

# LE CYTOSQUELETTE

Pré requis : Organisation générale de la cellule.

## OBJECTIFS

- 1- Connaître les protéines composant le cytosquelette et leur mode d'assemblage en filaments ou en tubes.
- 2- Citer 3 classes majeures du cytosquelette hyaloplasmique.
- 3- Citer 3 fonctions des microtubules.
- 4- Citer 10 fonctions des microfilaments d'actine avec protéines associées à l'actine.
- 5- Citer 5 types de filaments intermédiaires en donnant leurs localisations .

# LE CYTOSQUELETTE

## Plan

### I- Généralités

- 1- Définition
- 2- Composition

### II- Microtubules

- 1- Structure
- 2- Rôles des microtubules

### III- Microfilaments d'actine et protéines associées

- 1- Structure des microfilaments d'actine
- 2- Rôles de l'actine F et des protéines associées

### IV- Filaments intermédiaires (FI)

- 1- Structure
- 2- Classification et rôles des FI

### V- Les structures pluri-tubulaires

# **LE CYTOSQUELETTE**

## **I- Généralités**

### **1- Définition**

**Le cytosquelette est représenté par des réseaux complexes formés par des éléments micro tubulaires et filamenteux de nature protéique qui confèrent aux cellules eucaryotes une architecture interne hautement structurée, et une aptitude à changer de forme et à se déplacer.**

**Il va se répartir en deux secteurs :**

- Le secteur exo cytoplasmique : cytosquelette sous-membranaire:  
(= les éléments constitutifs de la périphérie cellulaire ).**
- Le secteur endo cytoplasmique : le cytosquelette proprement dit (hyaloplasmique).**

## 2- Composition

- Ses structures protéiques sont constituées
  - soit de sous unités globulaires :  
microtubules et filaments d'actine.
  - soit d'éléments fibreux : filaments intermédiaires.
- Le cytosquelette comporte 3 grandes classes :
  - 1- les microtubules
  - 2- les micro filaments d'actine et les protéines qui leurs sont associées,
  - 3- et les filaments intermédiaires.

# **II- Microtubules**

## **1- Structure**


- Ce sont des polymères de tubuline ; Il y a deux types de tubuline qui sont des éléments dimériques constitués de deux protéines globulaires de 4 à 5 nm de diamètre, la tubuline alpha et la tubuline bêta qui possèdent approximativement le même poids moléculaire : 50 Kda, et qui s'organisent en dimères : les dimères alpha-bêta de tubuline.**

Tubuline  $\alpha$  ○

Tubuline  $\beta$  ○

4-5 nm

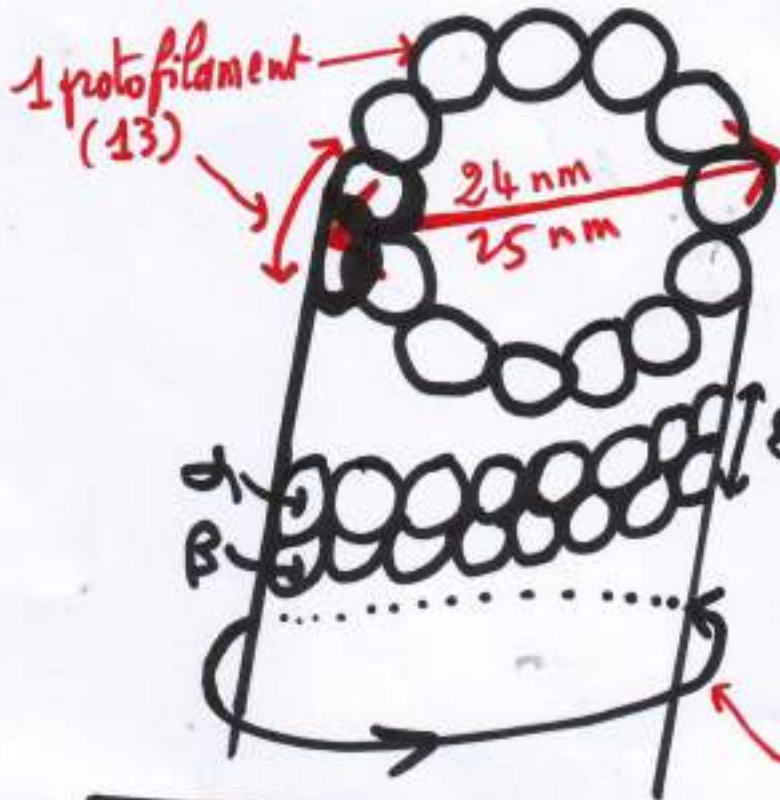
50 kDa

 : 8 nm

hétérodimère

position hélicoïdale

- **Les microtubules réalisent des fibres creuses de 24 nm de diamètre, généralement associés en faisceaux.**
- **Leurs parois résultent de l'arrangement hélicoïdal de 13 protofilaments, qui s'organisent en hétéro dimères alpha-béta de tubuline en séquences répétitives.**



Tubuline  $\alpha$  ○  
 Tubuline  $\beta$  ○

4-5 nm  
 50 kDa

○ ○ : 8 nm

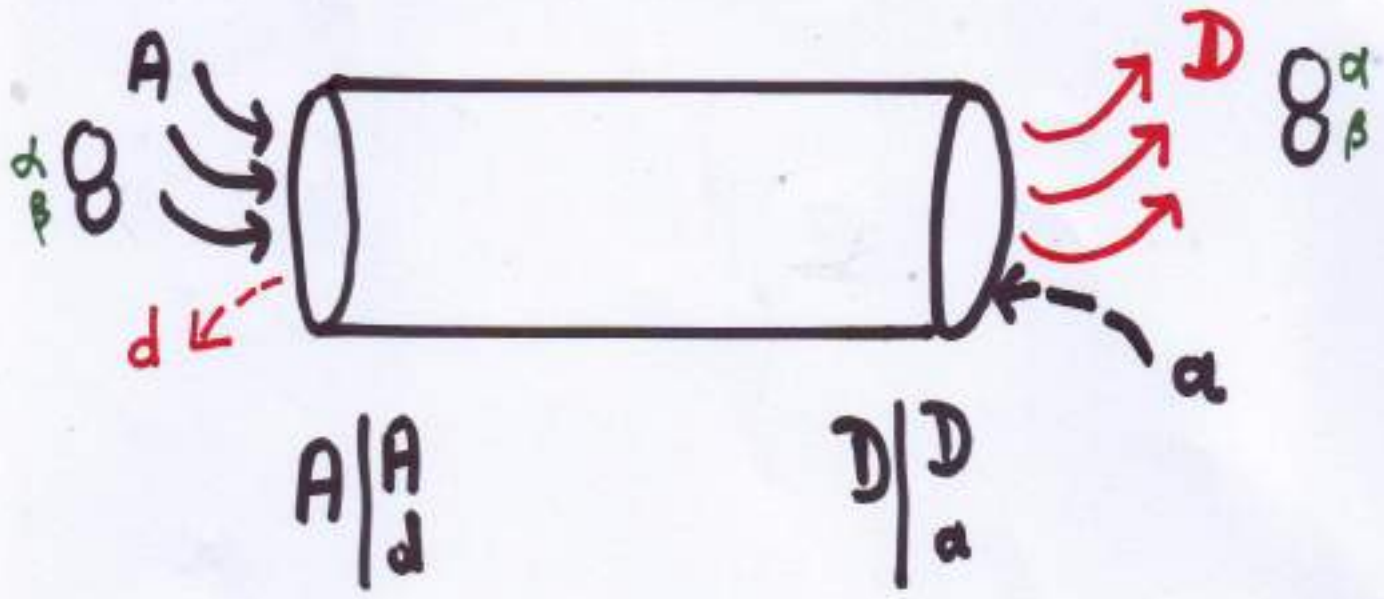
hétérodimère

Disposition hélicoïdale

COUPE TRANSVERSALE  
 D'UN MICROTUBULE

Le microtubule se forme suivant un mécanisme d'association ( polymérisation) et de dissociation de dimères de tubuline. Il est polarisé et présente une extrémité **A** où l'association (A) domine la dissociation (d), et une extrémité **D** où la dissociation (D) domine l'association (a).

UN MICROTUBULE

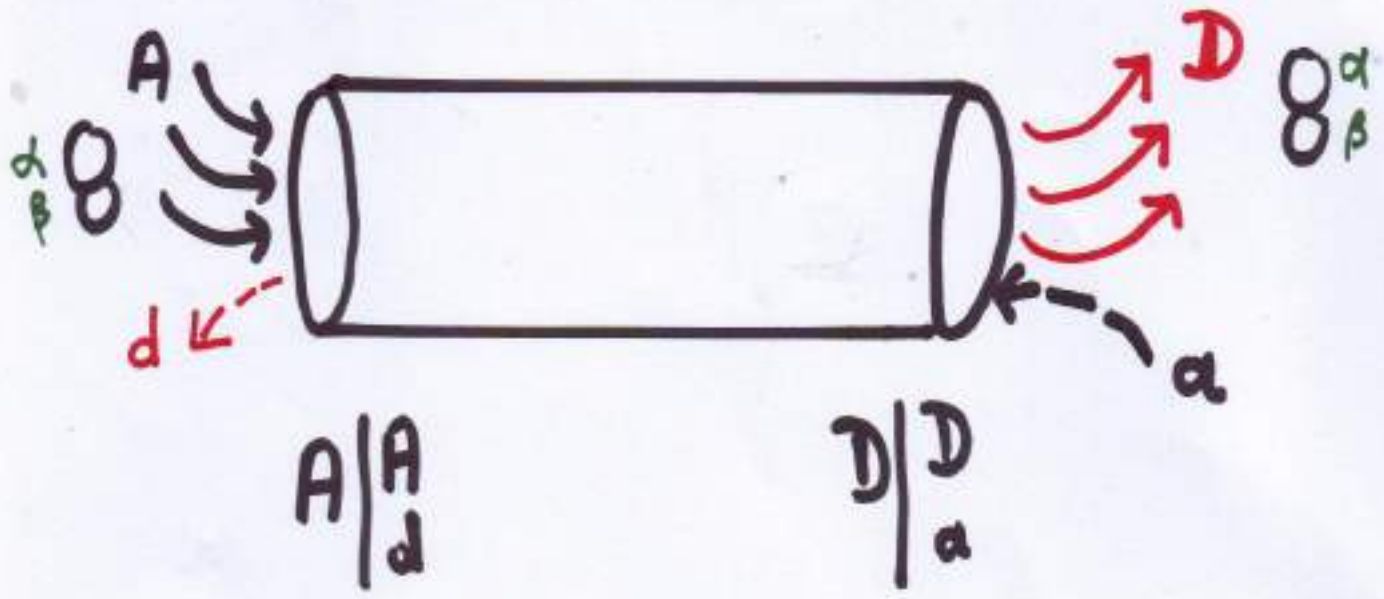


$$A + a = D + d$$

La vitesse d'addition des dimères aux 2 extrémités (  $A+a$  ) = la vitesse de dissociation de ces dimères à ces mêmes extrémités (  $D+d$  ).

Il s'établit ainsi un **équilibre dynamique** avec conservation de la longueur du microtubule qui fonctionne comme un « **tapis roulant** », en perpétuel état dynamique (si association s'arrête, la dissociation fait disparaître le mt ex : colchicine ).

UN MICROTUBULE

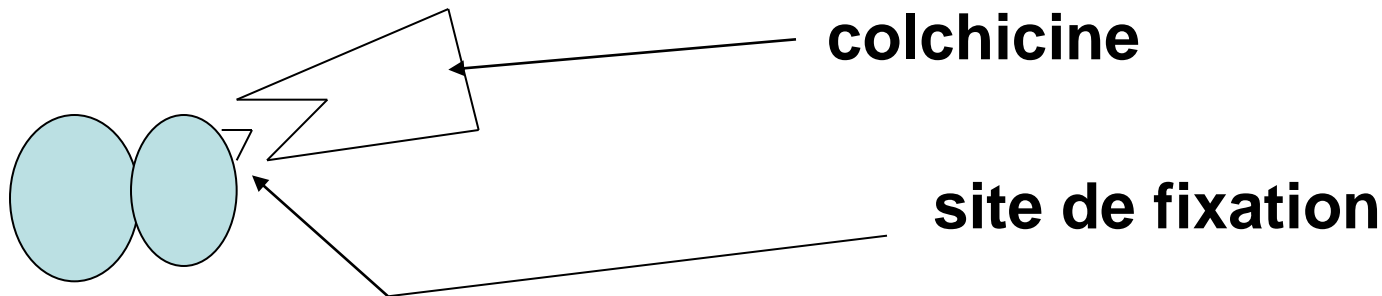


$$A + a = D + d$$

**Chaque dimère possède un site de fixation pour la colchicine;**

**Si une molécule de colchicine se fixe sur un dimère, ce dernier va pouvoir s'ajouter à une extrémité A, mais va empêcher à tout autre dimère de venir s'associer, d'où rupture d'équilibre et disparition du microtubule.**

**Application: Caryotypage et Mitose.**



- Les microtubules rayonnent à partir des centrioles qui sont des structures pluritubulaires
- Les cils et les flagelles sont issus de corpuscules basaux qui possèdent une structure de type centriolaire.
- Centrioles et corpuscules basaux sont considérés comme des centres organisateurs des microtubules.
- **NB** : Des centrioles isolés et purifiés, injectés dans des ovocytes d'amphibiens, initient la polymérisation de mt ( comme in vitro).
- Les microtubules contiennent, en petite quantité, un nombre réduit de protéines autres que les tubulines, les protéines associées ( **[MAPs]** **microtubule-associated- protéins**), qui diffèrent selon l'origine des microtubules.

## **2- Rôles des microtubules**

**1/ Les Mt participent au maintien de la forme des cellules ( ce qui légitime la notion de cytosquelette);**

**NB: Dans un milieu contenant de la colchicine, les plaquettes sanguines perdent leur forme de disques biconcaves sous-tendue par des mt, pour devenir sphériques.**

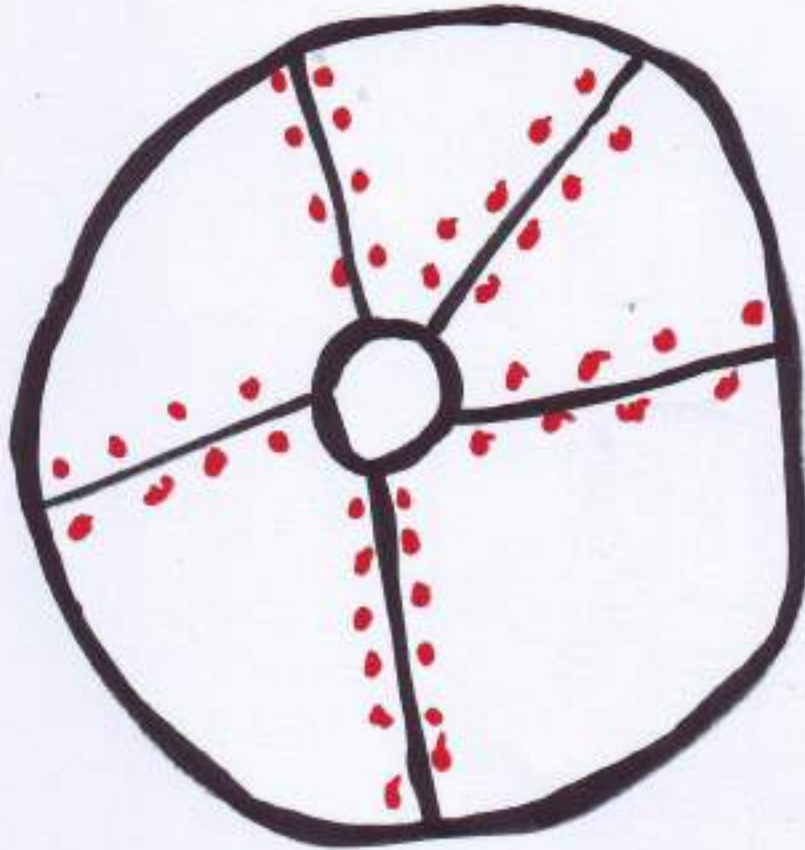
**Hématies ( actine + spectrine + ankirine).**

## **2/ Rôle de transport cellulaire**

**Les mt servent de « guide » pour les transports intracellulaires de molécules ou de petits organites.**

**NB : Les granules pigmentaires sont acheminés le long des microtubules rayonnants des Cellules mélanophores.**

**3/ Au début de l'interphase, les mt guident les petites vésicules golgiennes éparpillées dans le cytoplasme pendant la mitose, de manière à reconstituer la structure classique des dictyosomes.**



- molécules
- petits organites
- granules pigmentaires

Cellule

## **4/ Migration des chromosomes pendant la mitose:**

### **- Microtubules kinétochoriens:**

**Ce sont des mt rattachés aux kinétoscopes, formations situées dans la région centromérique des chromosomes et ayant une structure à trois feuillets ( interne, intermédiaire et externe).**

**- Microtubules astériens, qui partent des asters.**

**- Microtubules polaires, qui proviennent des 2 pôles**

**- et les microtubules libres, qui sont libres dans le Cytoplasme: les chromatides se séparent et sont tirées vers les pôles par les microtubules kinétochoriens;  
Il y a glissement des mt polaires les uns sur les autres.**



kinetochore

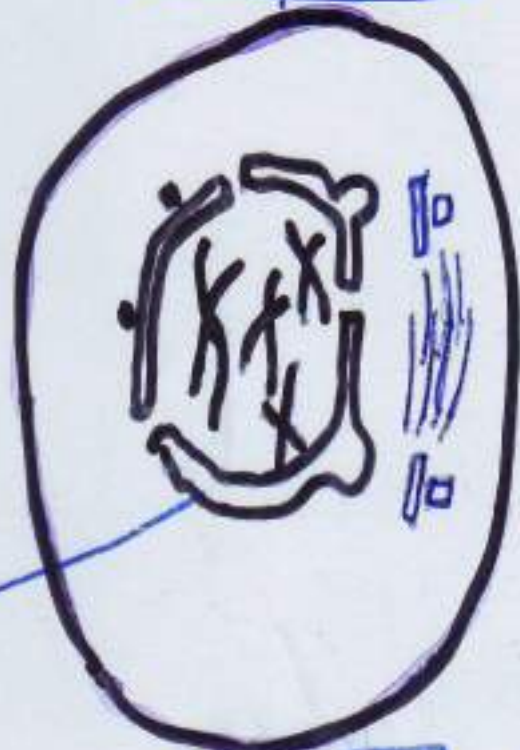
mit k.

mitose: → 19 Prophase

fragmentation de l'enveloppe nucléaire,

le →

enveloppe nucléaire



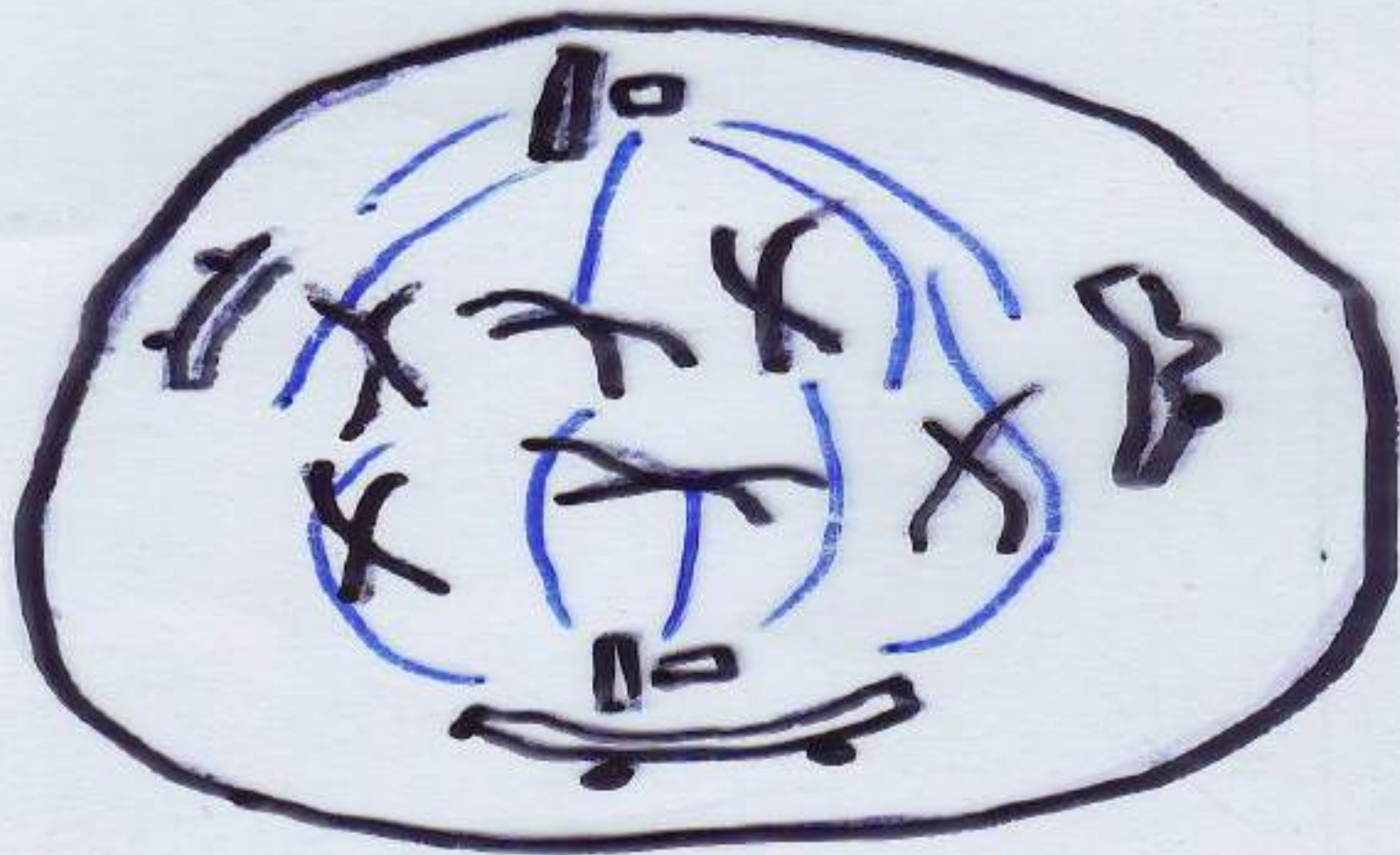
prophase

\* nucléoles: →



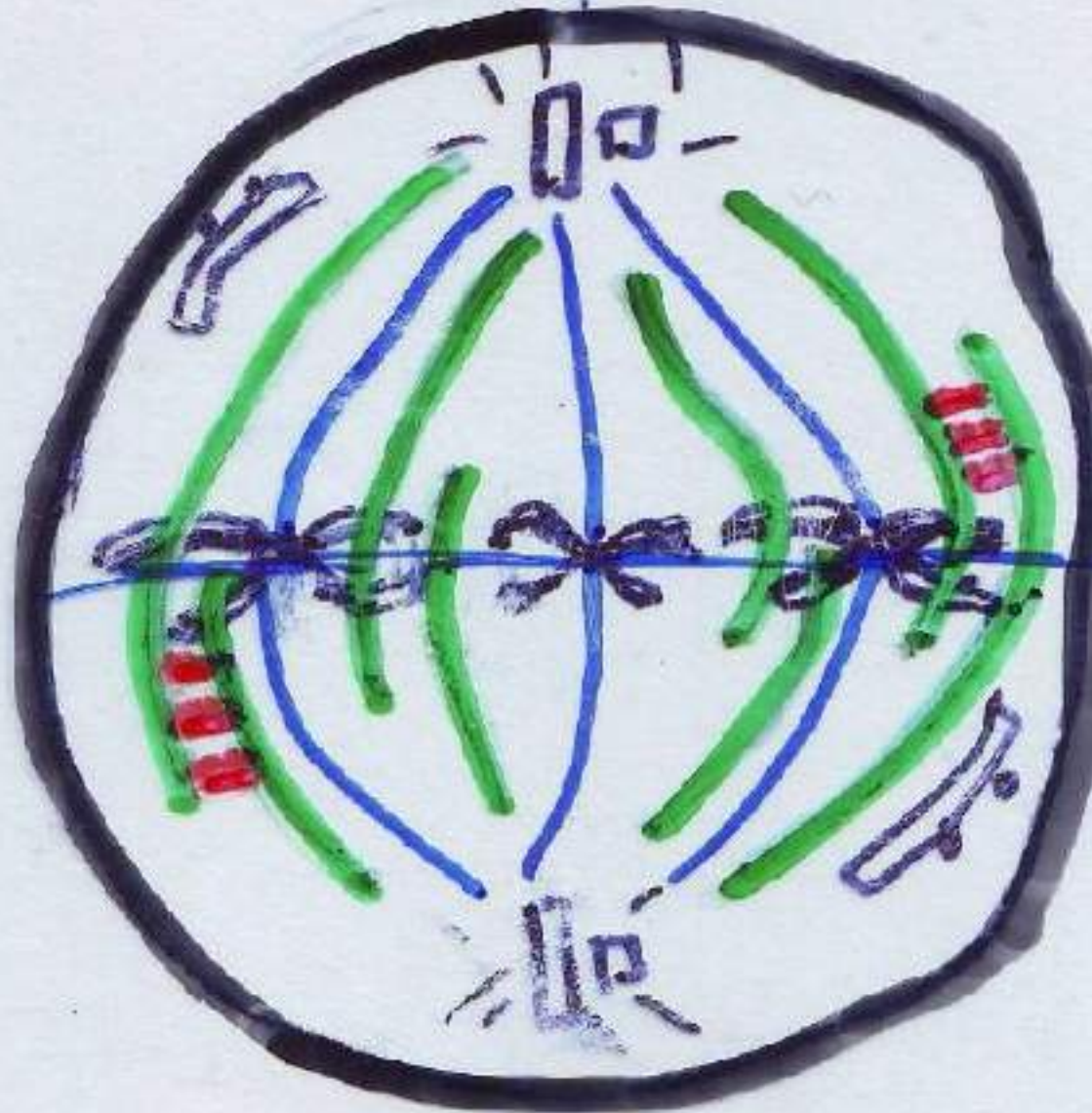
Prémétaphase  
pro —

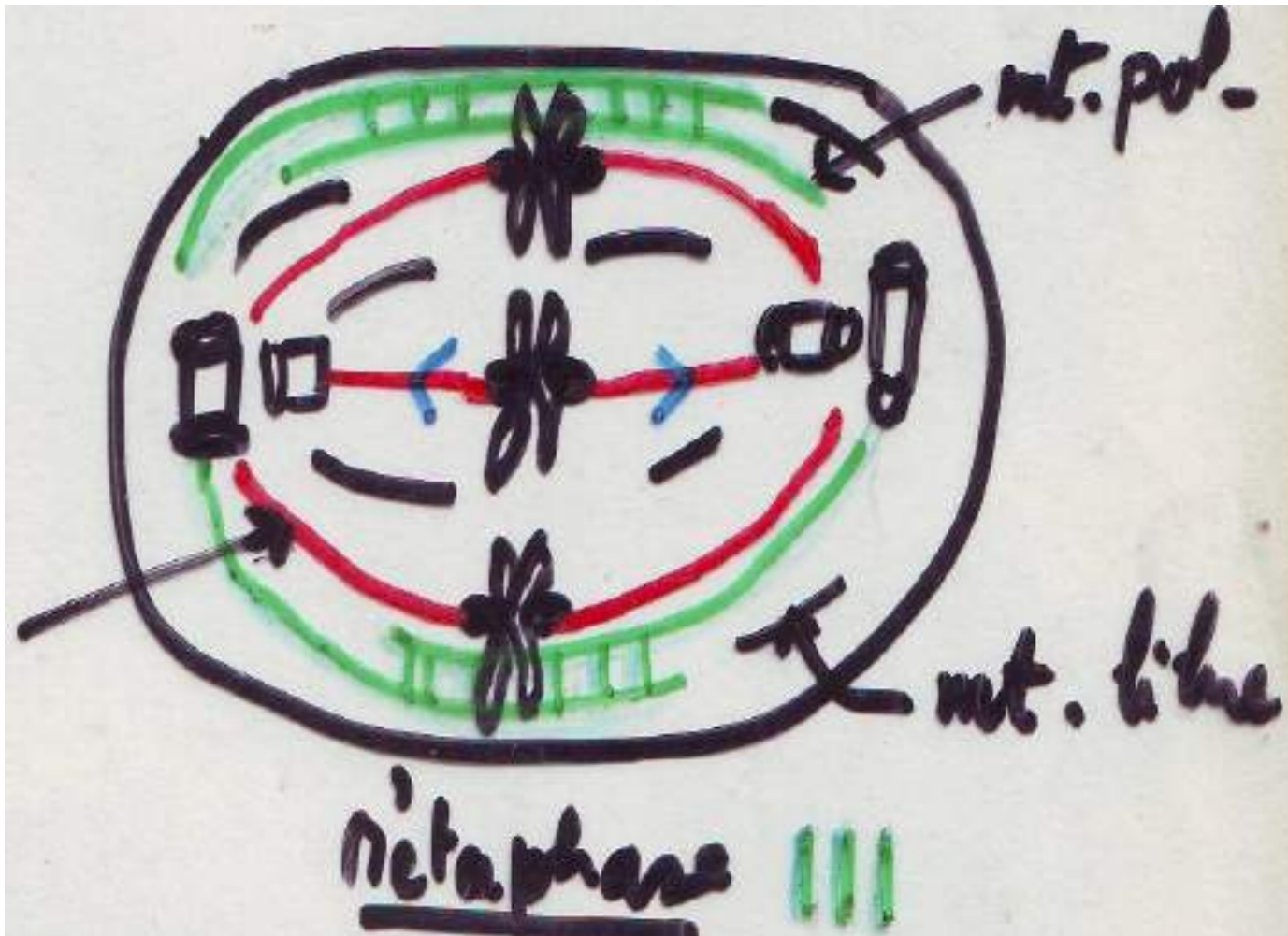
les nucléoles se fragmentent



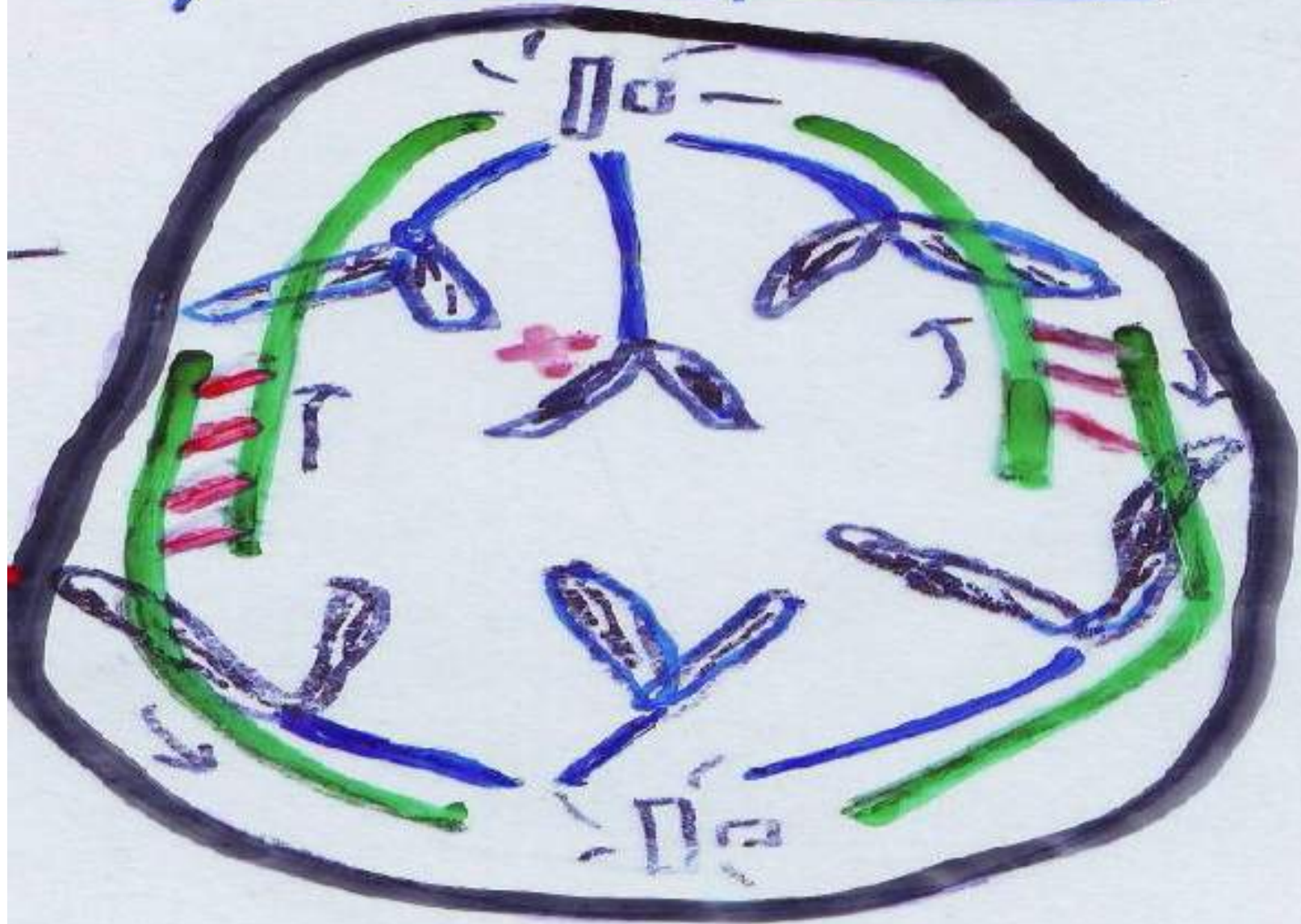
( Prémétaphase  
pro

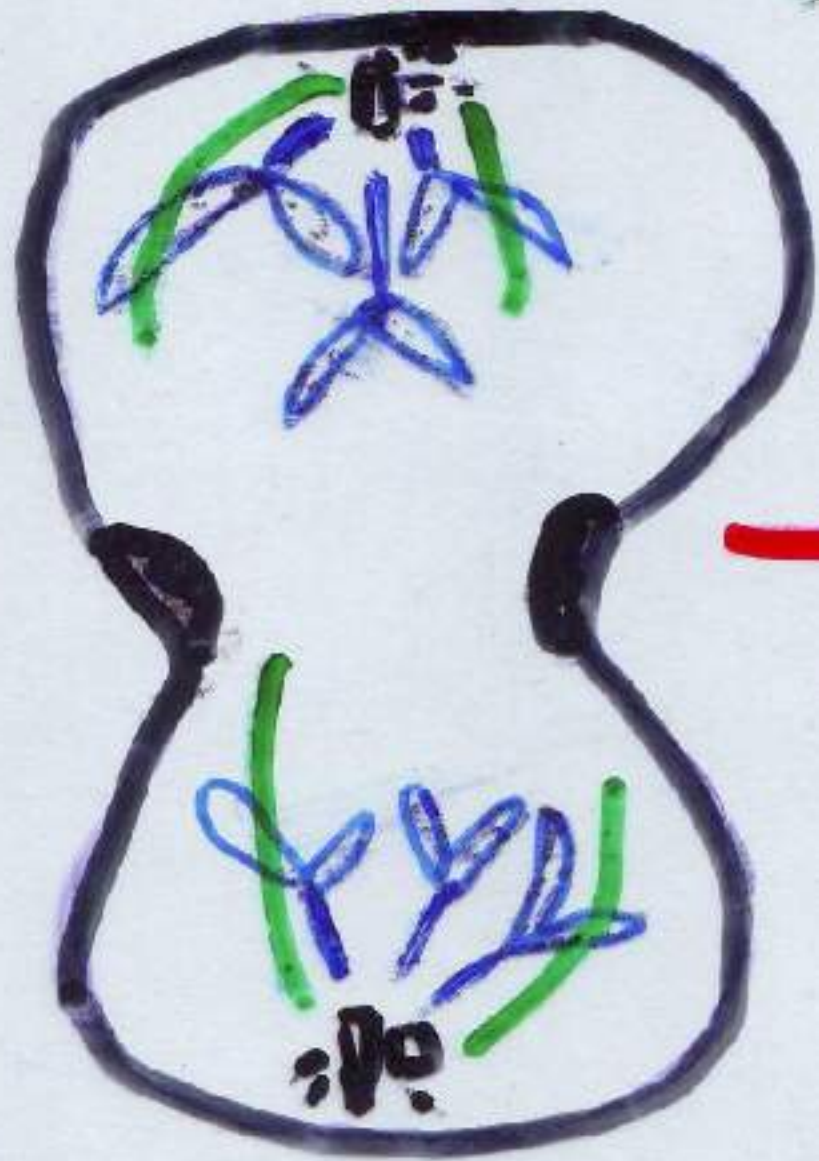
# 2<sup>o</sup> Metaphase



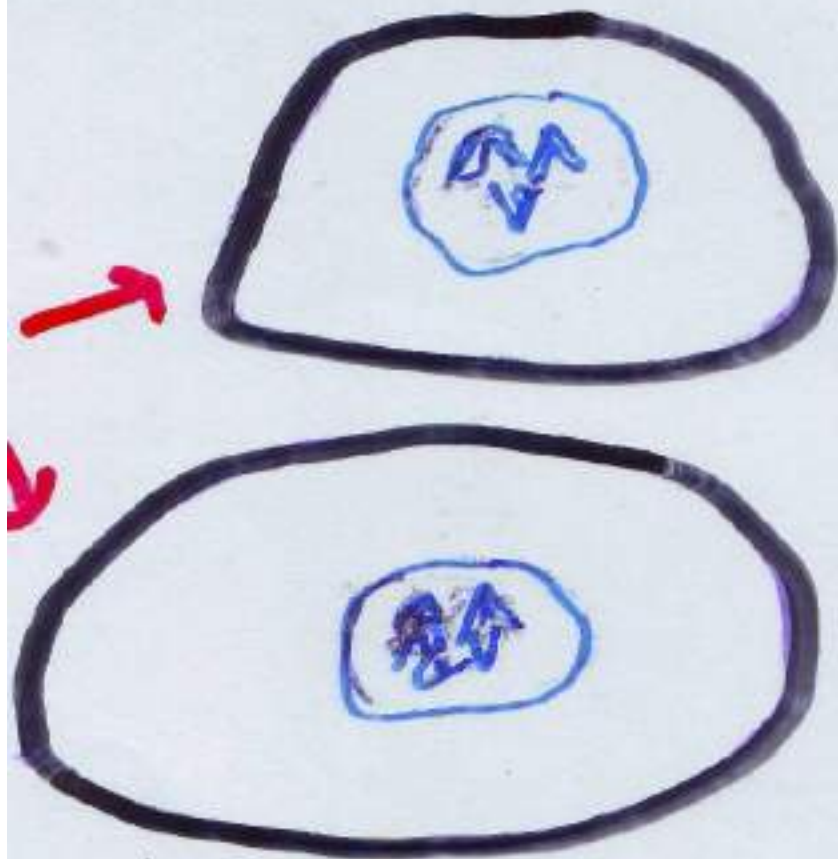


30/ Anaphase





4° Télophase

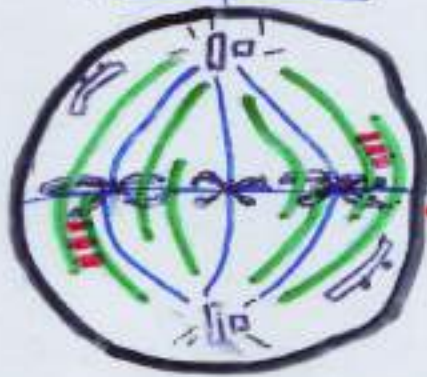


Plasmodiérese

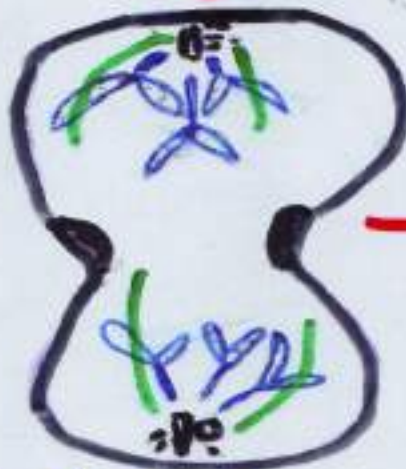
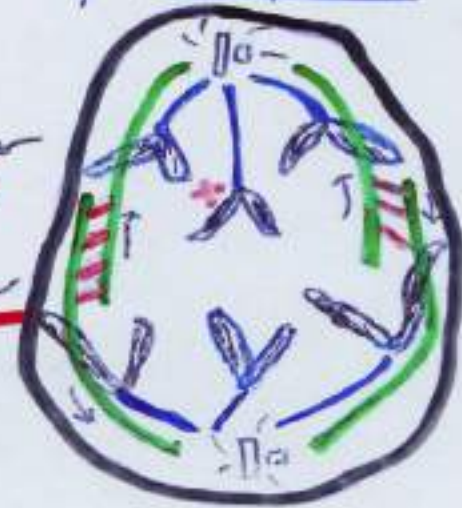
2 cellules filles.

(cytodierese)

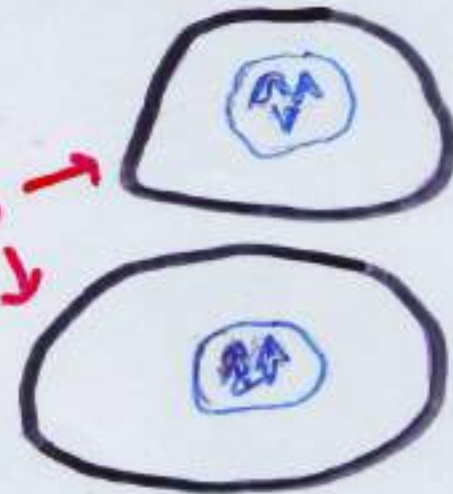
2° Métaphase



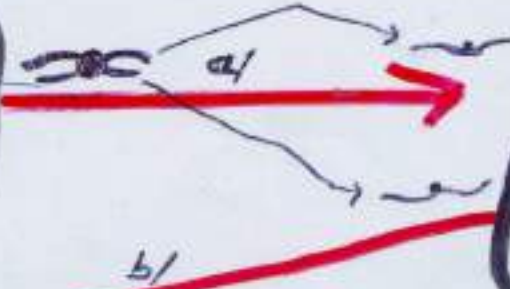
3° Anaphase



4° Télophase



Plasmodiérèse  
2 cellules filles.  
**(cytodierese)**



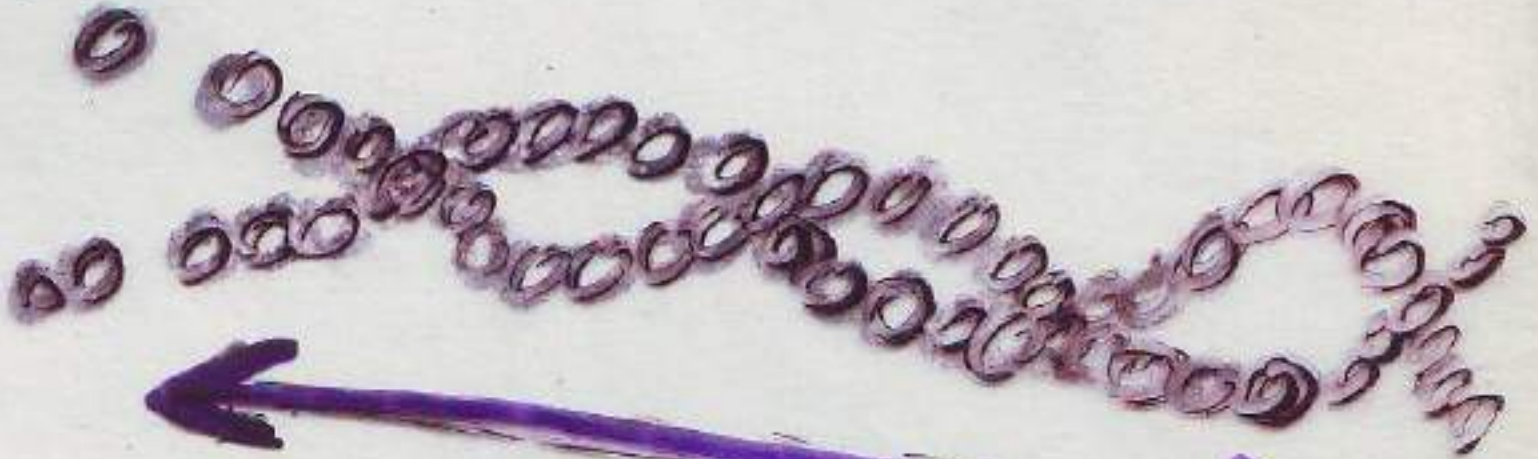
**5/ Les flagelles et les cils sont constitués d'un faisceau de microtubules entouré d'une membrane qui est le prolongement de la membrane plasmique.**

# **III- Micro filaments d'actine et protéines associées**

## **1- Structure des microfilaments d'actine**

- Les micro filaments d'actine F sont des polymères de sous-unités globulaires, l'actine G ; leur diamètre est de 7 nm.**
- Les micro filaments d'actine sont constitués de 2 chaînes de molécules globulaires enroulées en hélice.**
- Les micro filaments d'actine sont polarisés comme les microtubules( tapis roulant).**

MG



actin F.

- Remarque:

Deux toxines **pertubent** les filaments d'actine:

- les **cytochalasines**(de fungi) se lient à l'extrémité (+) de l'actine F et bloquent l'addition de monomères; la dépoléarisation entraîne la disparition des filaments.

- La **phalloïdine**(de l'amanite phalloïde)se lie **latéralement** aux filaments d'actine et les stabilisent

## **2- Rôle de l'actine F et des protéines associées :**

**Associé à de nombreuses protéines de liaison, l'actine va assurer des fonctions diverses dans la cellule :**

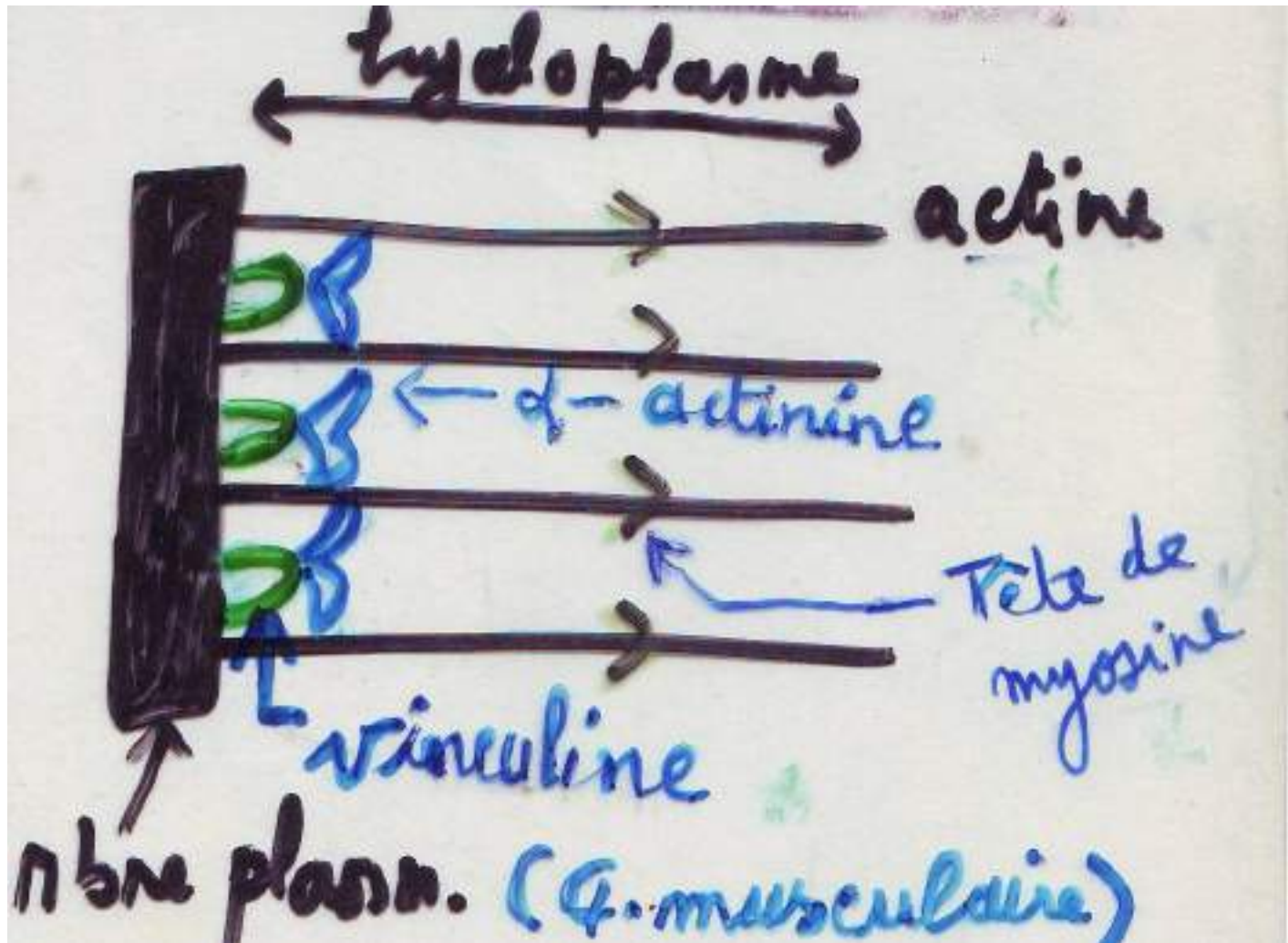
**2-1/ La profiline est une protéine qui *retarde* la polymérisation en formant un complexe réversible avec la molécule d'actine G; elle va réguler et contrôler la polymérisation en actine F.**

### **2-2/ Constitution des myofibrilles**

**Les filaments fins d'actine sont intercalés entre les filaments épais de myosine dans la cellule musculaire.**

**NB : Ce sont les interactions entre l'actine et la myosine qui engendrent la contraction en convertissant l'énergie chimique provenant de l'ATP en travail mécanique.**

- 2-3/ La vinculine et l'alpha-actinine vont se lier à l'extrémité des filaments d'actine dans les cellules musculaires = **protéines d'ancrage**.
- 2-4/ L'**actine** forme avec la **myosine** ( de type II) de petits **assemblages contractiles**, avec la participation de la vinculine  
[ protéine de liaison à la membrane plasmique],  
et ses filaments jouent un rôle mécanique.



(dans les microvillosités),

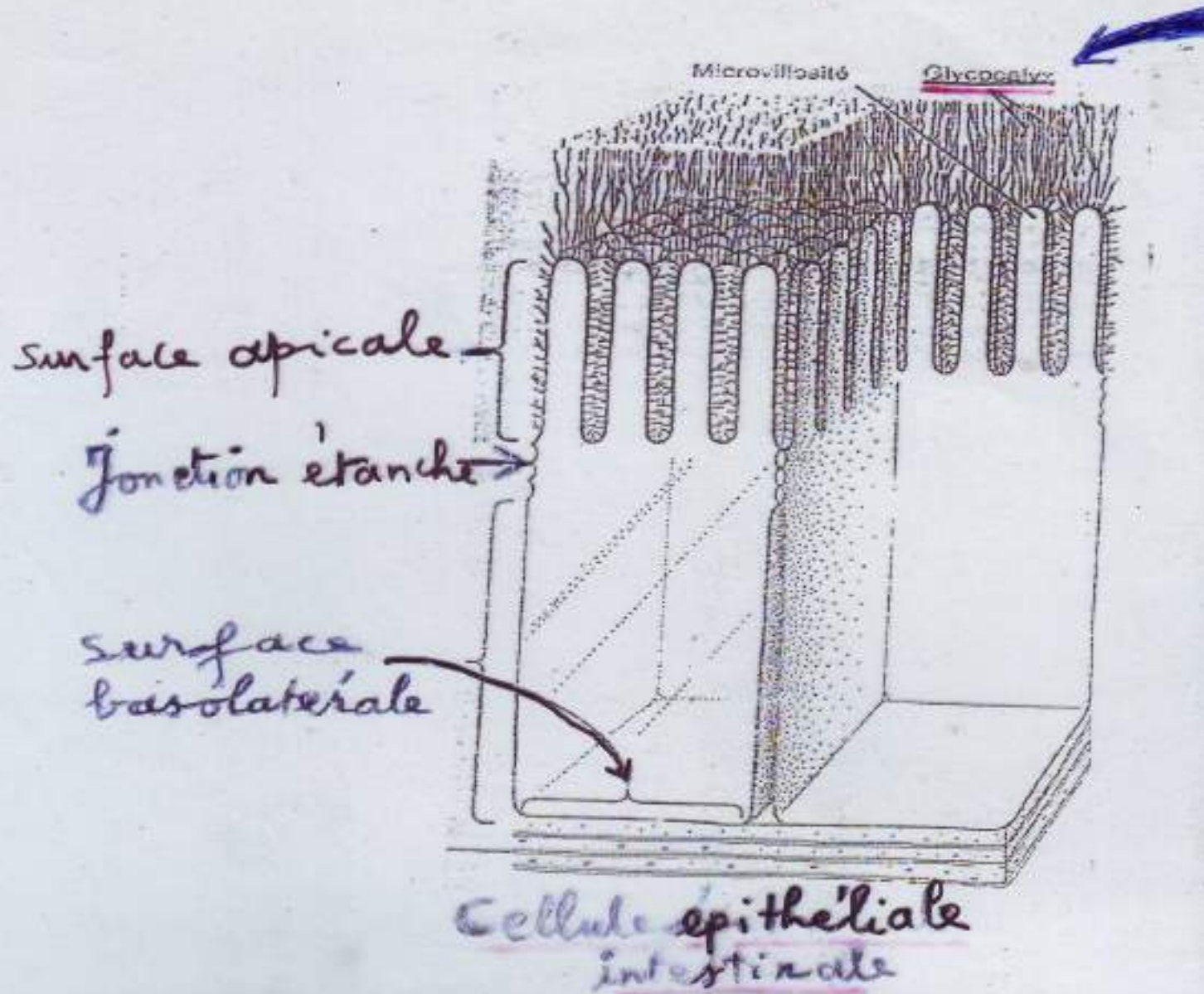
2-5/ La fimbrine est une protéine associée à l'actine qui maintient le **parallélisme des filaments**

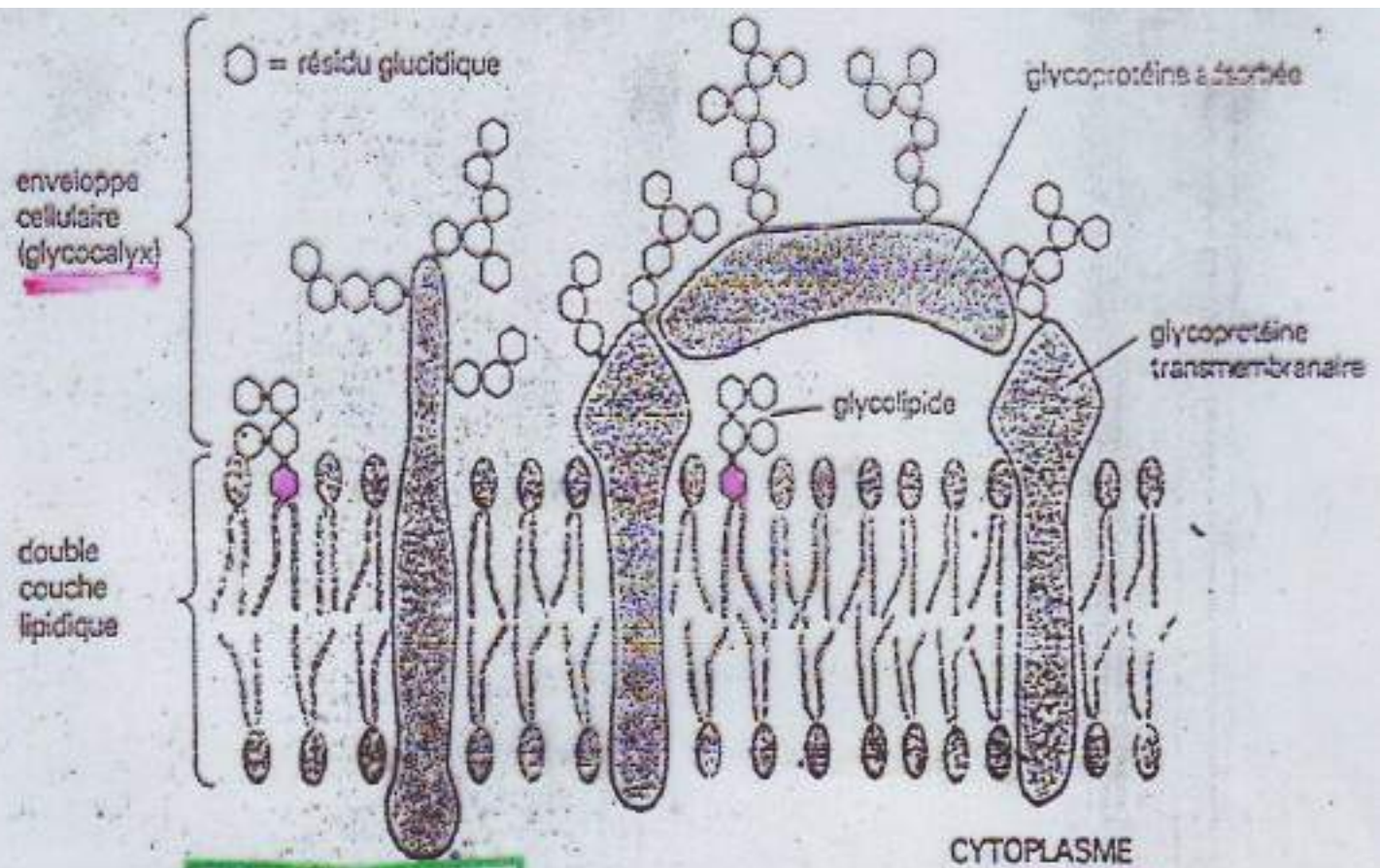
2-6/ La villine est une protéine d'assemblage  
**Fimbrine et villine** vont relier les filaments d'actine sous faible concentration de **ca<sup>++</sup>** ; si forte concentration de ca<sup>++</sup>: la villine = fragmentation.

2-7/ La protéine 110 Kda ( myosine I) et la calmoduline vont lier l'actine à la membrane plasmique.

2-8/ La fodrine est une protéine fibreuse de liaison : elle unit les filaments d'actine à la membrane plasmique au niveau des **desmosomes**.

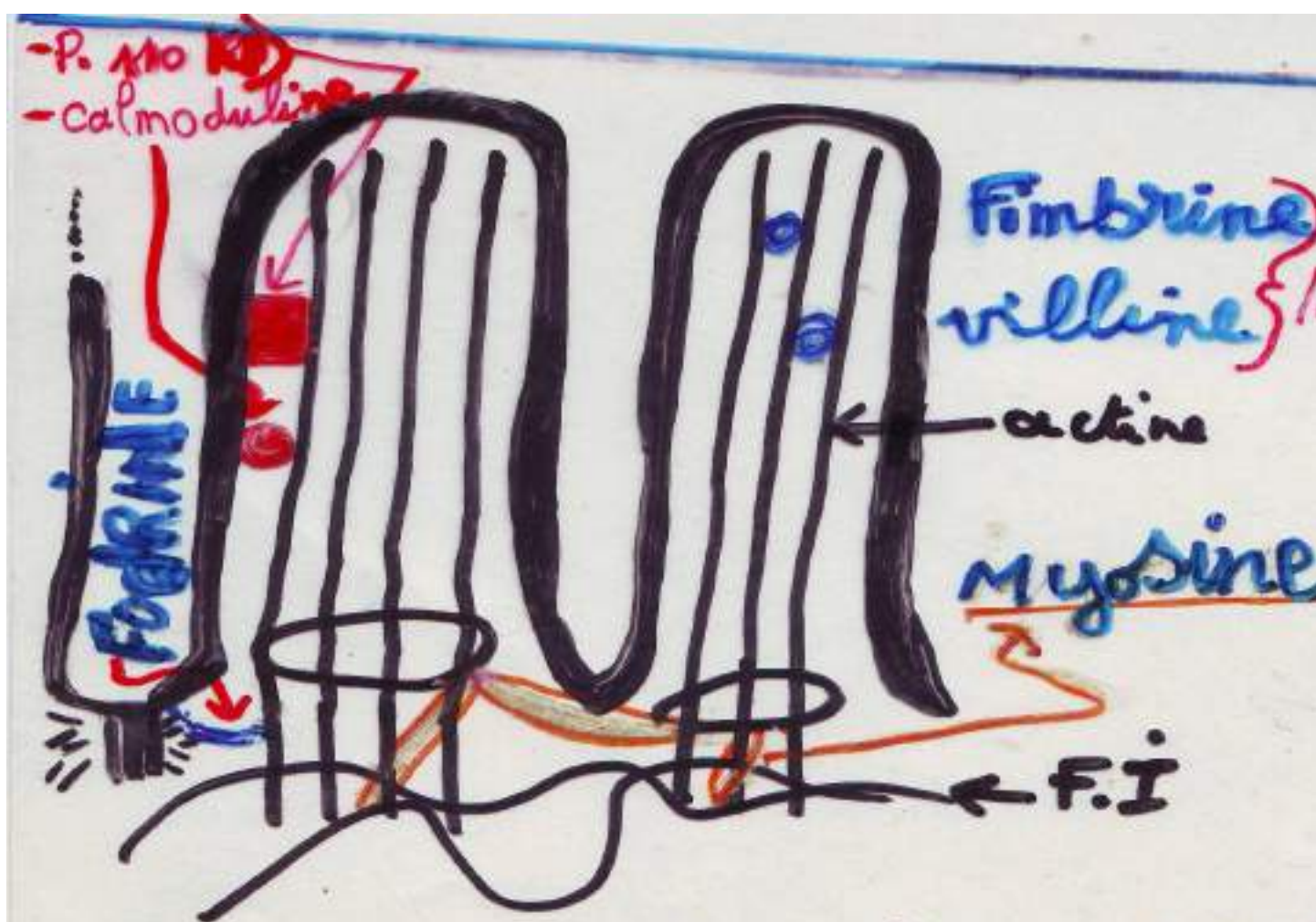
2-9/ La myosine va relier les faisceaux d'actine entre eux et aux filaments intermédiaires sous-jacents





**Glycocalyx**

Représentation schématique de l'enveloppe cellulaire (glycocalyx), constituée des chaînes latérales polysaccharidiques de glycolipides et de glycoprotéines méridiennes intrinsèques, ainsi que de glycoprotéines et de protéoglycannes adsorbés. Les protéoglycannes adsorbés ne sont pas figurés. Noter que tous les glucides sont situés à l'extérieur de la membrane.



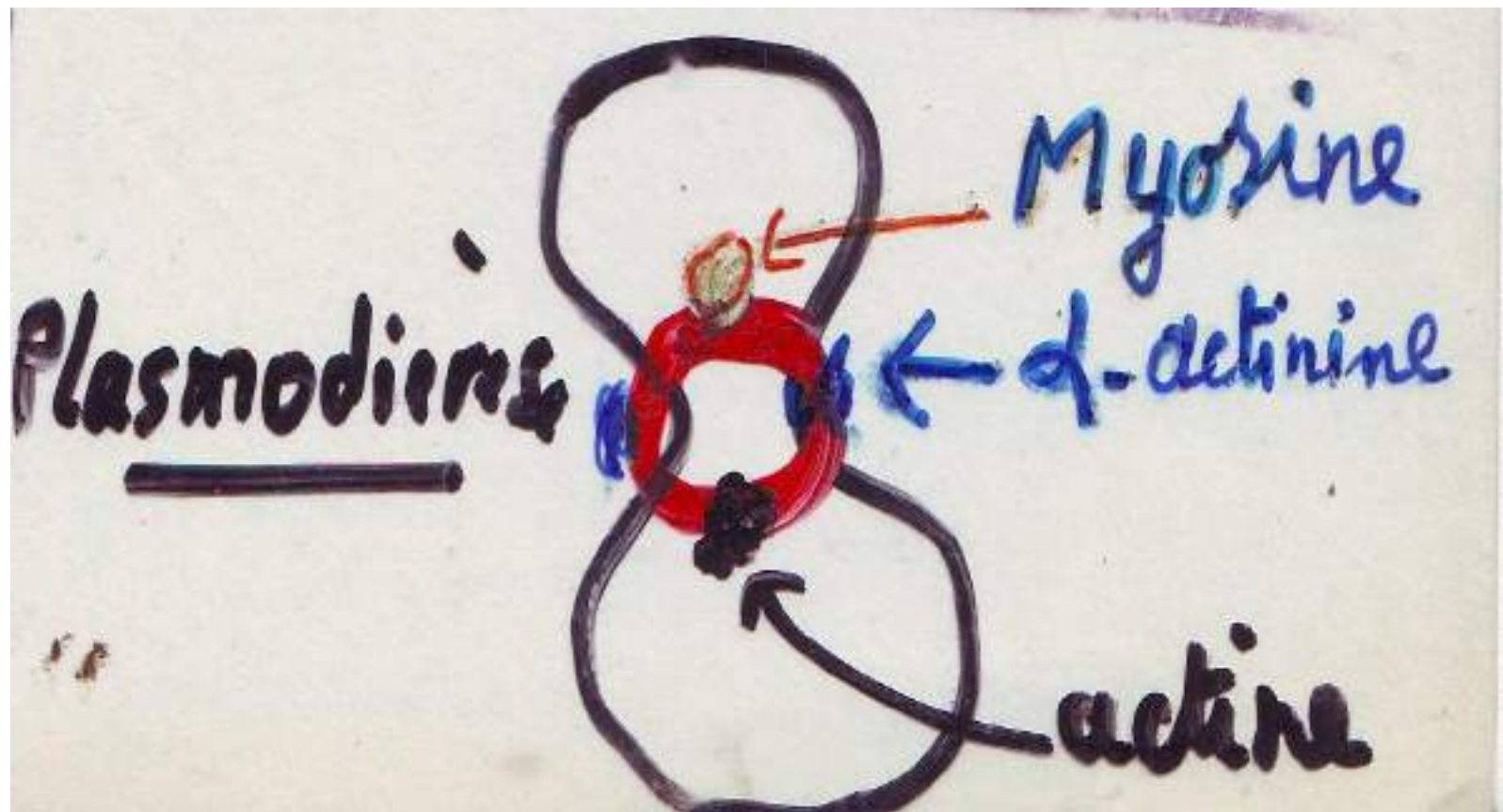
▷ Microvillosités du plateau strié  
d'un entérocyte

2-10/ L'actine, en s'associant avec la spectrine (**protéine de réticulation**) et à l'ankyrine (**facteur de liaison**), participe au maintien de la forme des **hématies**.

**2-11/ La filamine assure la liaison des filaments d'actine en un réseau tridimensionnel permettant la transition sol- gel** dans les cellules qui se déplacent avec des **pseudopodes** (amibes, leucocytes neutrophiles, macrophages) ,et la gelsoline produit l'effet inverse :

- 2-12/ Les micro filaments d'actine interviennent dans la **cytodierese**.

**NB** : Dans l'anneau d'étranglement des cellules en plasmodiérèse, on a observé de l'actine, de l'alpha- actinine et de la myosine.



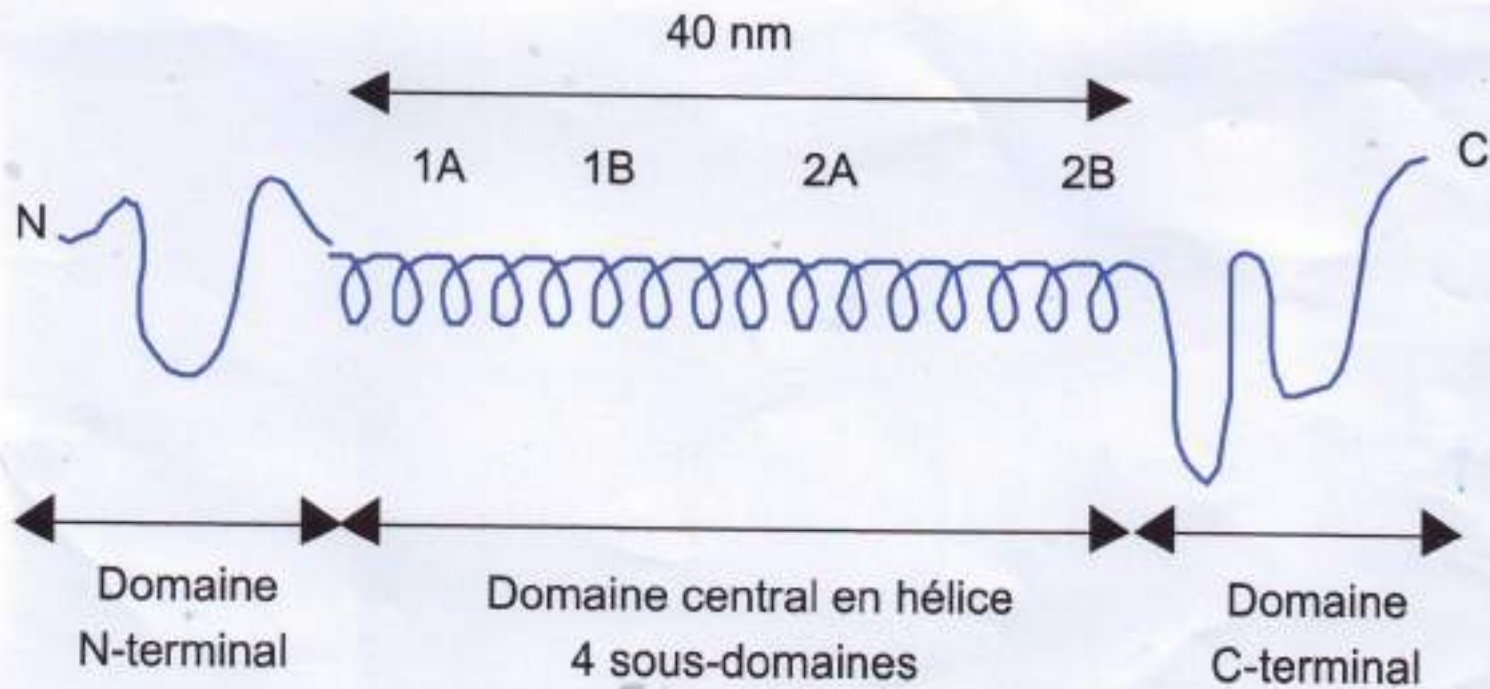
# IV- Filaments intermédiaires

## 1- Structure

Ce sont des filaments généralement rectilignes, d'un diamètre de 8 à 12 nm (10).

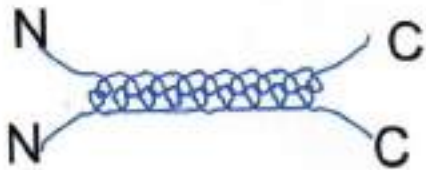
Ils forment les constituants les **plus stables et les moins solubles du cytosquelette**, et vont permettre bien souvent de différencier les types cellulaires.

Chaque protéine, pour une longueur de 40 nm, est constituée d'un domaine centrale en hélice comportant 4 sous-domaines(1A,1B,2A,2B) , avec un Domaine N- terminal et un domaine C- terminal .  
4 protofibrilles (16 dimères) donnent 1 FI de 10nm de diamètre.

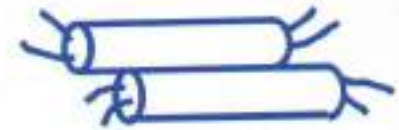
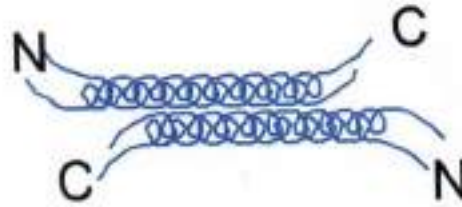


**Structure schématisée d'une protéine de filament intermédiaire**

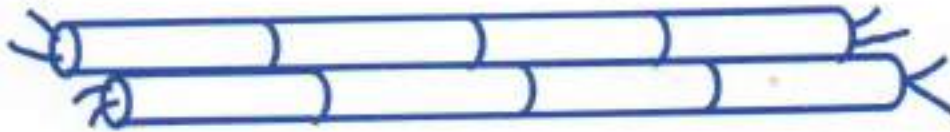
dimère parallèle



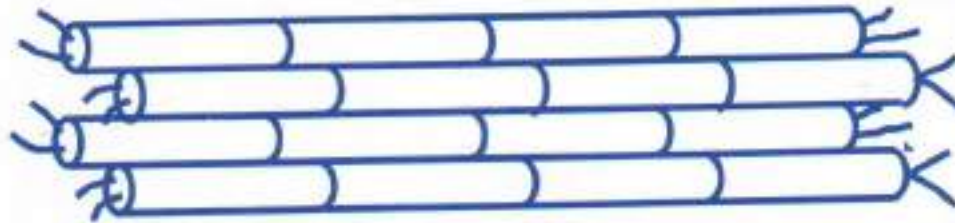
tétramère (2 dimères antiparallèles)



polymérisation de tétramères = protofilament



assemblage de 2 protofilaments = protofibrille



assemblage de 4 protofibrilles = FI de 10 nm de diamètre (16 dimères)

NB: 1 Filament intermédiaire = 4 protofibrilles = 8 protofilaments (en coupe transversale)

## Schéma de polymérisation des filaments intermédiaires

## 2- Classification et rôles des FI

**Les filaments intermédiaires vont se répartir en 5 classes (classiquement) :**

### **2-1/ La vimentine**

**Elle s'observe dans les cellules mésenchymateuses ( fibroblastes cellules endothéliales des vaisseaux sanguins).**

### **2-2/ Les protéines fibrillaires gliales**

**Vont constituer les filaments intermédiaires dans les cellules gliales.**

### **2-3/ Les neurofilaments**

**Observés dans les axones, auxquels ils donnent une certaine rigidité en s'associant aux microtubules.**

### **2-4/ Les cytokératines**

**S'observent au niveau des jonctions cellulaires, au niveau des cellules épithéliales surtout. Ce sont des protéines de structure que l'on trouve au niveau de la peau, des poils, des ongles.**

### **2-5/ La desmine se trouve dans les cellules musculaires.**

- **NB**:(Doc-)

Les études se poursuivent, et on a décrit d'autres types de FI:

- La périphérine dans les neurones,
- Les lamines(A,B,C) ubiquitaires,
- La nestine dans les cellules neuroépithéliales, les neurones embryonnaires, les myocytes,
- La synémine dans les cellules musculaires,
- L'alpha-interneuxine dans neurones embry-

(+)

## QUELQUES RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES SUR PROTEINE DU CYTOSQUELETTE

**Titine** : ancre les filaments épais aux stries Z

**Alpha-actinine** : ancre filaments fins à Z

**Nébuline** : s'enroule autour des filaments fins

**Desmine** : relie les myofibrilles les unes aux autres

**Dystrophine** :- codée par un gène du

- Bras p du chromosome X

- mutation de ce gène : transmise par la mère aux garçons = Myopathie de Duchenne

**Adhaline** : mutation de son gène = Myopathie Autosomique Récessive.

## **V- Les structures pluri tubulaires**

- Elles sont constantes dans les cellules eucaryotes et comportent :
- 9 triplets de microtubules périphériques dans les centrioles et les corpuscules basaux, organites intracellulaires.
- 9 doublets de microtubules périphériques et une paire de microtubules axiaux dans les cils et les flagelles, qui sont des expansions cytoplasmiques entourées par la MP et douées de mouvements.

- **1/ Les centrioles et les corpuscules basaux :**
  - même structure.
  - Un ensemble constitué par un centriole complet et un centriole en cours de formation constitue le centre cellulaire ; cet ensemble est situé dans un matériel dense dit matériel péricentriolaire, et constitue le centrosome, actuellement dénommé MTOC ( microtubules organizing center = centre organisateur des micro tubules).

**Le centriole** apparaît sous la forme d'un cylindre dont la paroi est formée de 9 petits groupes de tubules, ces groupes pouvant être soit des triplets de tubules, (cas le plus fréquent), soit des doublets.

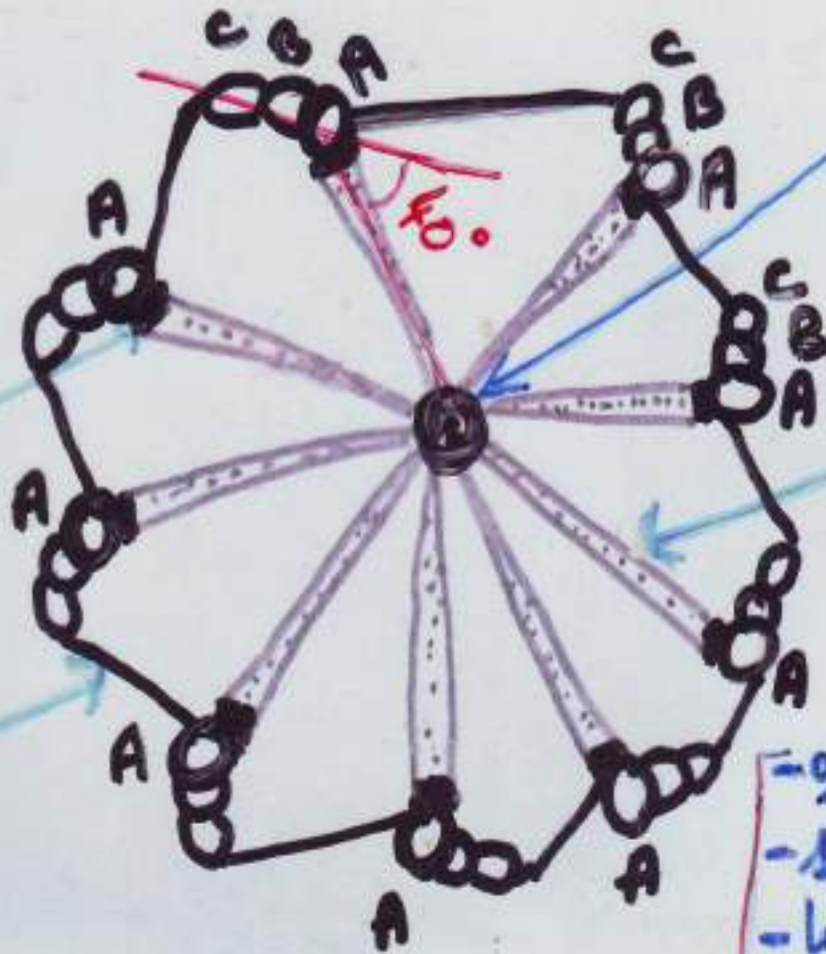
- **Exception** : le nombre de triplets peut être supérieur à 9 : exple : 300 : centrioles géants chez les insectes.

- Le centriole est constitué de 9 triplets de microtubules A, B, C, qui sont disposés de manière à ce que l'axe de chacun de ces triplets forme un angle de 40 à 50° avec un rayon du cylindre ;
- Le microtubule A, le plus proche du centre, est toujours relié au microtubule C du triplet voisin.

# Centriole

(extrémité distale) en « Roue de charrette »  
pied

lien dense (necino)



cylindre de matériel opaque  
lignes denses

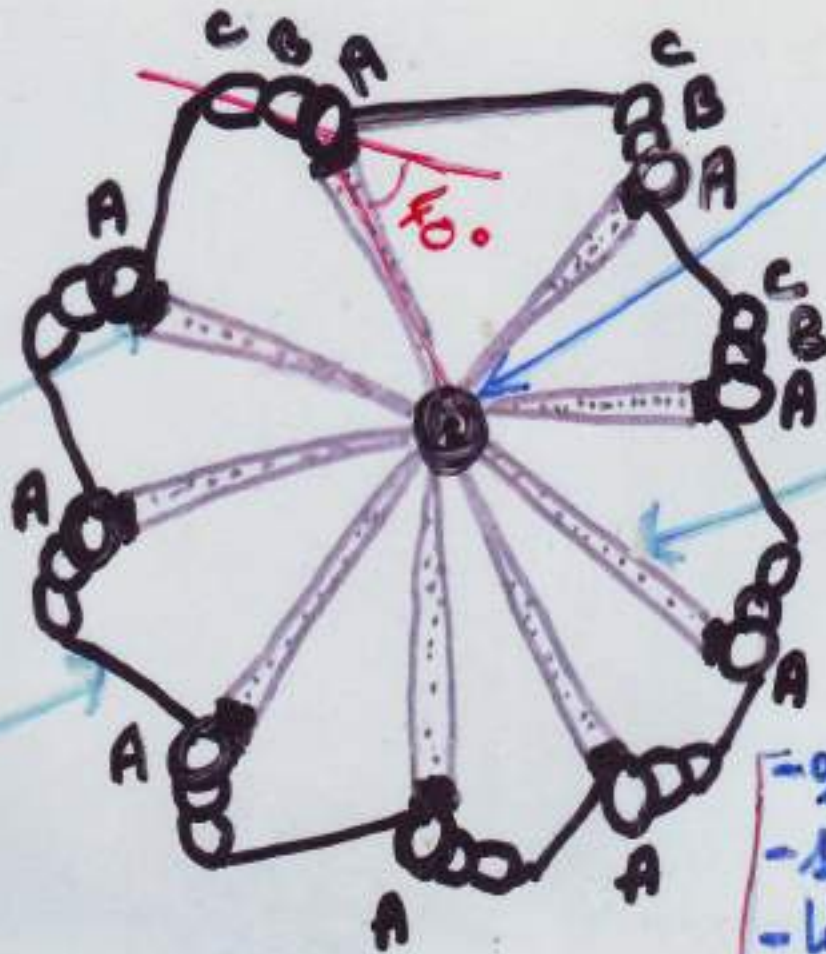
- 9 Trip. de mt
- 1 cyl. Cent. mat. op
- lignes denses
- pieds.

- On distingue une extrémité **proximale** la plus proche de la cellule, et une extrémité **distale** dirigée vers la périphérie, qui se différencie par la présence d'un cylindre de matériel opaque au centre, vers lequel convergent des lignes denses à disposition radiaire qui s'insèrent en dehors sur des pieds, zones sombres adhérant à la face interne des tubules A ( sont absents à l'extrémité proximale).

# Centriole

(extrémité distale) en « Roue de charrette »  
pied

lien dense (necino)



cylindre de matériel opaque  
ligne dense

- 9 Trip. de mt
- 1 cyl. Cent. mat. op
- lignes denses
- pieds.

- **2/ Cils et flagelles** : ( même structure)

Une coupe transversale d'un cil vibratile montre une structure tubulaire formée de **9 doublets périphériques ( A ; B)**, et d'un(1) doublet central constitués de 2 microtubules reliés par un pont.

- **Mt A :**

- complet : 13 proto filaments

-

- **Mt B :**

- incomplet : 10 protofilaments

- un bras externe

- un bras interne

- un rayon relié aux tubules centraux

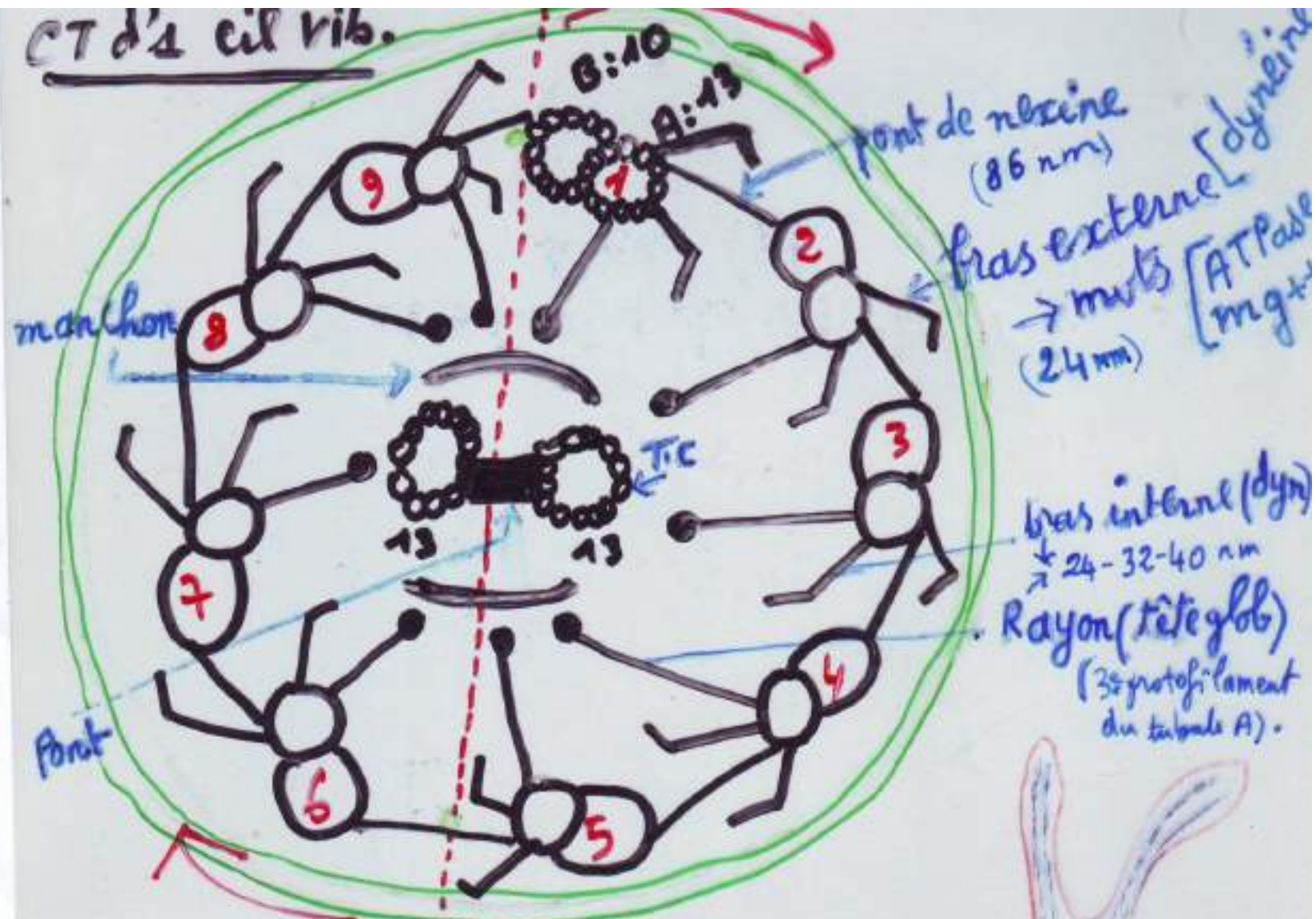
- **L'Axonème** : (partie axiale et motrice d'un cil ou d'un flagelle d'une cellule eucaryote)

Il est né du MTOC ( centre organisateur des microtubules , ici précisément du centriole ,et non des corpuscules basaux).

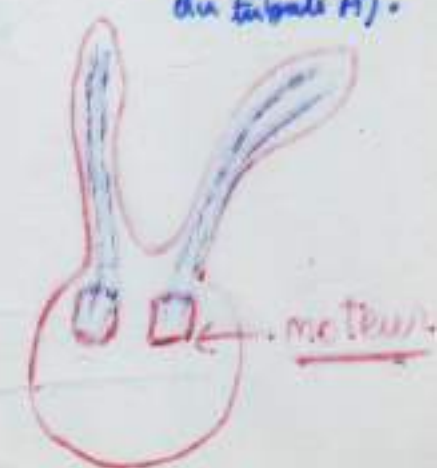
### Structure de l'axonème:

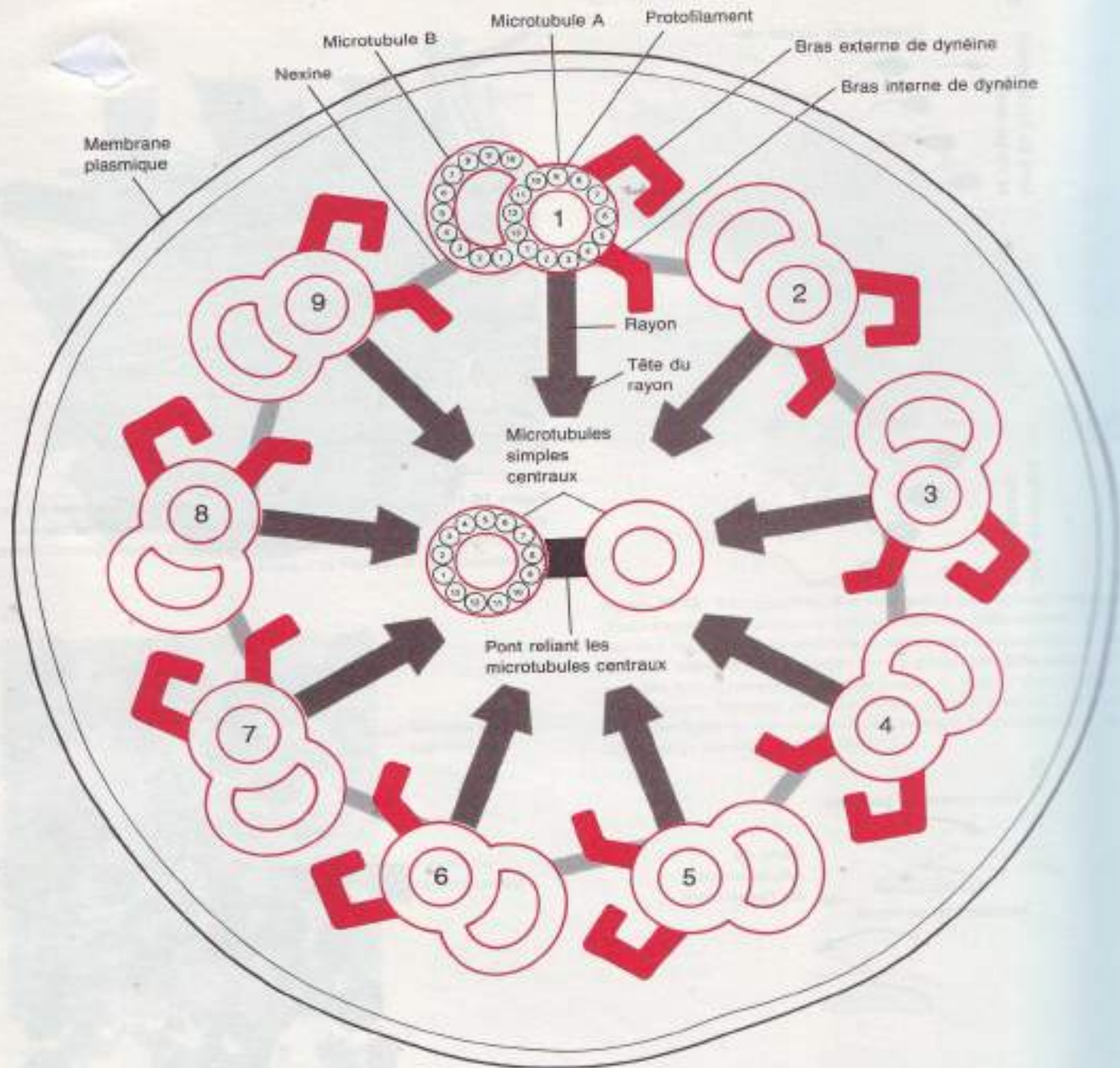
9 doublets(de microtubules) numérotés selon la **technique d'AFZELIUS** : une droite partant d'en haut, touche un doublet (le 1er dans le sens de rotation des aiguilles d'une montre), passe par le milieu du pont entre les 2 tubules centraux, et en bas, ne touche pas de doublet mais passe entre 2 doublets(**le 5 et le 6**) ; on numérote **1** le doublet touché et **2** le doublet suivant en tenant compte de l'orientation des bras ( de la gauche vers la droite : sens de rotation des aiguilles d'une montre).

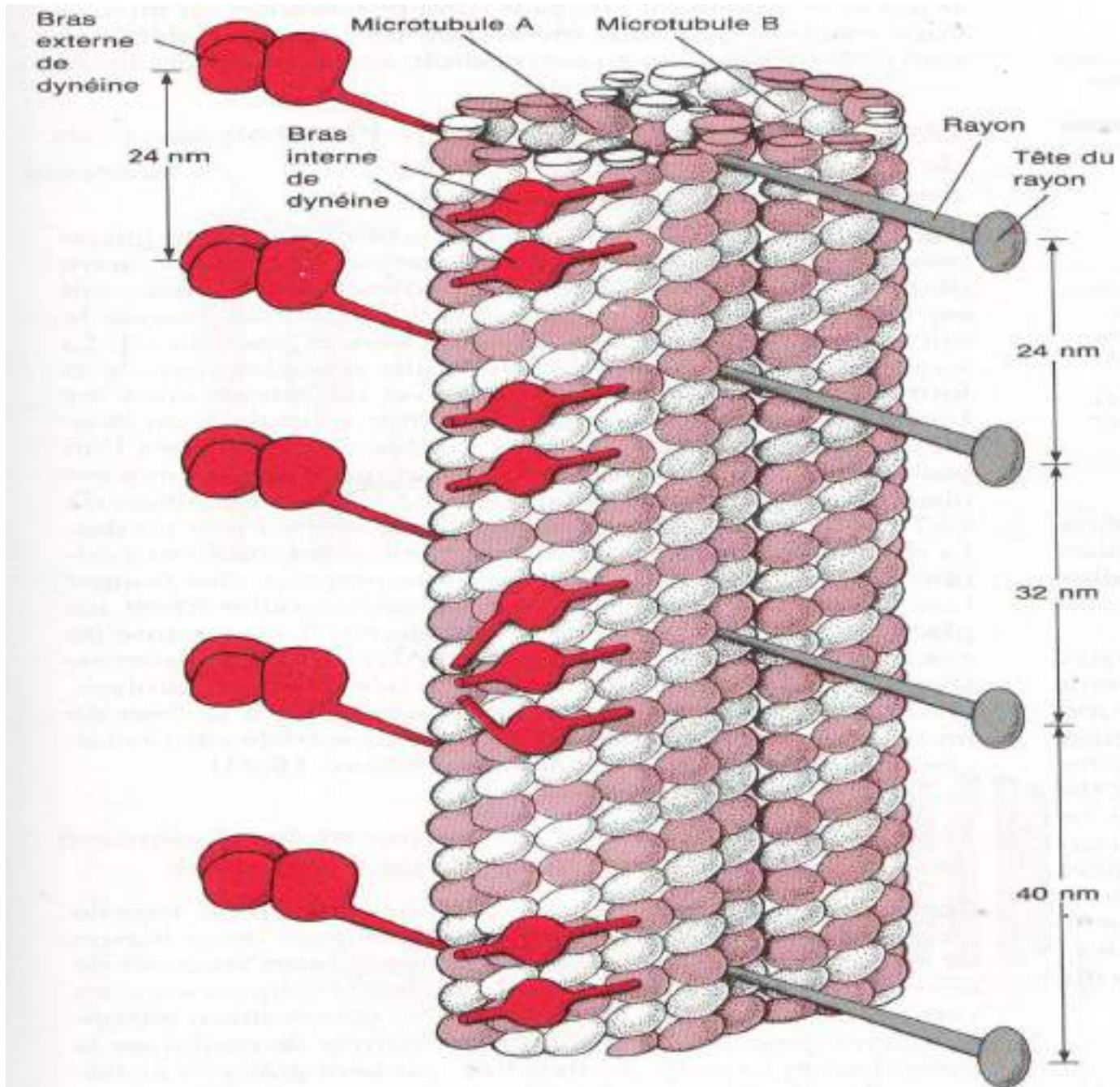
CT d'un cil vib.



**AFZELIUS**  
(numérotés selon la fig d'...).







FIN