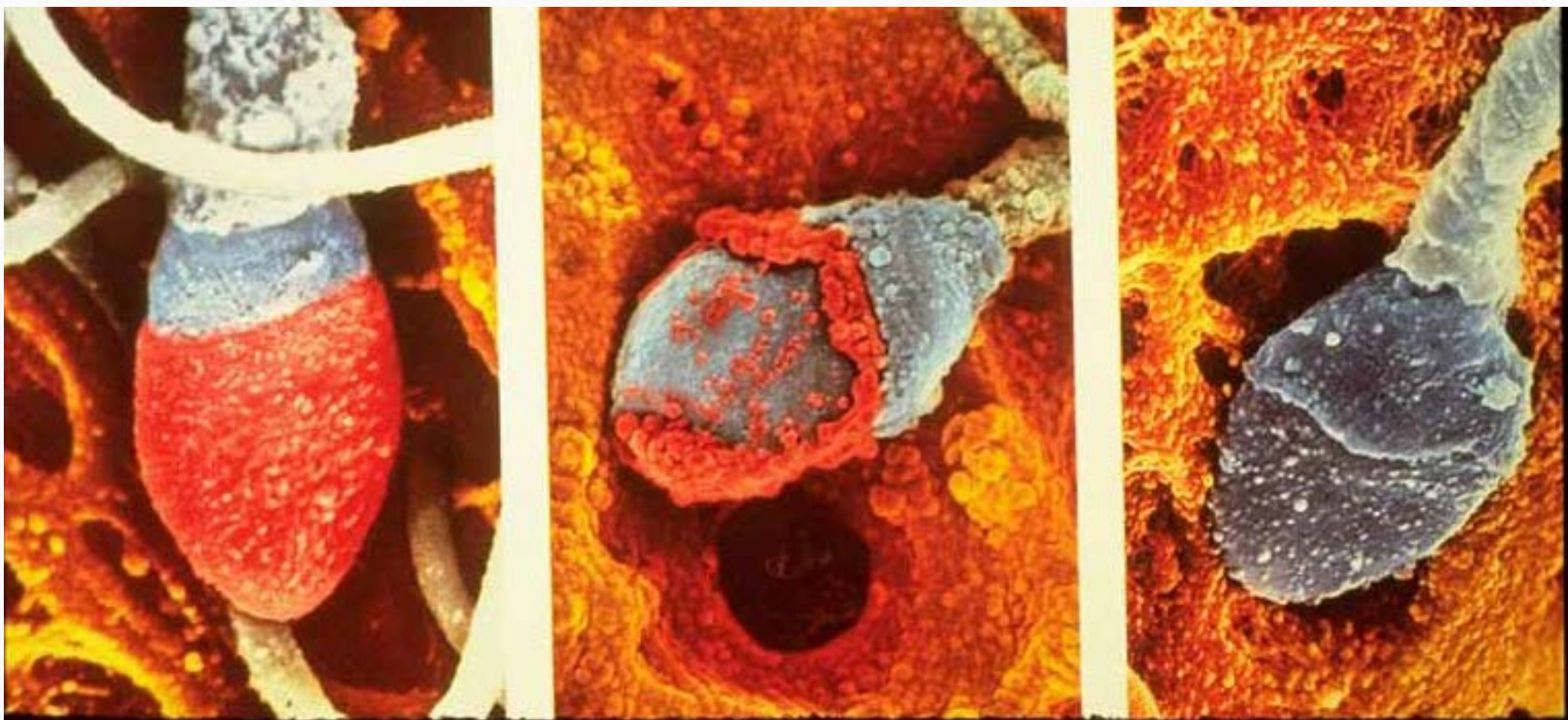
+

Female tract



Capacitated





Viabilité et durée de la capacité fertilisante des spermatozoïdes

- Chez la vache, la durée de fertilisation du gamète mâle est d'environ 24 heures
 - Si la saillie ou IA est réalisée 13 à 19 heures avant l'ovulation, la fertilité est optimum (85 %)
 - La fertilité tombe à 57 % si la saillie a lieu 6 heures avant l'ovulation
 - La fertilité se réduit à 30 % quand l'accouplement a lieu 2 heures ou moins avant l'ovulation

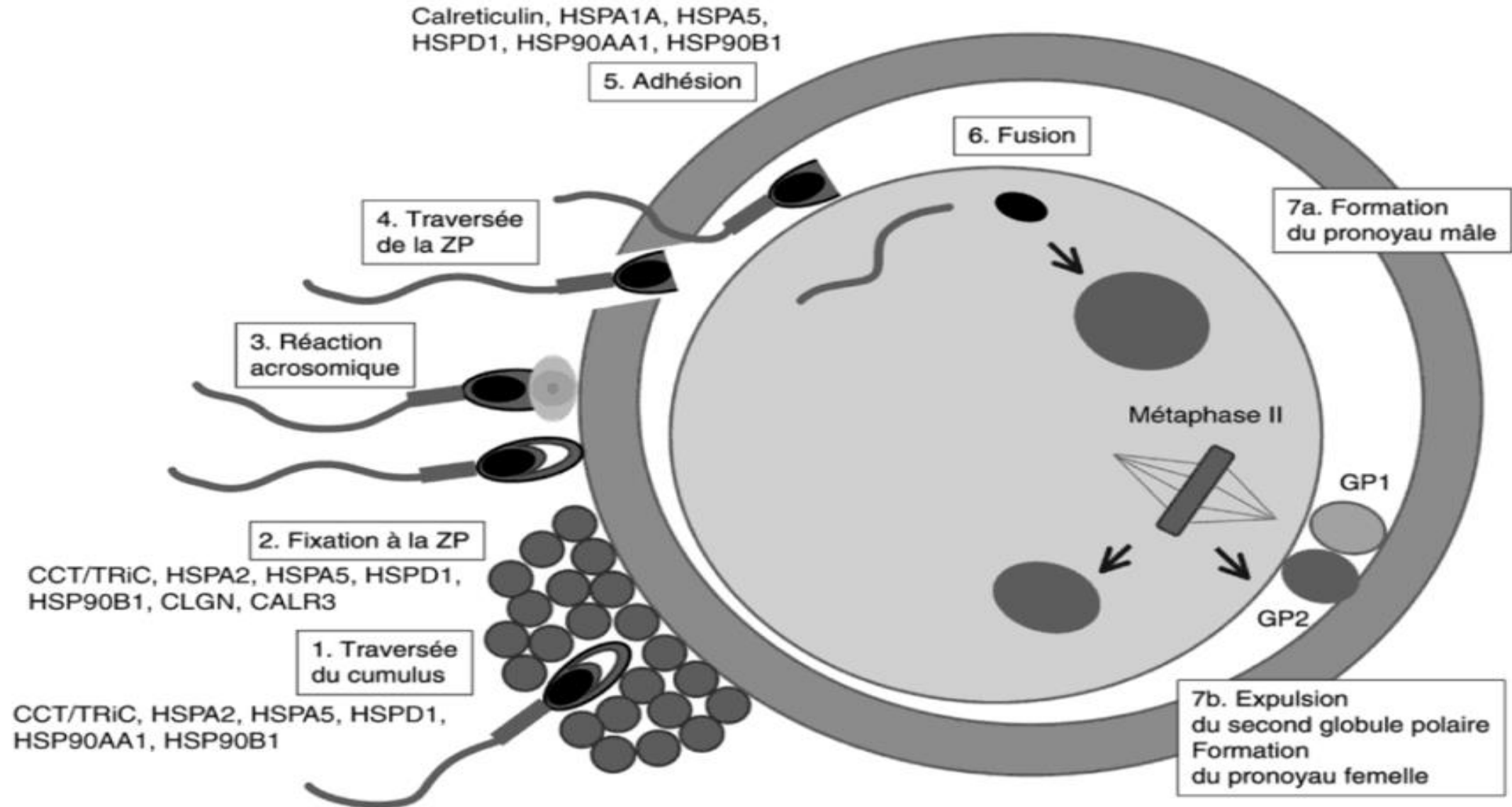
Viabilité et durée de la capacité fertilisante des spermatozoïdes

- Le nombre de spermatozoïdes atteignant l'endroit de fertilisation est extrêmement faible par rapport à leur nombre dans l'éjaculat
- Cela permet de prévenir la possibilité de polyspermie et le développement anormal de l'œuf

Viabilité et durée de la capacité fertilisante des spermatozoïdes

- Pour assurer une **bonne fécondation** chez les femelles domestiques, il faut s'en tenir **24 heures** comme durée moyenne de maintien de la capacité fertilisante du sperme dans les voies génitales femelles
- On a cependant signalé des durées de **30 heures chez la vache**, et la **brebis**, de 24 à 48 heures chez la truie et de **144 heures chez la jument**

**Fusion des gamètes : la
fécondation proprement dite**



Fusion des gamètes : la fécondation proprement dite

- Elle aboutit à la formation de l'œuf, cellule à $2n$ chromosomes qui subit très rapidement une première division cellulaire conduisant à deux cellules filles, première étape de la vie du produit de la conception
- Au cours du déroulement de la fécondation, on peut distinguer plusieurs stades caractéristiques

Le piégeage des spermatozoïdes et la traversée des enveloppes de l'ovocyte

- Le gamète femelle et la masse visqueuse qui l'entoure, obstruent le fin canal de la trompe
- Les spermatozoïdes qui remontent la trompe sont piégés
- De plus, les spermatozoïdes sont attirés par l'ovocyte qui émet des hormones : **les fertilisines**

Le piégeage des spermatozoïdes et la traversée des enveloppes de l'ovocyte

- L'un des spermatozoïdes va toucher la membrane pellucide et le désagréger par l'intermédiaire d'une enzyme « **la hyaluronidase** » qui est contenu dans son acrosome et sous une poussée de son flagelle arrive au contact de la membrane plasmique de l'ovocyte

Le piégeage des spermatozoïdes et la traversée des enveloppes de l'ovocyte



Le piégeage des spermatozoïdes et la traversée des enveloppes de l'ovocyte



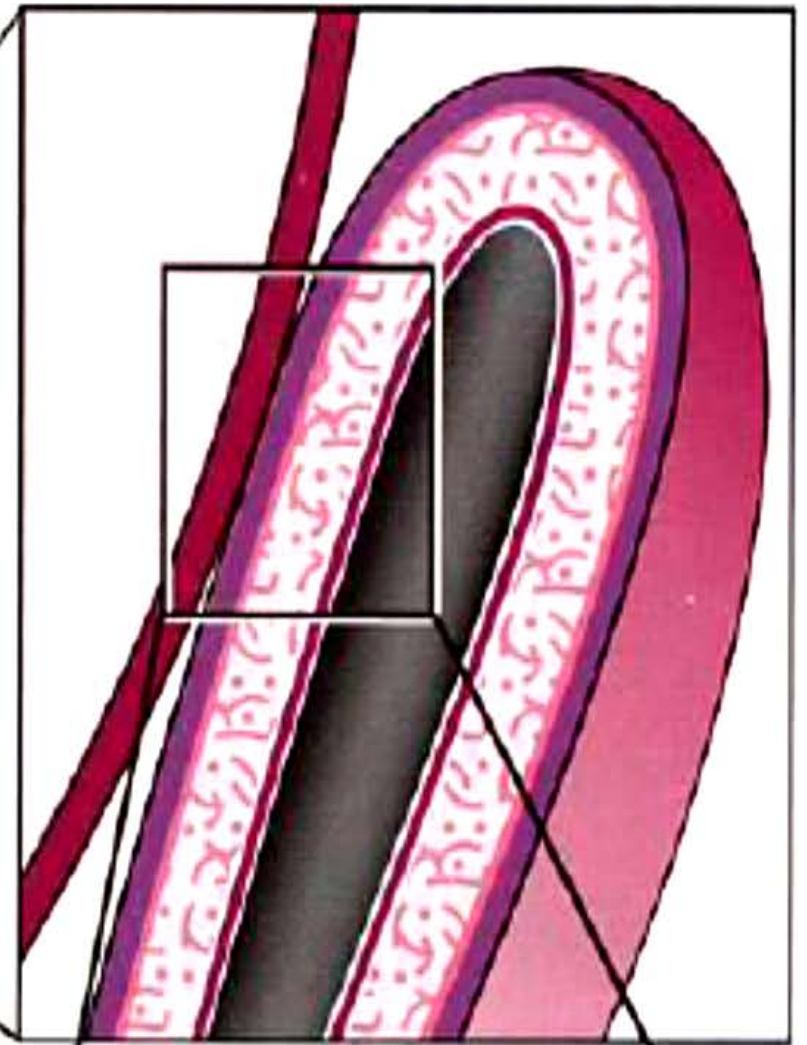
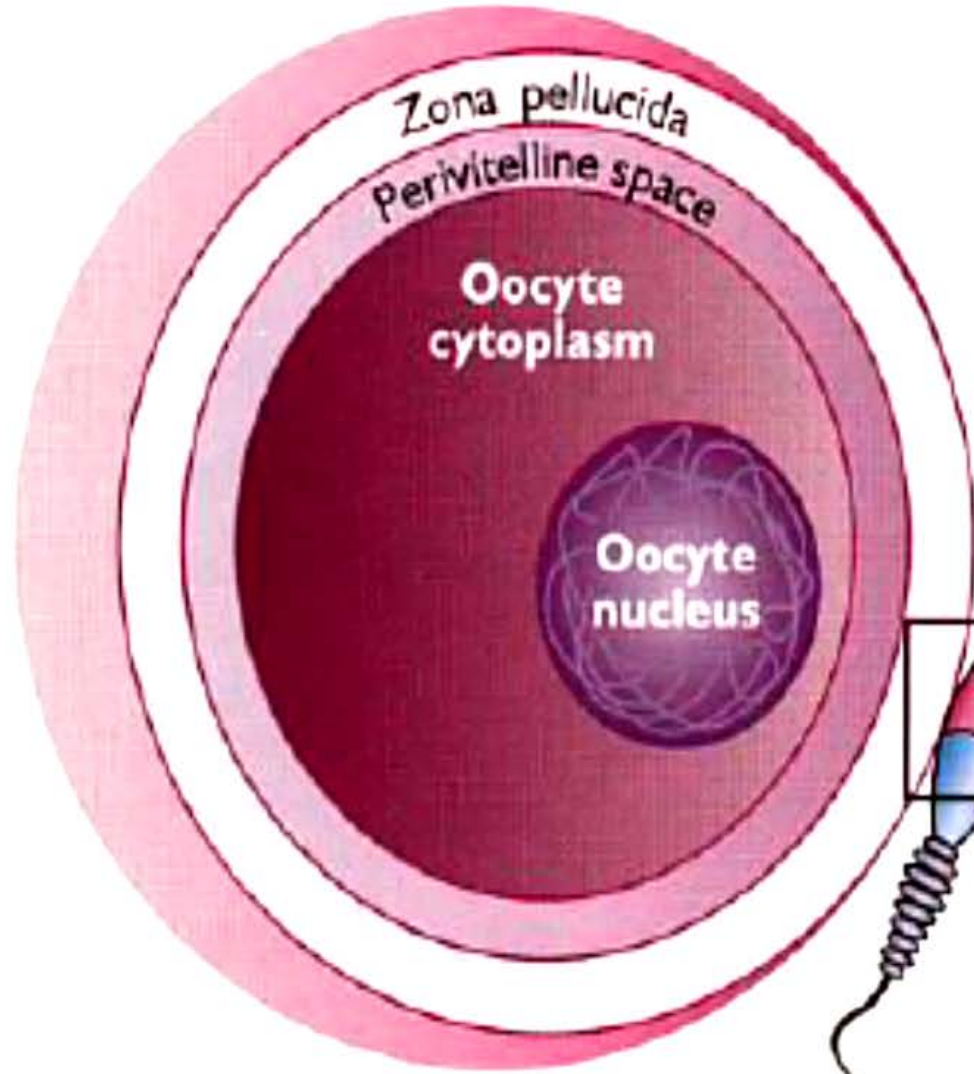
Fusion du spz avec la ZP de l'ovocyte et
initiation de la réaction d'acrosome

La réaction de l'acrosome

- La réaction de l'acrosome aboutit à la libération et à l'activation d'enzymes de l'acrosome telles que **l'acrosine** et **une enzyme analogue à la neuraminidase** qui vont permettre **la pénétration de la corona radiata et de la zone pellucide**

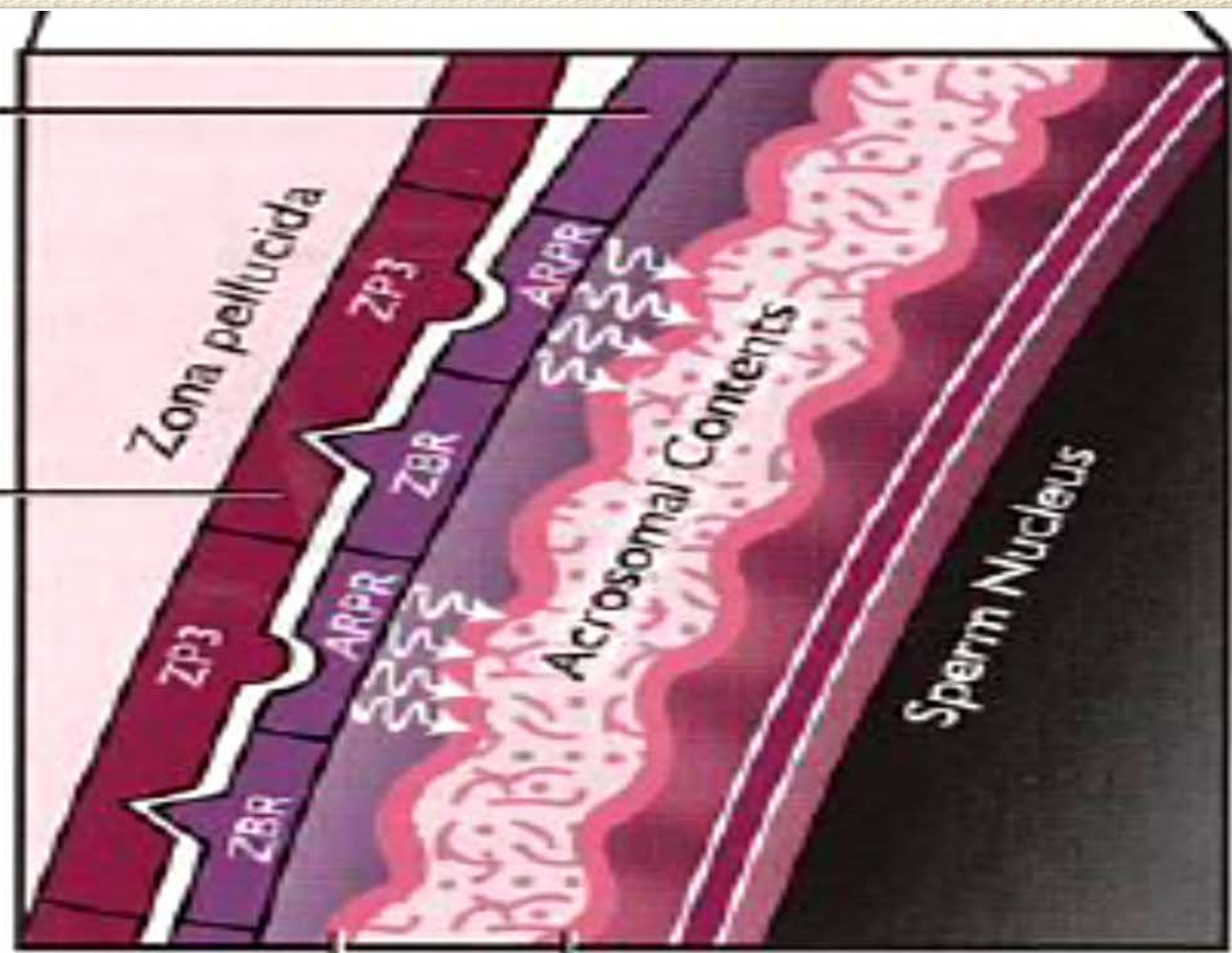
La réaction de l'acrosome

- Elle se produit en plusieurs étapes : **vésiculation, apparition de pertuis et finalement disparition de la membrane**



Sperm plasma membrane

Surface of zona pellucida



Zona pellucida

ZP3

ZBR

ARPR

ZP3

ZBR

ARPR

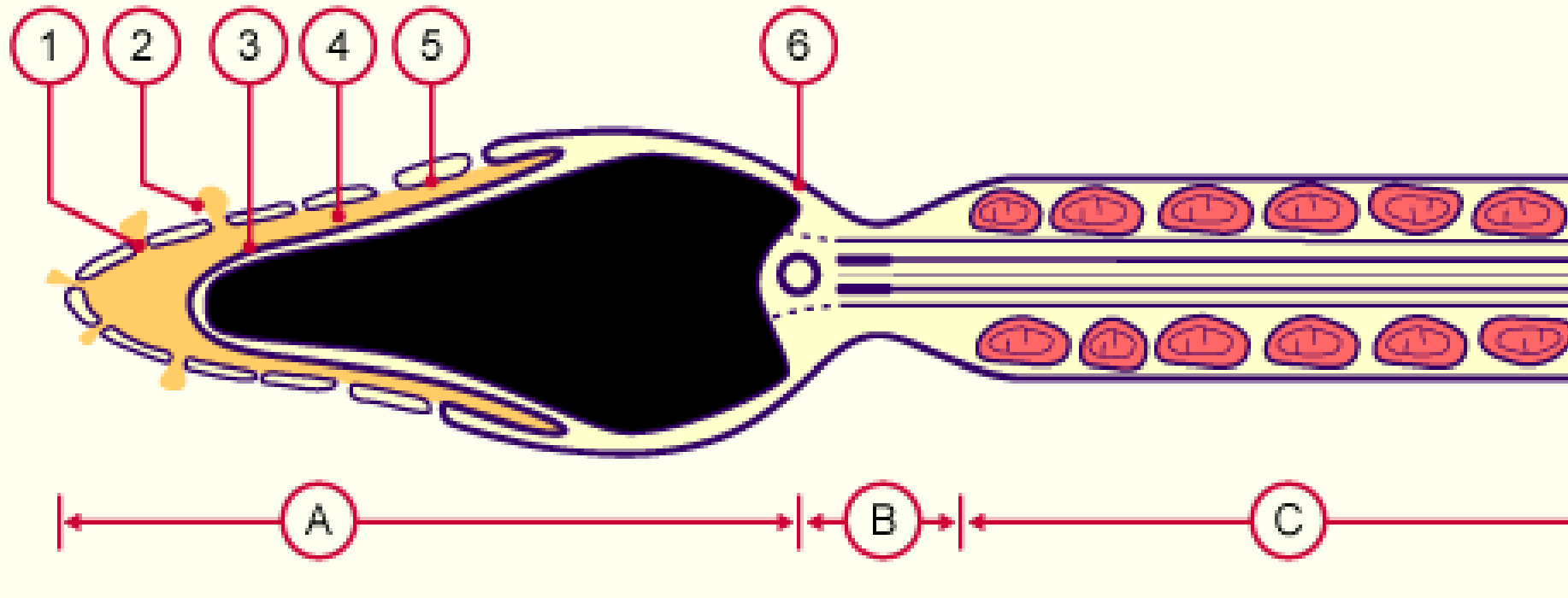
Acrosomal Contents

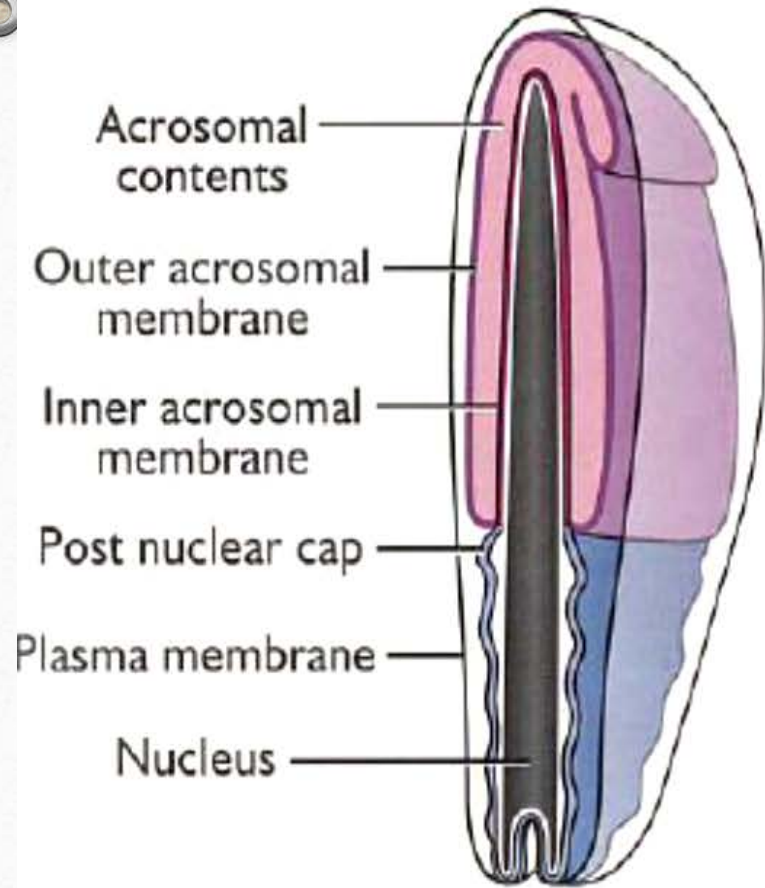
Sperm Nucleus

OAM

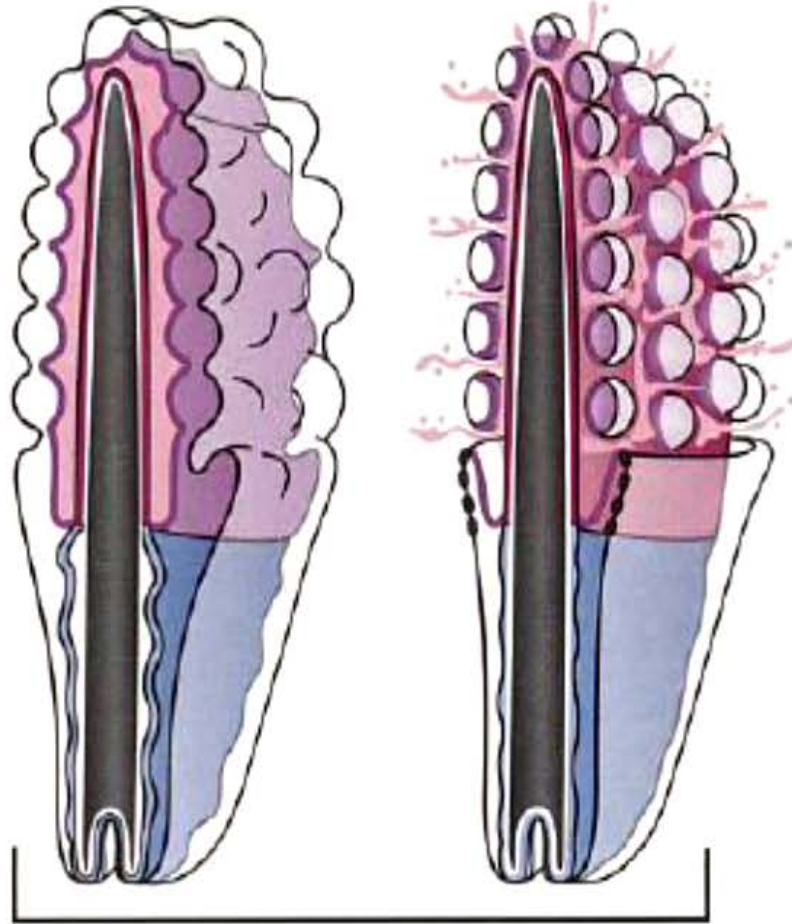
IAM

- 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

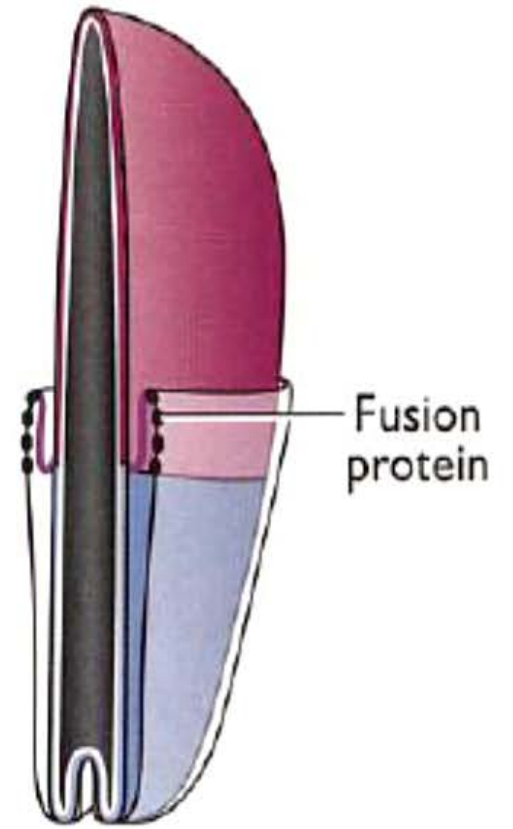




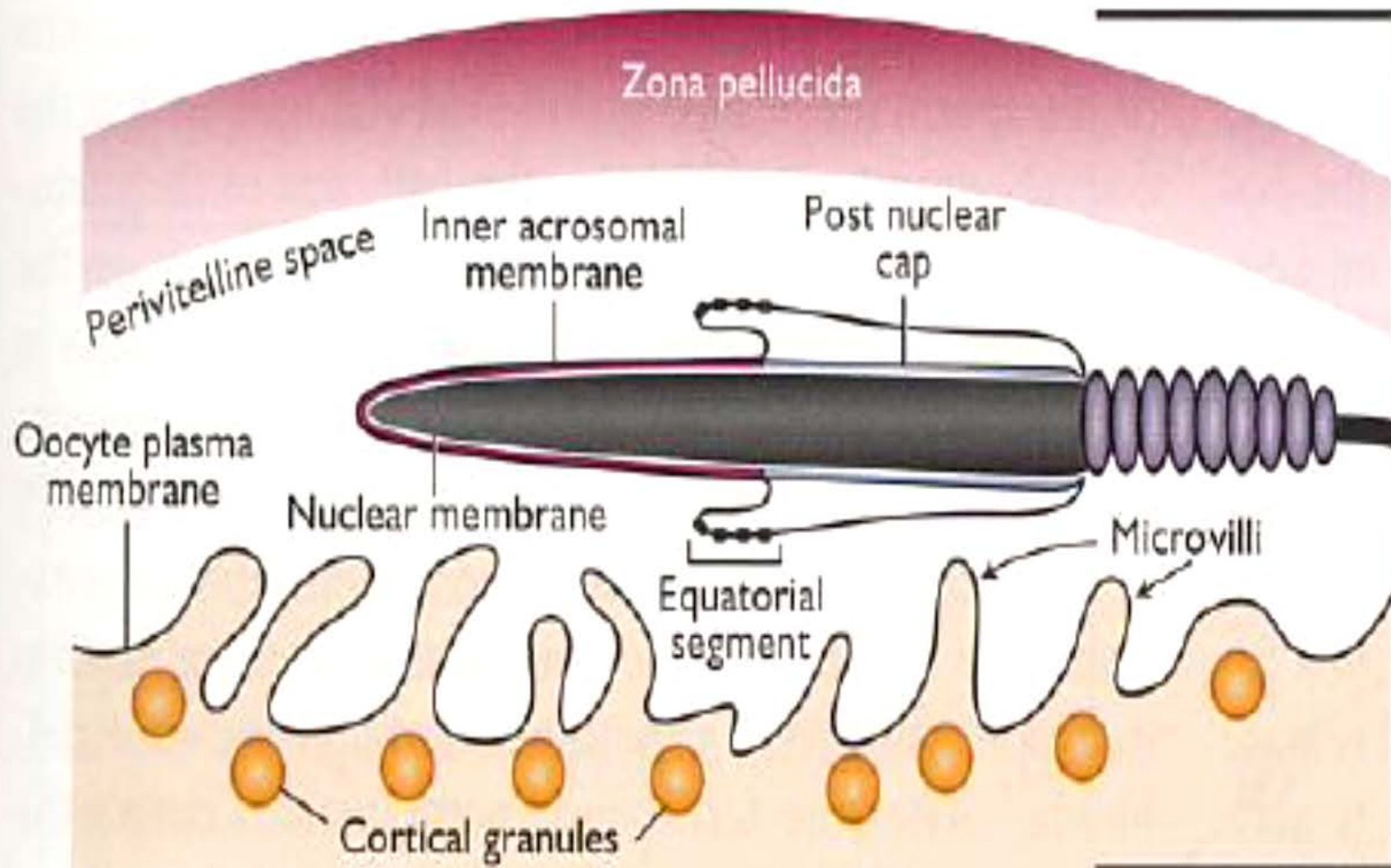
Before acrosome reaction



During acrosome reaction



After acrosome reaction



**Before
membrane
fusion**

Zona pellucida

Inner acrosomal membrane

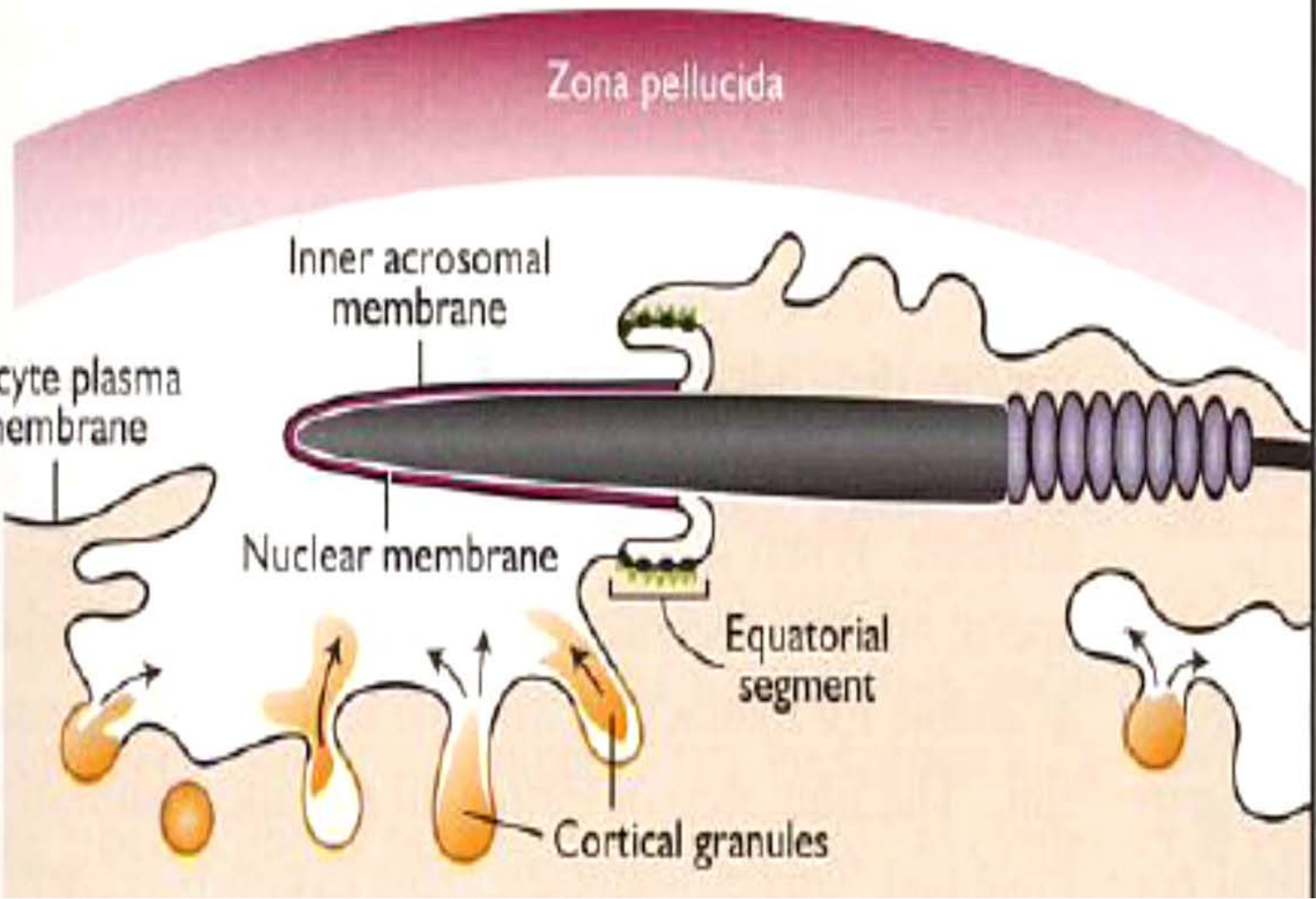
Oocyte plasma membrane

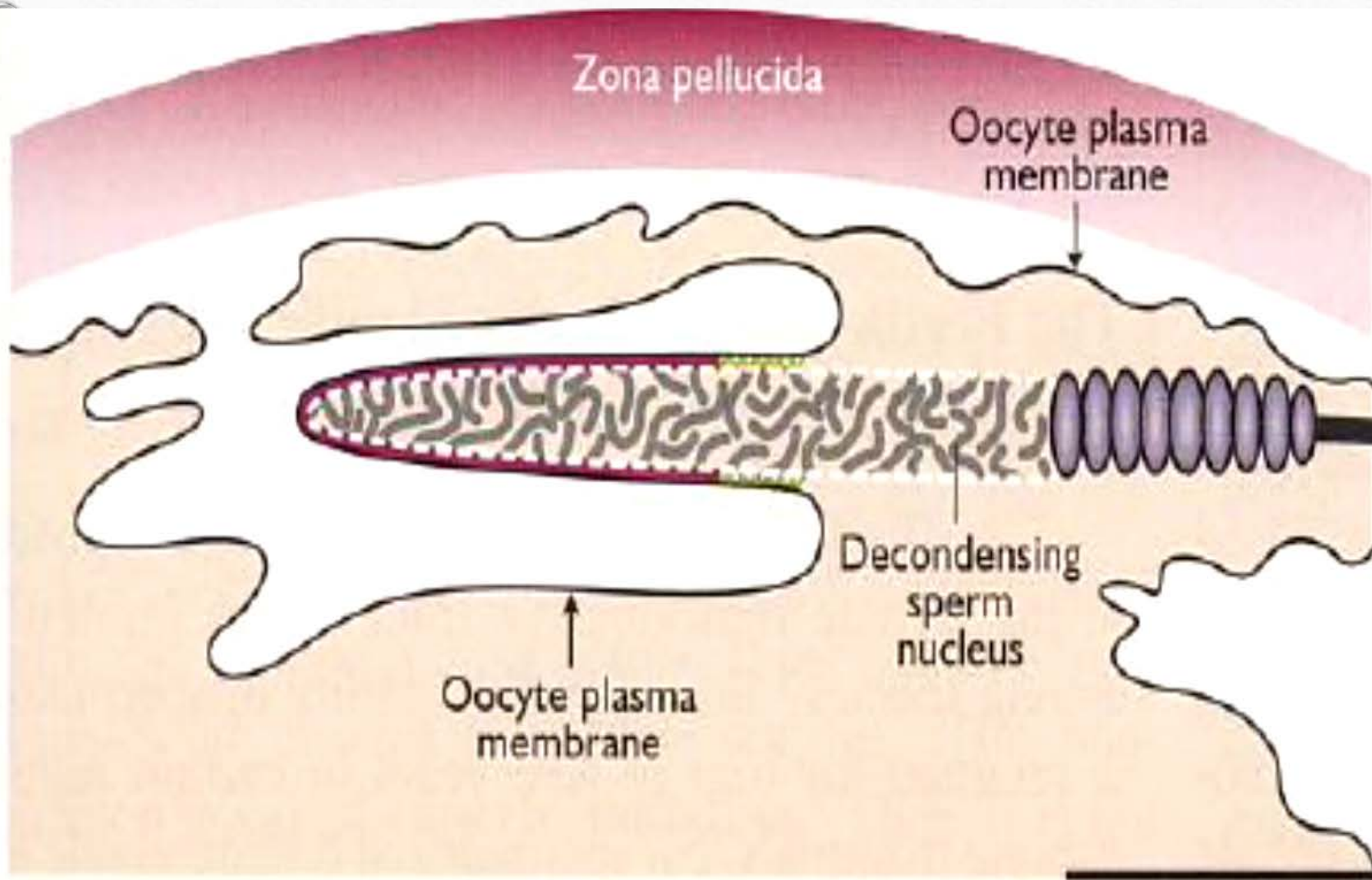
Nuclear membrane

Equatorial segment

Cortical granules

During membrane fusion

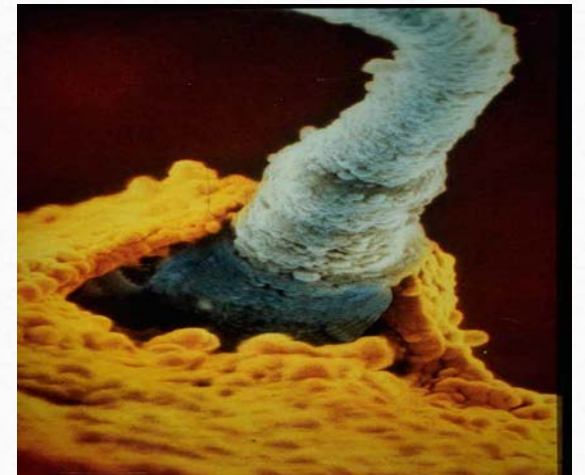




**After
membrane
fusion**

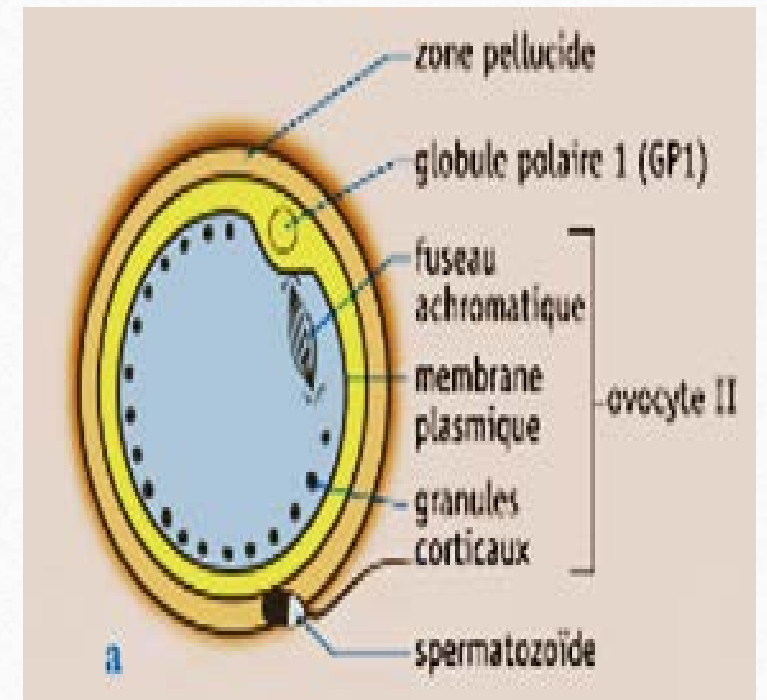
L'entrée du spermatozoïde et la réaction corticale

- Le spermatozoïde s'accroche tangentiellement à l'ovocyte
- Sa membrane plasmique fusionne avec la membrane qui subsiste en arrière de l'acrosome
- Le spermatozoïde alors débarrassé de son flagelle s'enfonce.



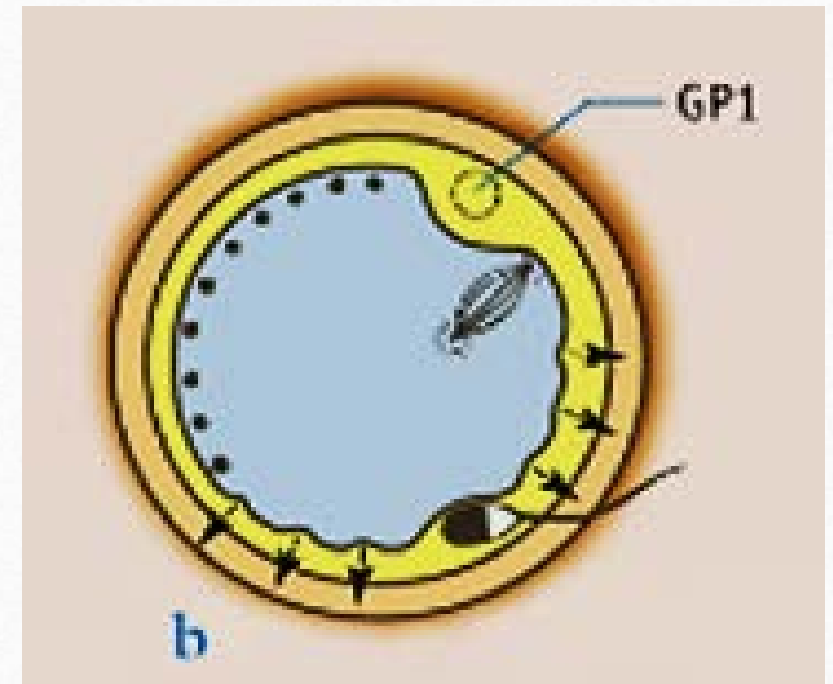
Formation d'une membrane de fécondation

- Au début de la pénétration du spermatozoïde, de minuscules granules de la zone périphérique du cytoplasme ovulaire libèrent leur contenu



Formation d'une membrane de fécondation

- Le matériel ainsi rejeté permet la constitution d'une membrane de fécondation qui se soulève au-dessus de l'ovule empêchant ce dernier d'être pénétré par des spermatozoïdes surnuméraires

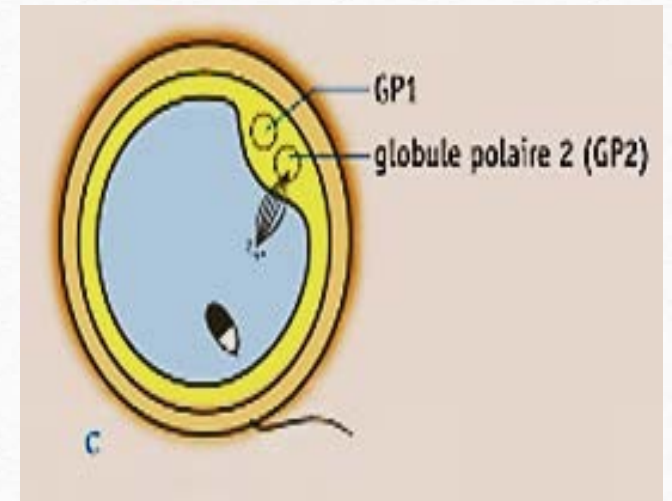


Formation d'une membrane de fécondation

- Il s'agit donc d'un mécanisme de protection contre la **polyspermie**

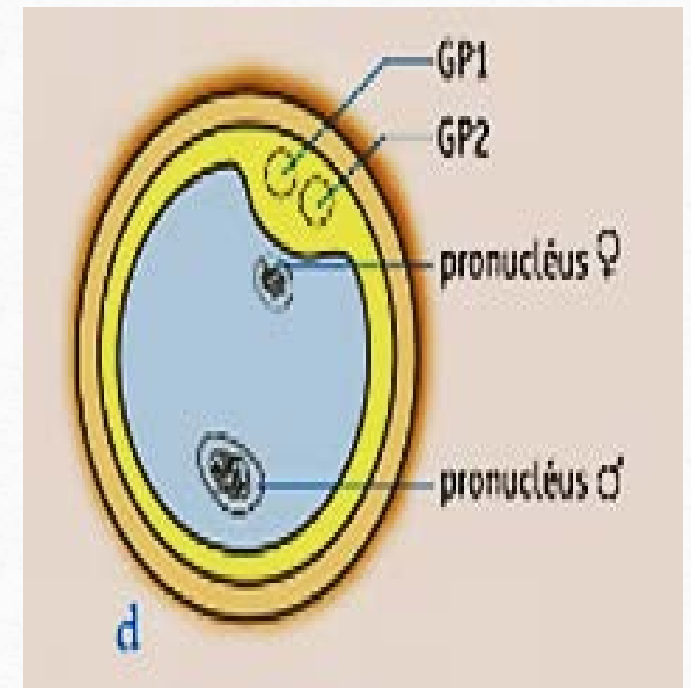
Formation d'une membrane de fécondation

- Il y a reprise de la division de la méiose (l'ovocyte II est bloqué au stade métaphase de la deuxième division méiotique depuis l'ovulation) puis émission du deuxième globule polaire



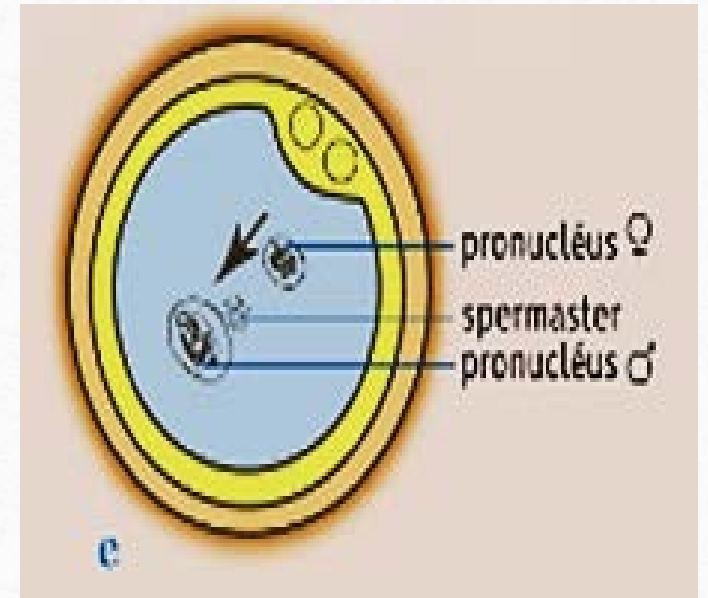
Fusion des noyaux

- La tête du spermatozoïde pénètre dans le cytoplasme du gamète femelle et gonfle, formant le pronucléus mâle.
- La pièce intermédiaire et le centriole proximal pénètrent également, mais se détachent du pronucléus mâle.
- La queue reste en général à l'extérieur



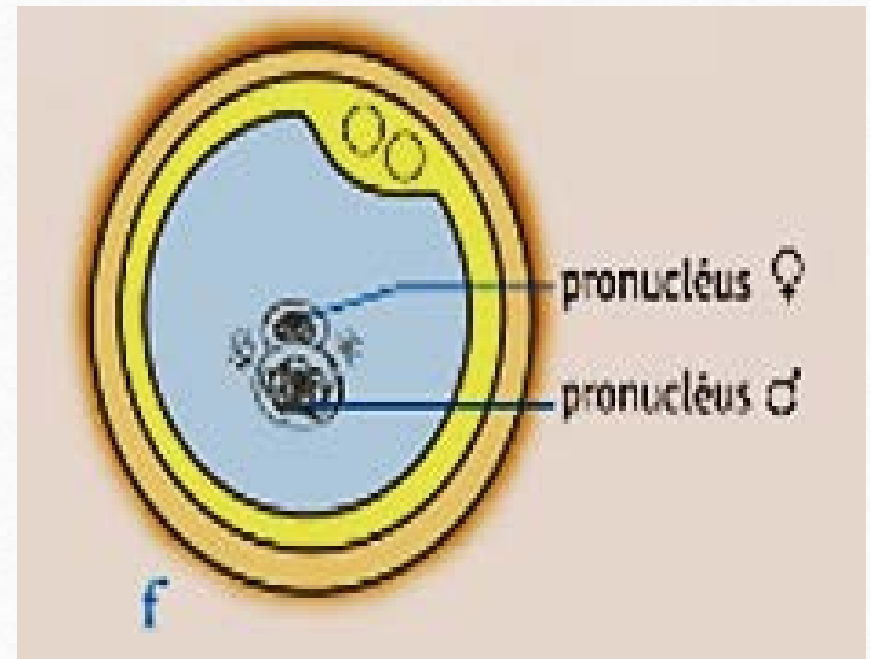
Fusion des noyaux

- Le noyau femelle gonfle, formant un pronucléus femelle
- Le centriole du spermatozoïde s'organise en un demi-fuseau de division, appelé spermaster, qui attire le pronucléus femelle
- Les deux pronucléi se rapprochent tandis que leur ADN se duplique



Fusion des noyaux

- Les deux pronucléi s'accolent
- Le stade œuf est atteint
- Il entre très rapidement en division



Fusion des noyaux

- Il s'est écoulé depuis la mise en contact du spermatozoïde avec la zone pellucide : **10 à 12 heures chez le lapin, 16 à 18 heures chez le mouton, 20 à 24 heures chez le bovin**