

# Génétique



## SCIENCES DE LA VIE



### Shop



- Cahiers de Biologie + Lexique
- Accessoires de Biologie



### Etudier



Visiter [Biologie Maroc](https://www.biologie-maroc.com) pour étudier et passer des QUIZ et QCM en ligne et Télécharger TD, TP et Examens résolus.



### Emploi



- CV • Lettres de motivation • Demandes...
- Offres d'emploi
- Offres de stage & PFE



*UNIVERSITE ABDE LMAEK ESSADI*  
*FACULTE DES SCIENCES*  
*DEPARTEMENT DE BIOLOGIE*



# **GENETIQUE**

Chapitre I

**GENETIQUE MOLECULAIRE**

**I- INTRODUCTION**

Pr. BENIOURI R.

S4 2016

## A- Définir la génétique.

Certains la présentent comme l'étude de l'hérédité, mais les phénomènes héréditaires ont intéressé l'homme bien avant que la biologie ou la génétique ne constituent les disciplines scientifiques que nous connaissons aujourd'hui. Les peuples anciens amélioraient déjà les plantes cultivées et les animaux domestiques en sélectionnant des individus qu'ils réservaient à la reproduction.

On peut se demander « pourquoi les enfants ressemblent à leurs parents » ou comment « certaines maladies se transmettent dans les familles ».

**La génétique en tant qu'ensemble de principes et de méthodes analytiques débuta seulement dans les années 1860,**

L'étude des profils de transmission de gènes d'une génération à une autre est connue sous le nom de **génétique de l'hérédité**.

Chez les organismes eucaryotes, la génétique de l'hérédité est souvent appelée **génétique mendélienne**, en hommage à **Gregor Mendel**.

Son histoire est l'une des légendes vivifiantes de l'histoire de la science moderne.

**Le concept fondamental de la génétique** est que

***Les caractères héréditaires sont déterminés par les éléments de l'hérédité qui sont transmis des parents à leurs descendants lors de la reproduction ; ces éléments de l'hérédité sont appelés gènes.***

# B- Pourquoi étudier la génétique ?

Il y a **deux raisons fondamentales** à cela:

**La première**, c'est que la génétique est devenue une plaque tournante de la biologie ;  
comprendre la génétique est donc capital pour tous ceux qui désirent étudier sérieusement la vie des plantes, des animaux ou des micro-organismes.

**La seconde**, c'est que la génétique, plus que toute autre discipline scientifique, occupe une position centrale dans divers secteurs des activités humaines .

En effet, des questions liées à la génétique se posent quotidiennement.

# C- Génétique de l'hérédité : l'héritage de Mendel

La **génétique** est l'étude des caractères biologiques héréditaires.

L'existence de gènes et les règles gouvernant leur transmission de génération en génération ont été découvertes par

**Gregor Mendel en 1866.**

- Le mot génétique vient du terme « **gène** » et les gènes constituent l'objet principal de cette discipline.
- Que les généticiens mènent leurs études au niveau de la molécule, de la cellule, de l'organisme, de la population ou encore de l'évolution, les gènes sont toujours au centre de leurs préoccupations.
- En termes simples, **la génétique** est l'étude de **gènes**



**Mendel:  
le concept  
de gènes et  
les lois de  
transmission  
des  
caractères**

## ***Qu'est-ce qu'un gène ?***

Un gène est une fraction d'une molécule filiforme organisée en double hélice, appelée **acide désoxyribonucléique**, abrégé en **ADN**.

La découverte des gènes et la compréhension de leur structure moléculaire et de leurs fonctions ont permis des avancées spectaculaires dans la résolution de deux des plus grands mystères de la biologie :

- ***§ Qu'est-ce qui fait d'une espèce ce qu'elle est ?***

Nous savons que les chats engendrent toujours des chatons et les humains, des bébés.

- Cette observation de simple bon sens a naturellement soulevé des questions sur la détermination des propriétés d'une espèce. Cette détermination doit être héréditaire puisque par exemple, la capacité des chats à engendrer des chatons est transmise à chaque génération de chats.

## ***.§ Qu'est-ce qui est responsable de la variation à l'intérieur d'une espèce ?***

Nous pouvons nous distinguer les uns des autres, comme nous pouvons reconnaître notre propre chat parmi d'autres chats.

Certaines des caractéristiques permettant de distinguer les individus sont à l'évidence d'origine familiale ; par exemple, certains animaux d'une couleur unique particulière ne donnent naissance qu'à des petits de la même couleur et, dans les familles humaines, certaines caractéristiques telles que la forme du nez, apparaissent régulièrement dans la famille.

Nous pouvons donc nous attendre à ce qu'un composant héréditaire explique au moins une partie de la variation au sein d'une espèce donnée.

**La réponse à la première question** est que les gènes dictent les propriétés inhérentes à une espèce.

Les produits de la plupart des gènes sont des protéines spécifiques.

Les protéines sont les principales macromolécules d'un organisme.

Lorsque nous regardons un organisme, ce que nous voyons est soit une protéine, soit quelque chose de fabriqué par une protéine.

La séquence d'acides aminés d'une protéine est codée dans un gène.

Les moments et les taux auxquels apparaissent les protéines et les autres composants cellulaires dépendent à la fois des gènes présents dans les cellules et de l'environnement dans lequel l'organisme vit et se développe.

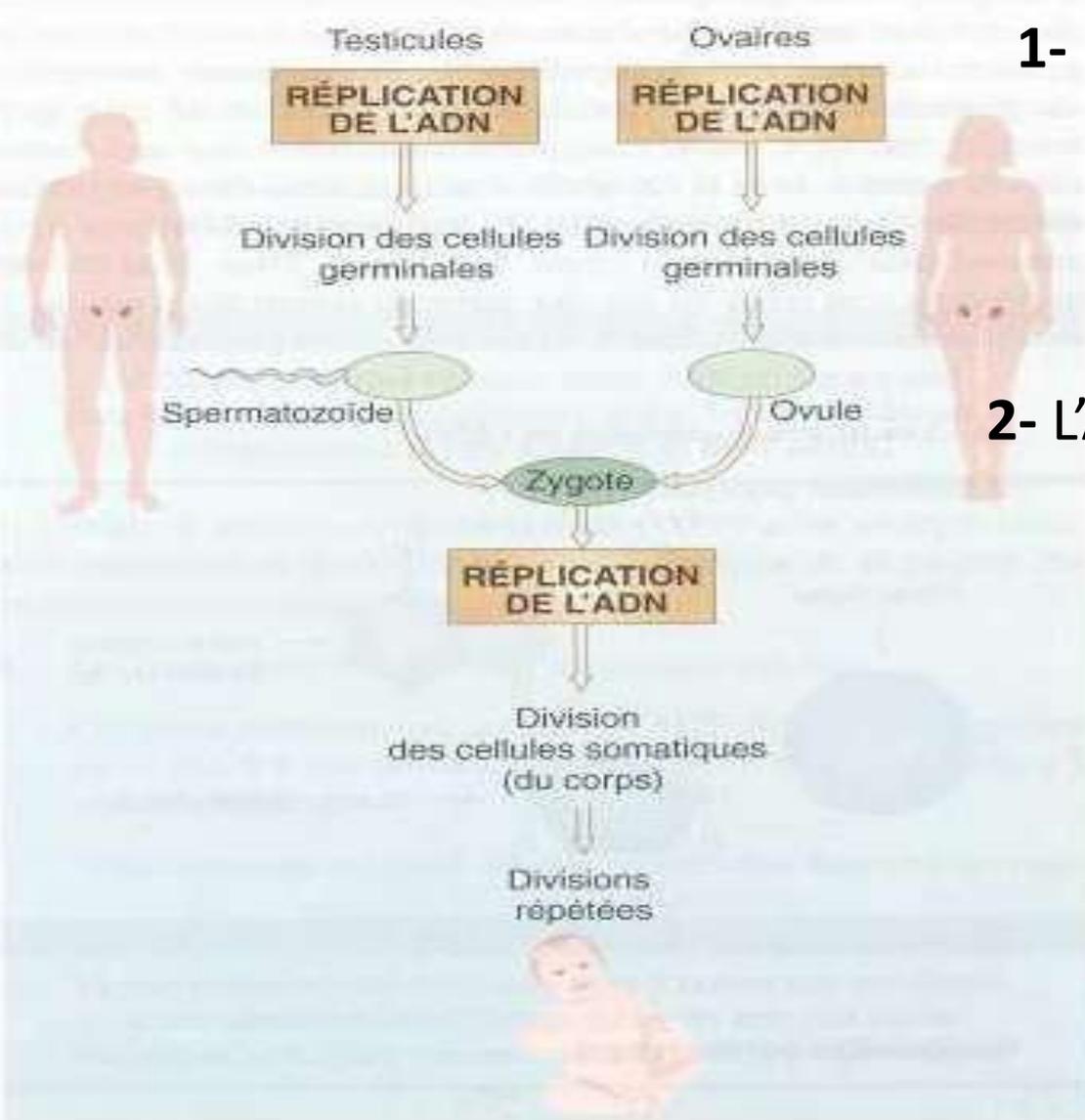
**La réponse à la seconde question** est que **n'importe quel gène peut exister sous plusieurs formes**, présentant des différences les unes par rapport aux autres, généralement de faible ampleur.

On appelle les différentes formes d'un gène, des allèles.

La variation allélique est responsable de la variation héréditaire au sein d'une espèce.

Au niveau protéique,

**la variation allélique devient une variation protéique.**



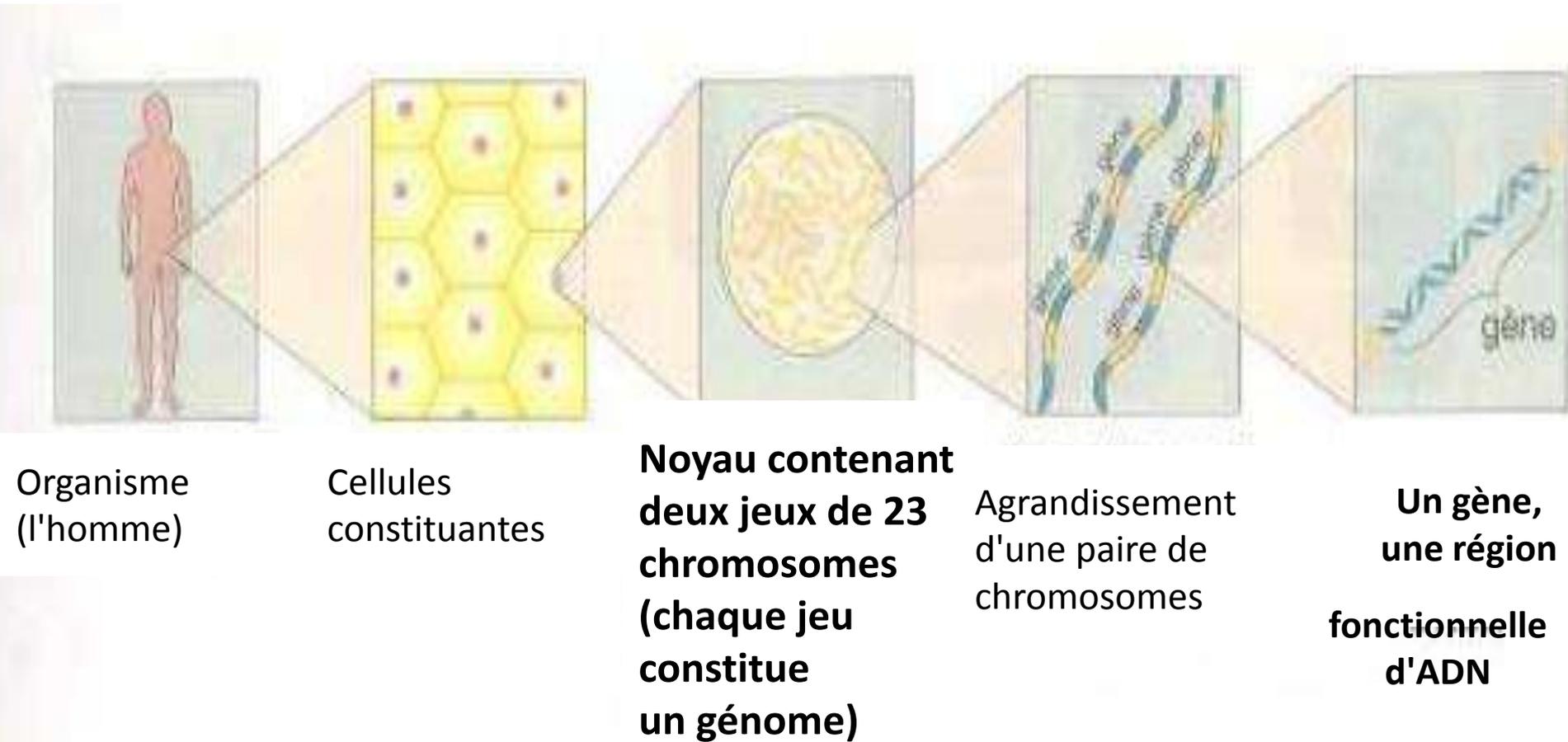
**1-** Des scientifiques découvrent la structure de l'ADN, le fondement matériel de l'hérédité (1953).

**2-** L'ADN hérité de nos parents est notre génome.  
Génome de l'humain.  
 Contenu ADN de nos 46 chromosomes.

**3-** La capacité de l'ADN à se répliquer est le processus fondamental à la base de la perpétuation de la vie.

Les enfants ressemblent à leurs parents, parce que l'ADN de ces derniers se réplique (se double) d'une manière précise avant d'être transmis d'une génération à l'autre

4- L'ADN dicte nos caractéristiques physiques  
(biochimiques, anatomiques, physiologiques)  
via nos protéines



**Agrandissements successifs,  
de l'organisme au matériel générique.**

# **II- LES BASES MOLÉCULAIRES DE L'HÉRÉDITÉ: COMPOSITION**

## **ET STRUCTURE**

### **DU MATERIEL GENETIQUE**

#### **A- Identification du matériel génétique**

**Des expériences majeures mènent les chercheurs à reconnaître que l'ADN est le matériel héréditaire.**

À partir des recherches de Morgan (1910) sur les chromosomes géants de drosophiles (une mouche), on savait que le matériel génétique devait être composé

**d'ADN,**

**d'ARN**

**ou de protéines**

mais on penchait pour les protéines.

L'ADN semblait trop uniforme dans sa structure pour pouvoir expliquer la grande diversité démontrée par le vivant.

# 1- L'expérience de Griffith (1928)

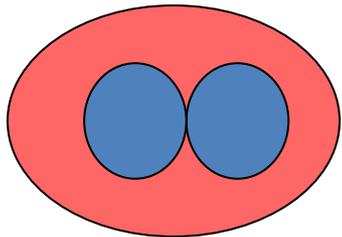
## *La transformation des bactéries par l'ADN d'autres bactéries*

\*- deux types de souches de *Streptococcus pneumoniae*:

### a- Matériel

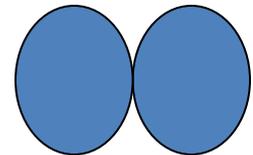
- Deux souches bactériennes : pathogène et non pathogène
- Des souris

La souche S (lisse) est pathogène parce que sa capsule la protège du système immunitaire de ses victimes.



La souche R (rugueuse) est non pathogène car elle est dépourvue de capsule.

Le système immunitaire la reconnaît et la détruit.



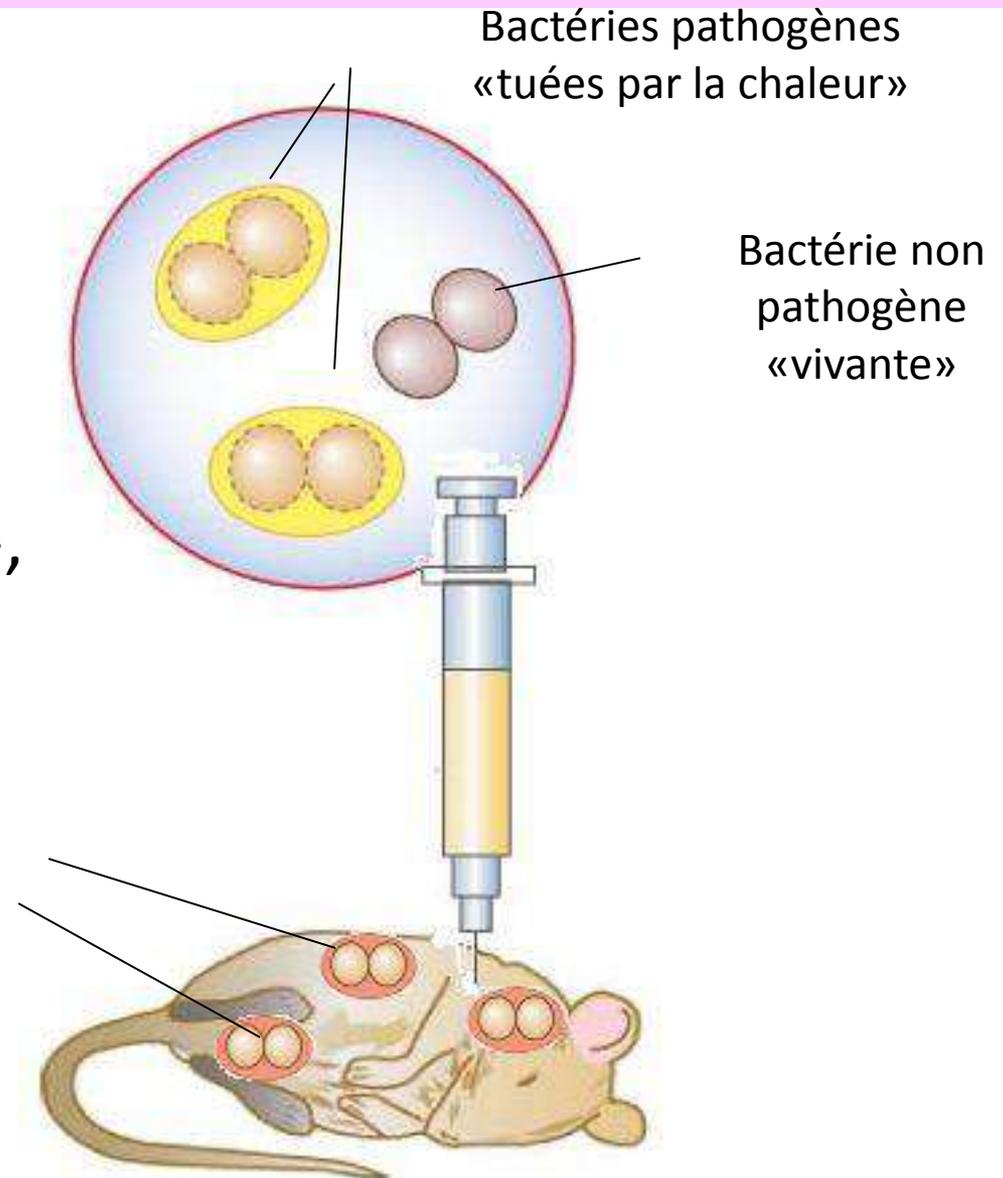
La différence de morphologie est due à la présence de polysaccharides protecteurs autour de la cellule chez les souches S.

Ces polysaccharides ont différentes compositions qui spécifient le type des pneumocoques (I, II, III etc.).

Ils sont facilement visualisables par l'utilisation d'anticorps spécifiques.

### **b- Expérience**

Un mélange de bactéries, pathogènes «mortes» et non pathogènes «vivantes», injecté à une souris la fait mourir.





Souche S



La souris meurt

(a)



Souche R

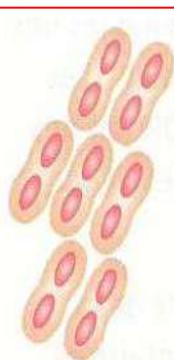


La souris est vivante

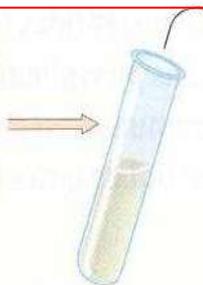
(b)

Une souris survit à l'injection de la souche R

Une souris meurt après l'injection de la souche virulente S.



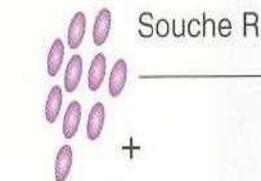
Souche S tuée par chauffage



La souris est vivante

(c)

Une souris survit à l'injection de la souche S tuée par chauffage.



Souche R



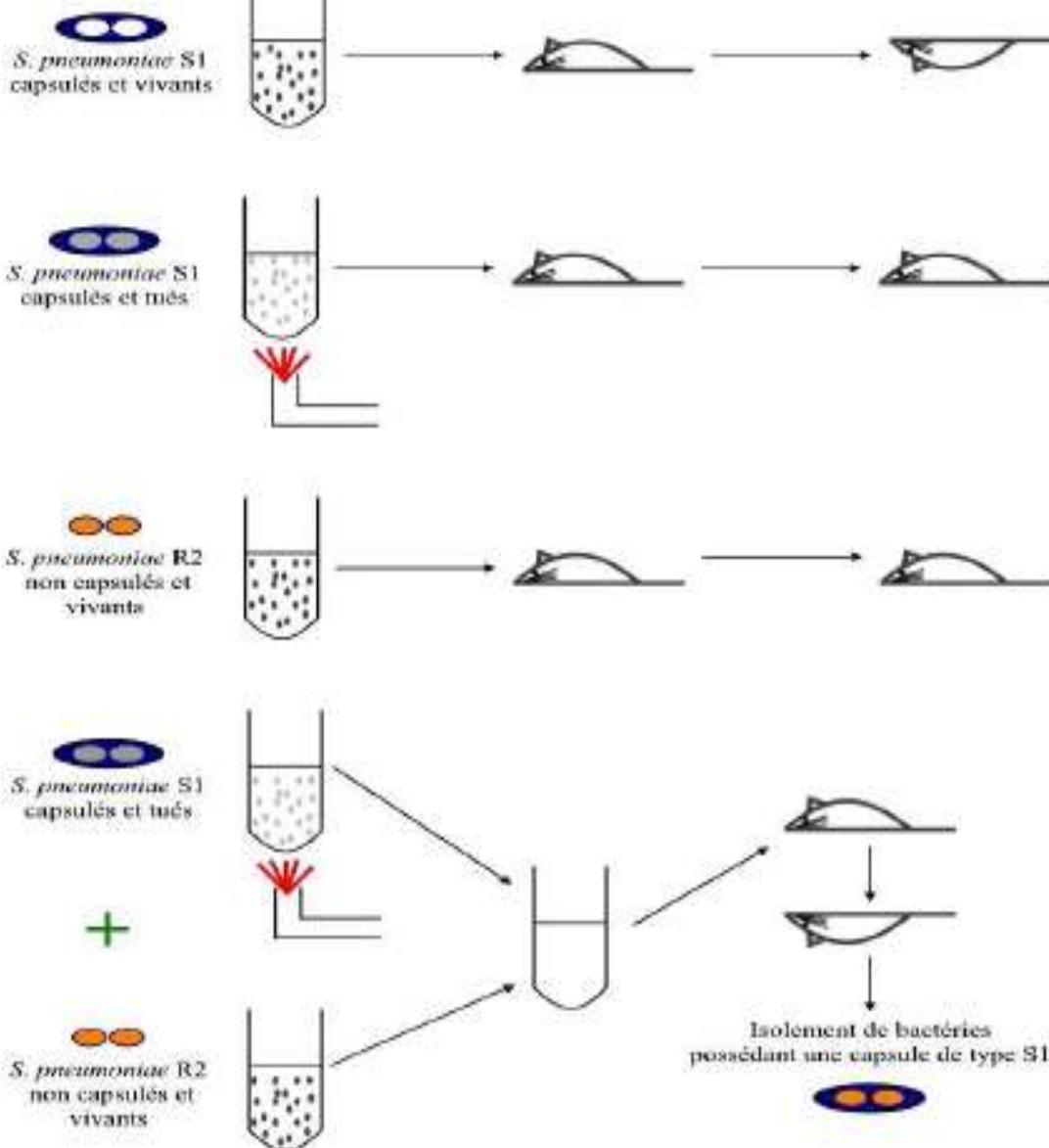
Souche S tuée par chauffage



La souris meurt

(d)

Une souris meurt après l'injection d'un mélange de la souche S tuée par chauffage et de la souche R vivante.



Les cellules S1 chauffées avec des cellules R II, Griffith constate la mort rapide des souris. Il extrait les bactéries des cadavres et les étales sur boîte de Pétri: les bactéries qui poussent ont un aspect lisse, elles sont de type S I l'information "S I" dans les cellules S tuées se transmet aux cellules R vivantes et les transforme en S I

→ le principe de la transformation.

### Conclusion de l'expérience:

Une substance chimique contenue dans les bactéries S est capable de « transformer » les bactéries R en bactéries S

D'une manière ou d'une autre,  
la souche **S** tuée par chauffage peut transformer **R** en *souche* virulente.

### c- Conclusion

1. Les bactéries vivantes, non pathogènes, ont capté une substance provenant des bactéries pathogènes et se sont transformées en bactéries pathogènes ce qui a fait mourir l'animal.
2. L'agent de transformation est héréditaire puisque les bactéries transformées en pathogènes se reproduisent en d'autres bactéries pathogènes.
3. L'agent de transformation n'est probablement pas constitué de protéines car les protéines sont dénaturées par la chaleur.  
Or, Griffith a utilisé la chaleur pour tuer les bactéries.  
On peut penser que l'agent de transformation est l'ADN.

### Transformation

**Modification du génotype (gènes) et du phénotype (gènes exprimés, apparence) due à l'assimilation par une cellule d'un ADN étranger**

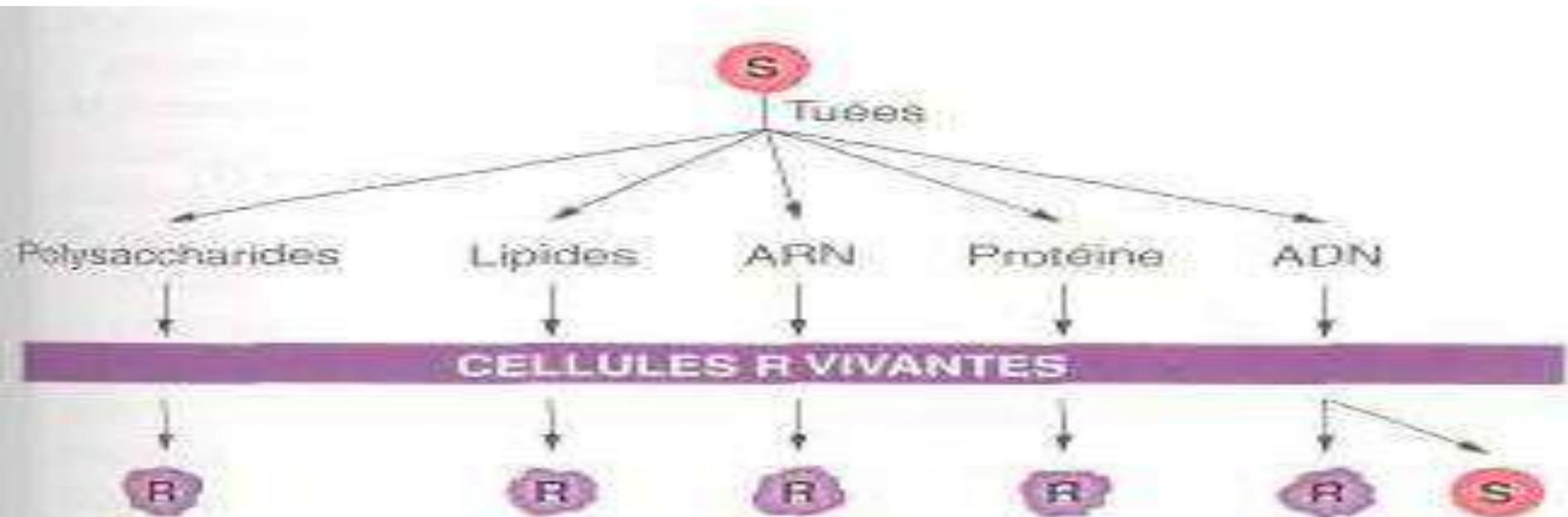
Quelle est cette substance

## 2- Les travaux de l'équipe Avery (1944)

*Déterminent que l'agent de transformation dans l'expérience de Griffith est véritablement l'ADN.*

Cherchent pendant 14 ans l'identité du matériel ayant transformé les bactéries de Griffith.

La démonstration du rôle de principe transformant de l'ADN constituait la première preuve de la composition en ADN des gènes.



## Expérience de Avery (1944)

- **Question posée:** quel composant chimique des bactéries S confère la virulence aux bactéries R?
- **Méthode:** Traitements détruisant spécifiquement différents composants des bactéries S
  - **Résultat:** La destruction des protéines ou de l'ARN par des enzymes n'empêche pas la transformation des bactéries R en S.

Par contre, la transformation n'a pas lieu si l'ADN est détruit.

- **Conclusion de l'expérience:** l'information permettant la transformation des bactéries R en S est médiée par l'ADN.

**Proposition d'Avery:**

**L'ADN est le support matériel de l'hérédité!**

## Méthodes

Bactéries de type IIS (virulentes)

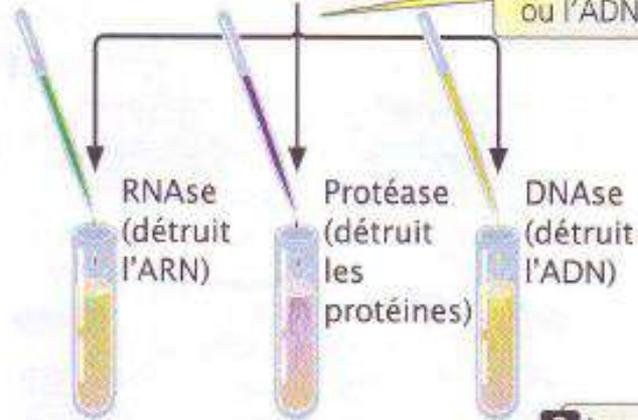


1 Les bactéries virulentes sont tuées par la chaleur, homogénéisées, et filtrées.

Filtrat de bactéries IIS tuées



2 Des échantillons sont traités avec des enzymes qui détruisent les protéines, l'ARN ou l'ADN.



3 Les échantillons traités sont ajoutés à des cultures de bactéries de type IIR.

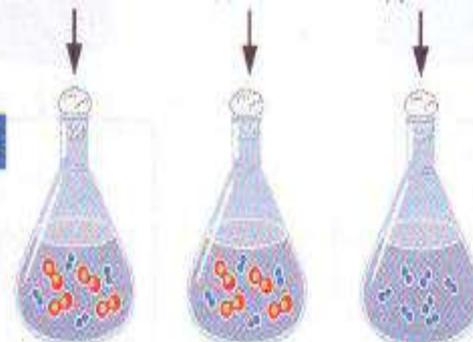
Bactéries de type IIR

Bactéries de type IIR

Bactéries de type IIR



## Résultats



Bactéries de type IIS et de type IIR

Bactéries de type IIS et de type IIR

Bactéries de type IIR

4 Les cultures auxquelles on a ajouté les échantillons traités par la protéase ou la RNase contiennent des bactéries transformées de type IIS...

5 ...mais la culture qui a reçu l'échantillon traité par la DNase n'en contient pas.

**Conclusion :** Étant donné que seule la DNase a détruit la substance transformante, cette substance est l'ADN. Le phénomène de transformation montre qu'une substance -le principe transformant- est capable de modifier génétiquement des bactéries R.

### 3- L'analyse de l'ADN par Erwin Chargaff (1947)

*Preuve indirecte que l'ADN est le matériel génétique «héréditaire» puisque chaque espèce a sa propre composition en ADN*

Erwin Chargaff a analysé la proportion des bases dans l'ADN de plusieurs organismes différents et a tiré **deux conclusions**

**a-** Chaque espèce a sa propre composition d'ADN

**b-** Dans l'ADN, il y a  
autant d'adénine que de thymine ( $A = T$ )  
autant de guanine que de cytosine ( $G = C$ )

***Ce sont les règles de Chargaff !***

## Méthodes Protéine-ADN

Phage T2

*E. coli*

1 Infection d'*E. coli* croissant dans un milieu contenant du  $^{35}\text{S}$ .

1 Infection d'*E. coli* croissant dans un milieu contenant du  $^{32}\text{P}$ .

2 Le  $^{35}\text{S}$  est incorporé dans les protéines du phage qui contiennent S mais pas P.

2 Le  $^{32}\text{P}$  est incorporé dans l'ADN du phage qui contient P mais pas S.

3 Les phages marqués au  $^{35}\text{S}$  infectent des *E. coli* non marqués.

3 Les phages marqués au  $^{32}\text{P}$  infectent des *E. coli* non marqués.

4 Les manteaux protéiques sont détachés par passage dans un mixer...

4 Les manteaux protéiques sont détachés par passage dans un mixer...

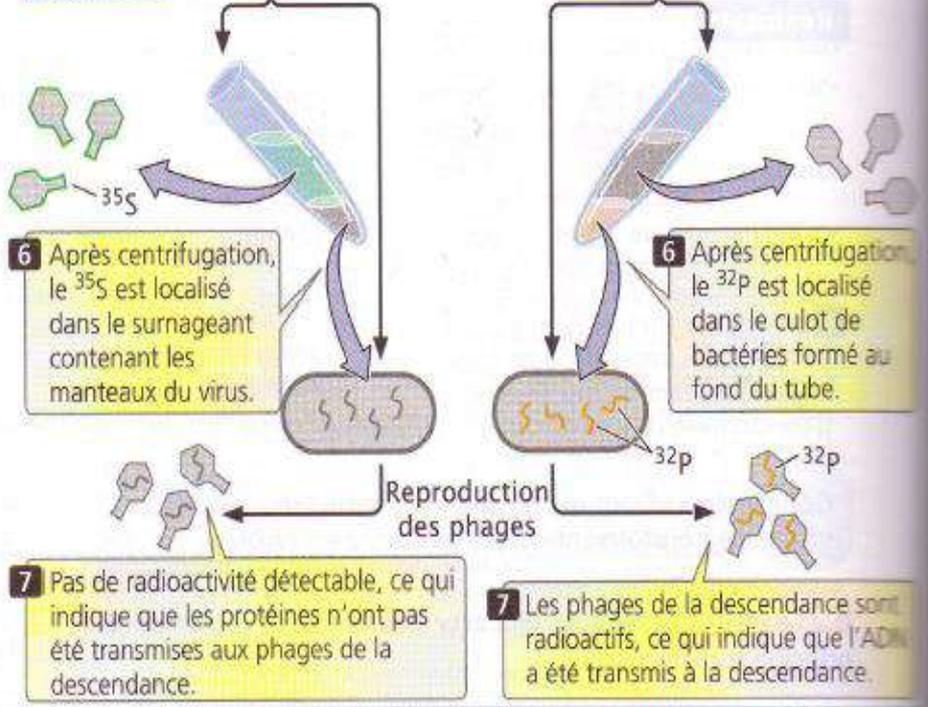
5 ...et séparés des cellules par centrifugation.

5 ...et séparés des cellules par centrifugation.

# 4- L'expérience d'Hershey et Chase (1952)

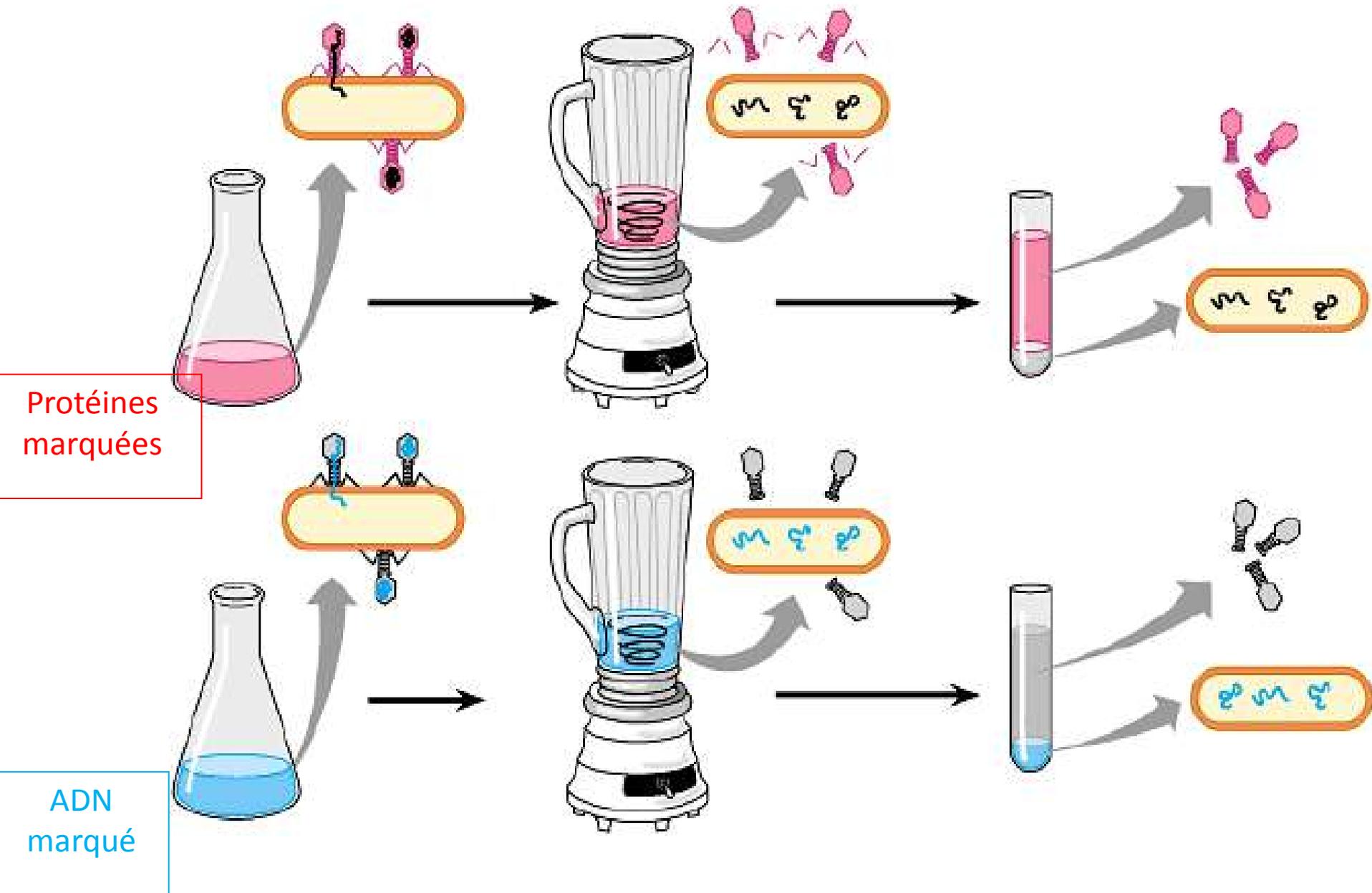
## Une preuve de la programmation de cellules par l'ADN viral

### Résultats

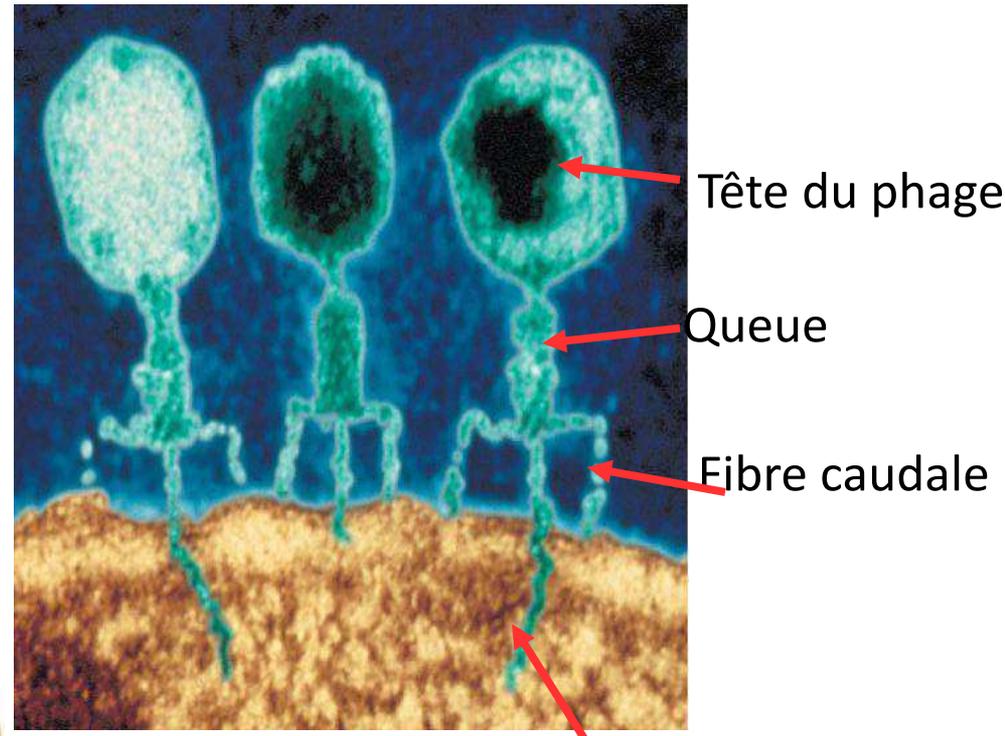
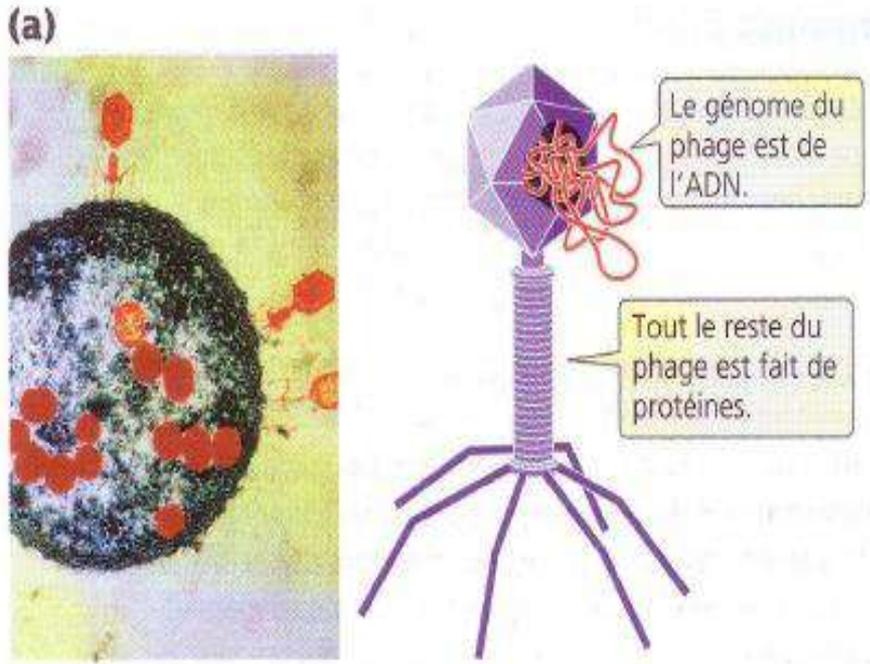


Conclusion : c'est l'ADN- et non les protéines- qui est le matériel génétique des bactériophages

# ADN constitue le matériel génétique

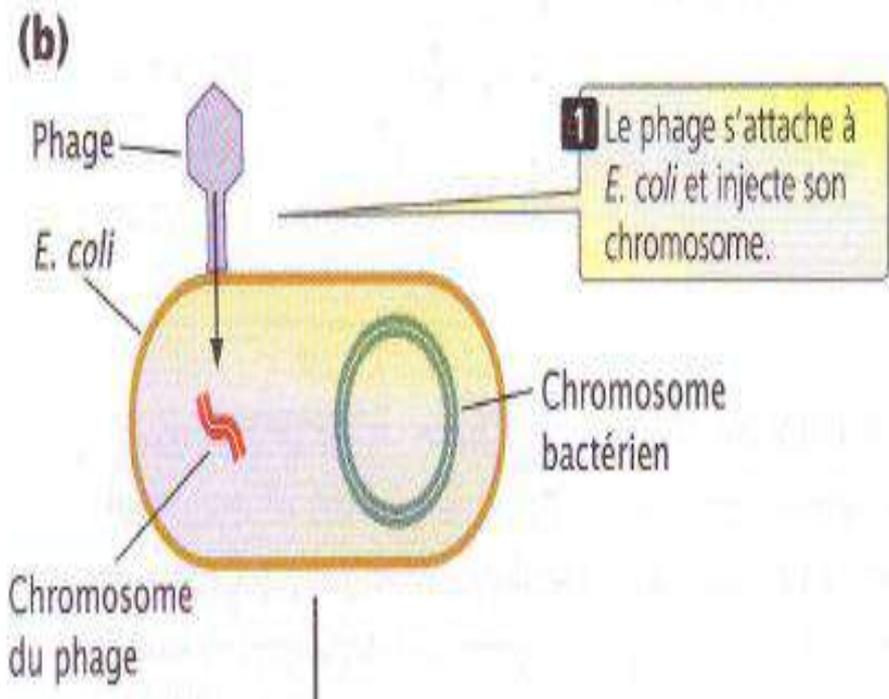


# Trois phages infectant une bactérie !



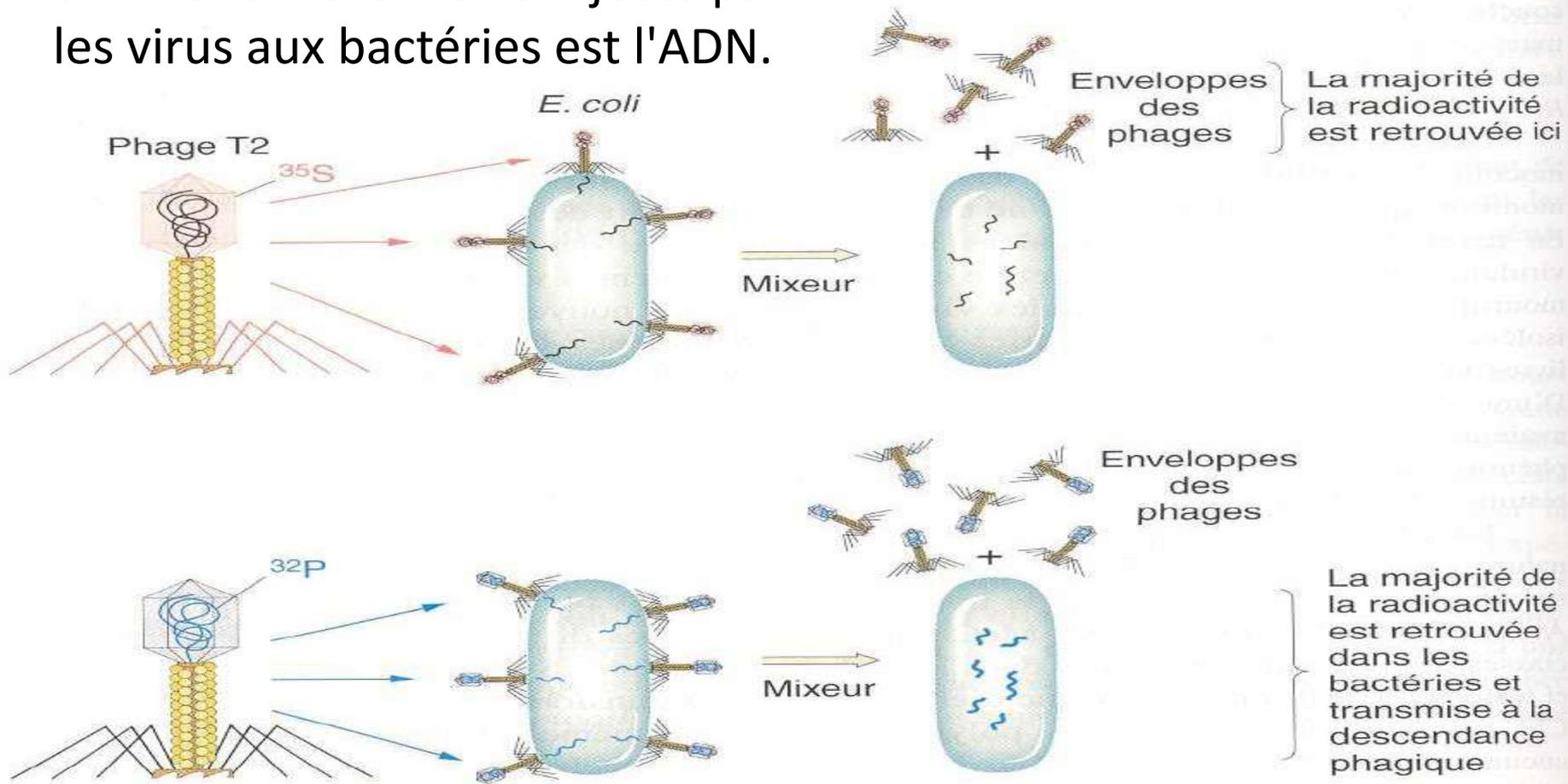
Injection de matériel génétique

**Le T2 est un bactériophage qui infecte E. coli.**



## c- Conclusion

Le matériel héréditaire injecté par les virus aux bactéries est l'ADN.



Toute information génétique est contenue dans une longue séquence de molécules d'ADN ou d'ARN.

**Au début des années 1950 les chercheurs sont convaincus que le support génétique est de l'ADN.**

# MESSAGE

- Leurs résultats montrent clairement et de manière surprenante pour l'époque que **l'ADN est le principe transformant.**  
**Les gènes** sont donc faits d'ADN.

- D'un point de vue génétique,  
il faut mentionner que la découverte de la structure de l'ADN par **Watson et Crick en 1953 a permis de proposer des mécanismes pour expliquer** comment l'information génétique est codée dans l'ADN et comment elle est transmise au cours des générations.

## B- Information génétique et protéines

50% du poids sec de la plupart des cellules = **protéines**

Protéine = polymère (chaîne) **d'acides aminés**

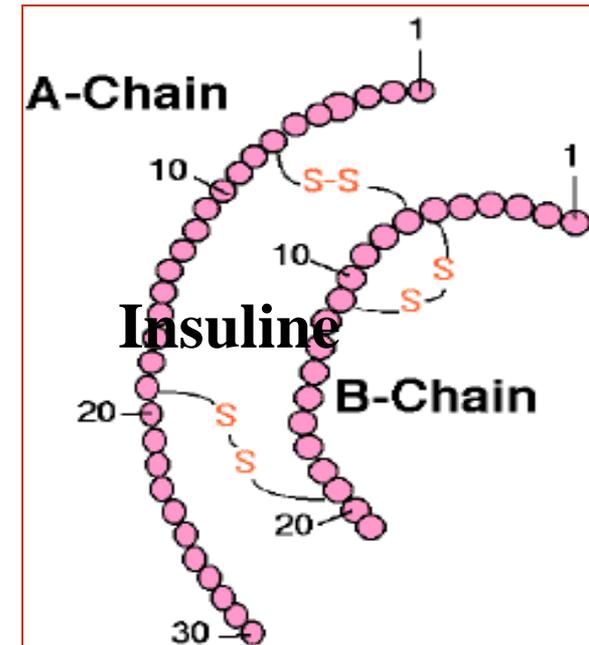
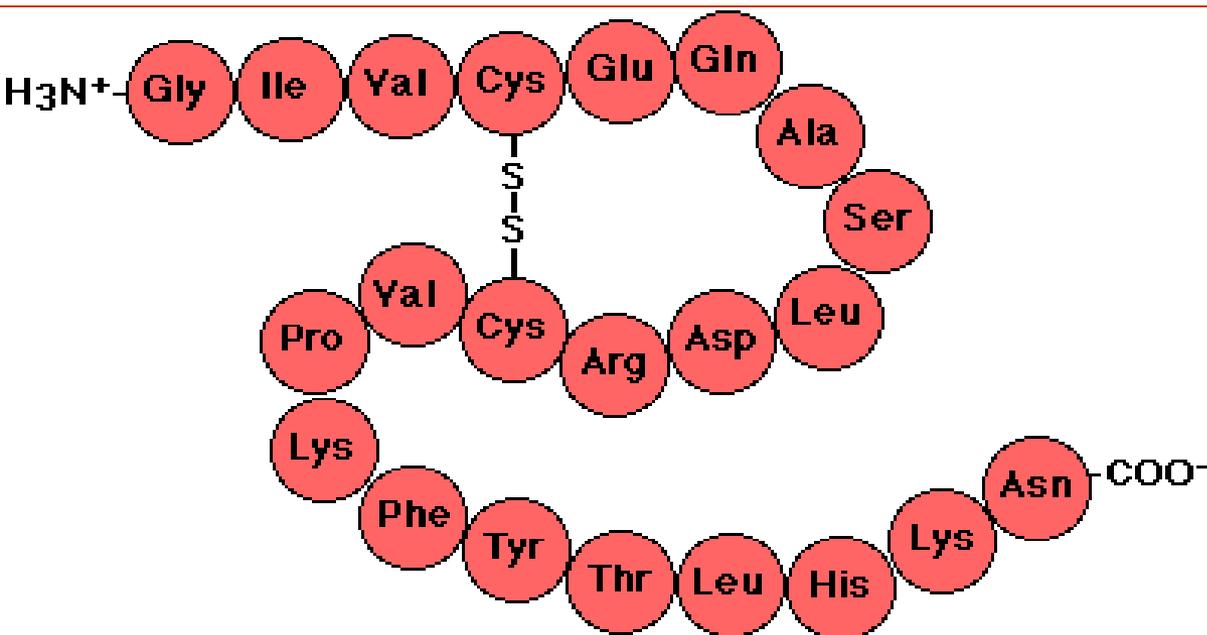
Chaque protéine est caractérisée par sa **séquence d'acides aminés**.

Chaque cellule fabrique les protéines dont elle a besoin.

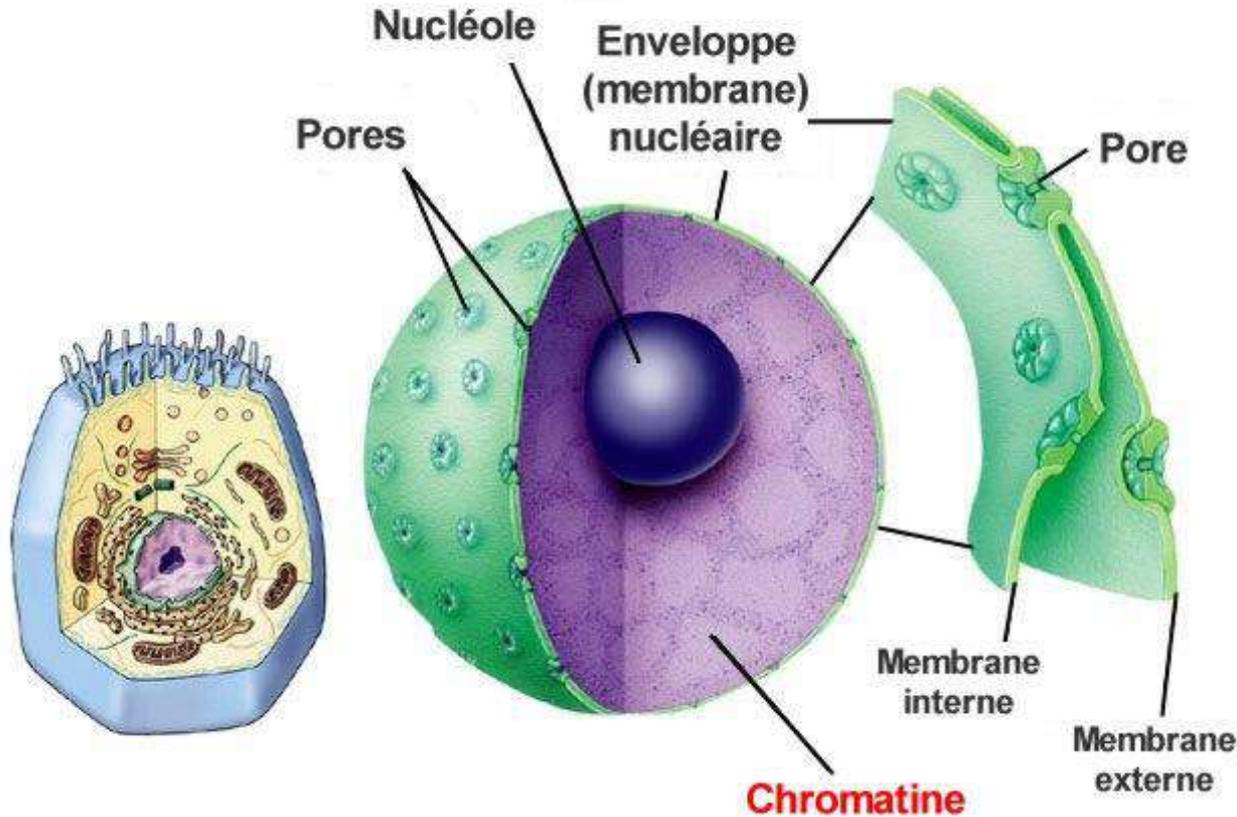
Pour fabriquer une protéine, il faut deux choses:

- Des **acides aminés**.
- La **recette**: quels acides aminés il faut assembler et dans quel ordre.

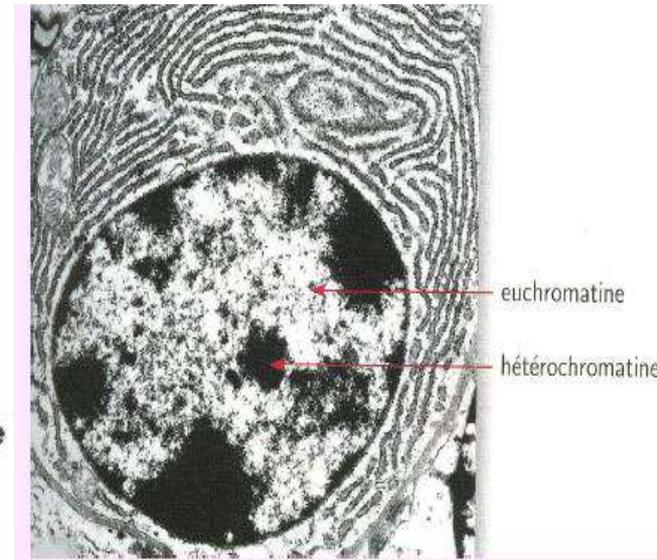
*Où sont les recettes ???*



# "Recettes" contenues dans le noyau



Noyau contient une matière appelée **chromatine**



**Chromatine** = mélange de protéines appelées **histones** et d'**ADN** (environ moitié-moitié)

**ADN** = recettes des protéines

L'information permettant la synthèse des protéines est portée par l'ADN

→ Implique la colinéarité des séquences nucléique (4 « lettres ») et protéique (20 « lettres »)



un gène = un segment d'ADN qui représente l'information nécessaire à la synthèse d'une protéine

**ADN**

C A C C T G A C T C C T G A G G A G



**protéine**

His

Leu

Thr

Pro

Glu

Glu

**Le matériel génétique doit remplir cinq conditions bien précises:**

**1- contenir une information** capable de commander la production de toutes les molécules complexes nécessaires à la structure et au fonctionnement des systèmes vivants;

**2- dupliquer cette information** avec précision de telle sorte qu' elle se transmette de cellule en cellule et de génération en génération;

ainsi la conservation du type spécifique pendant des milliers de générations est elle réalisée;

**3- décoder l'information** inscrite dans le matériel génétique afin de produire les molécules nécessaires à la structure et au fonctionnement des cellules des systèmes vivants.

**4- subir de rares variations — les mutations** — qui ont un rôle si important dans l'étiquetage des gènes et dans l'évolution;

**5- posséder une grande stabilité métabolique** puisque l'ADN doit être conservé sans altération durant des générations cellulaires.

# C- Composition et structure moléculaire de l'ADN

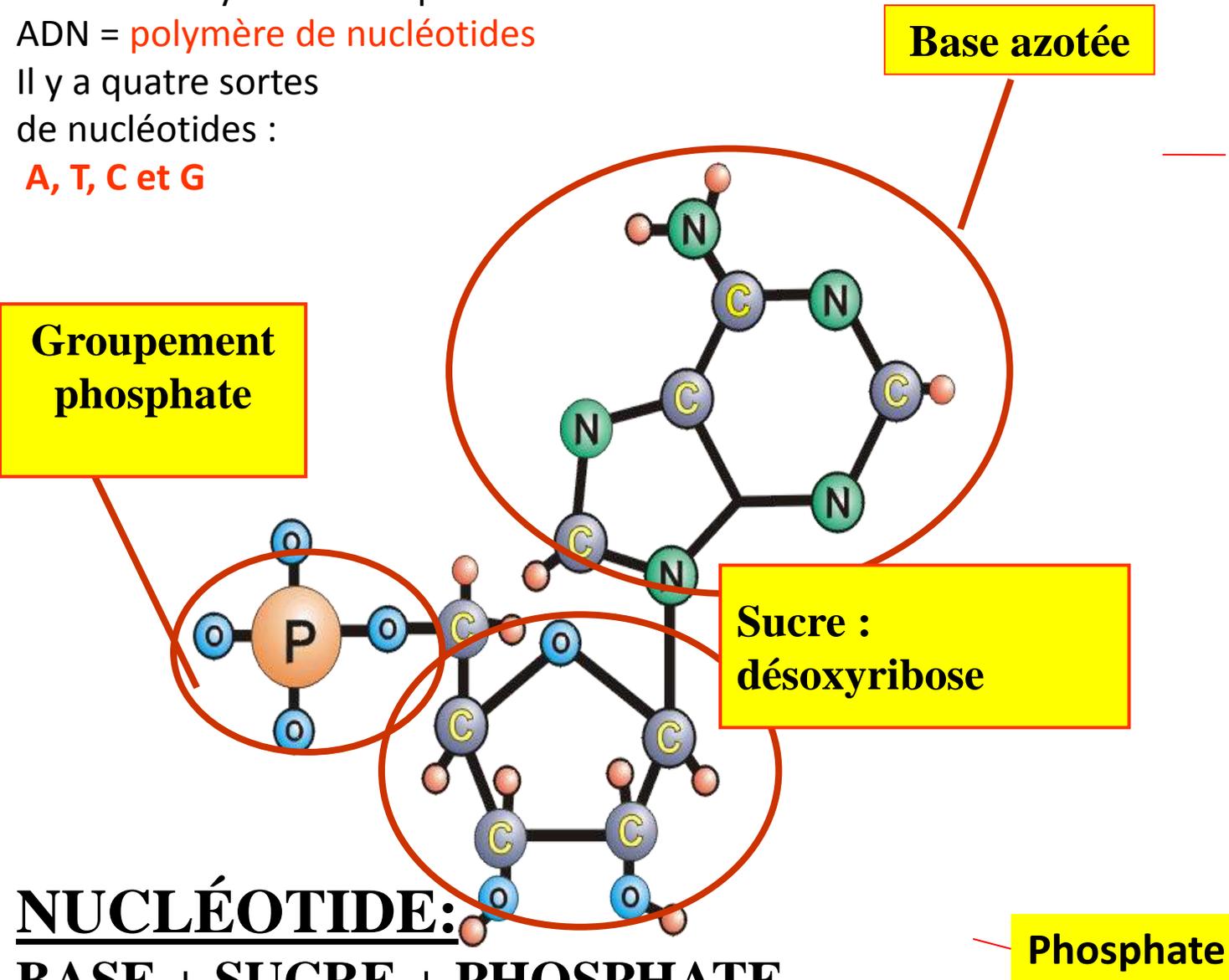
Découverte de la structure de la molécule d'ADN: Crick et Watson

Acide **D**ésoxyribo**N**ucléique

ADN = polymère de nucléotides

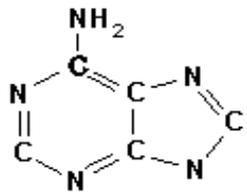
Il y a quatre sortes de nucléotides :

**A, T, C et G**

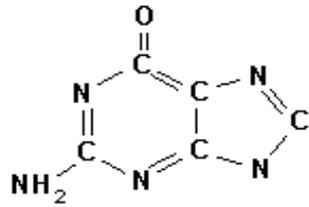


**NUCLÉOTIDE:**  
**BASE + SUCRE + PHOSPHATE**

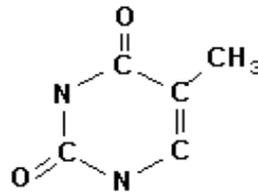
## Bases azotées



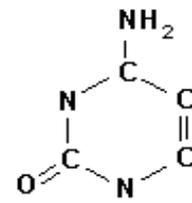
Adénine



Guanine



Thymine



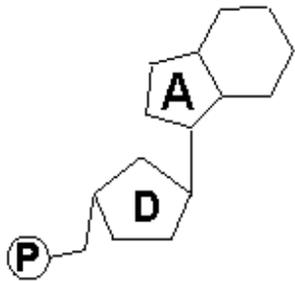
Cytosine

Purines

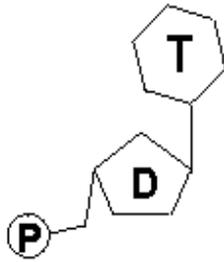
Pyrimidines

Il y a **quatre** sortes de bases azotées: **DONC quatre** sortes de **nucléotides: A, T, C et G**

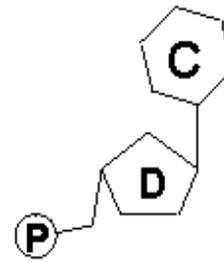
## Nucléotides



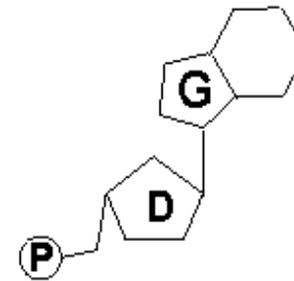
Adénine



Thymine



Cytosine

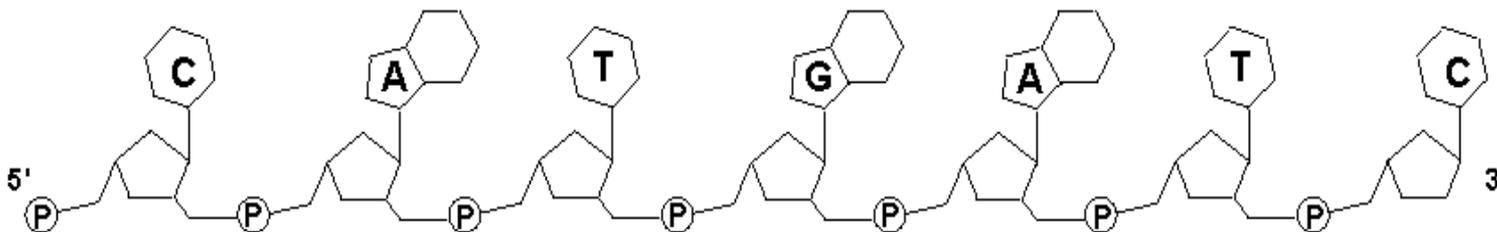


Guanine

**Le nucléotide est l'unité de construction de l'ADN.**

**Il est à cette molécule ce que l'acide aminé est à la protéine.**

Les nucléotides peuvent se lier les uns aux autres par leur sucre (désoxyribose) et leur groupement phosphate.



# 1- L'analyse de l'ADN par Erwin Chargaff (1947)

Erwin CHARGAFF publie ses travaux montrant que :  
le rapport **A+T/C+G** est **variable** selon les espèces  
mais **constant** entre les membres d'une même  
espèce.

Peu importe l'espèce,  
les rapports **A/T et G/C** sont toujours égaux à **1**  
(autant de A que de T et autant de G que de C).  
Si on sépare une molécule d'ADN en nucléotides,  
on obtient toujours:

$$A = T \text{ et } C = G$$

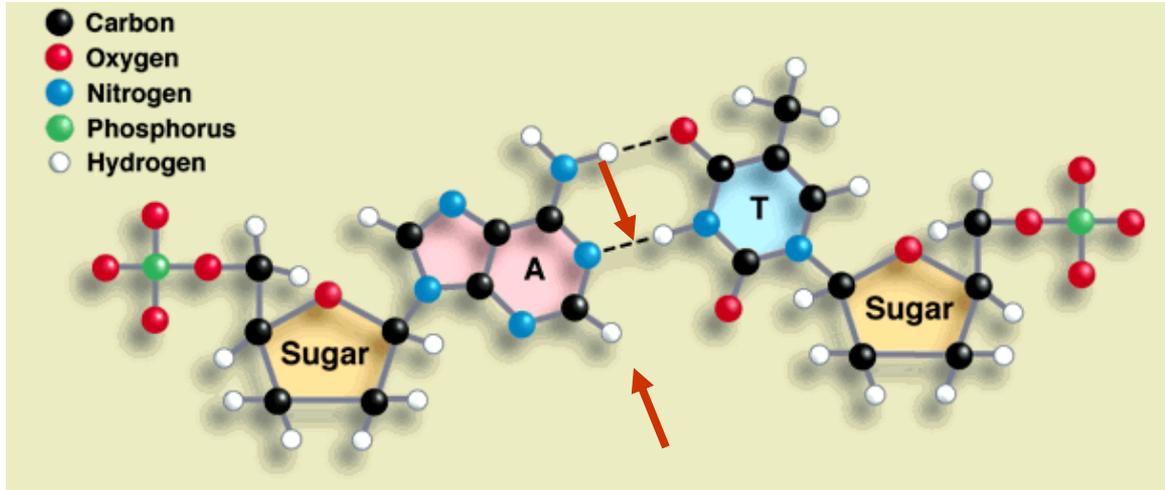
Il peut y avoir plus de **AT** que de **CG** ou l'inverse  
(ça varie selon les espèces),

mais il y a toujours autant de A que de T et de C que de G.

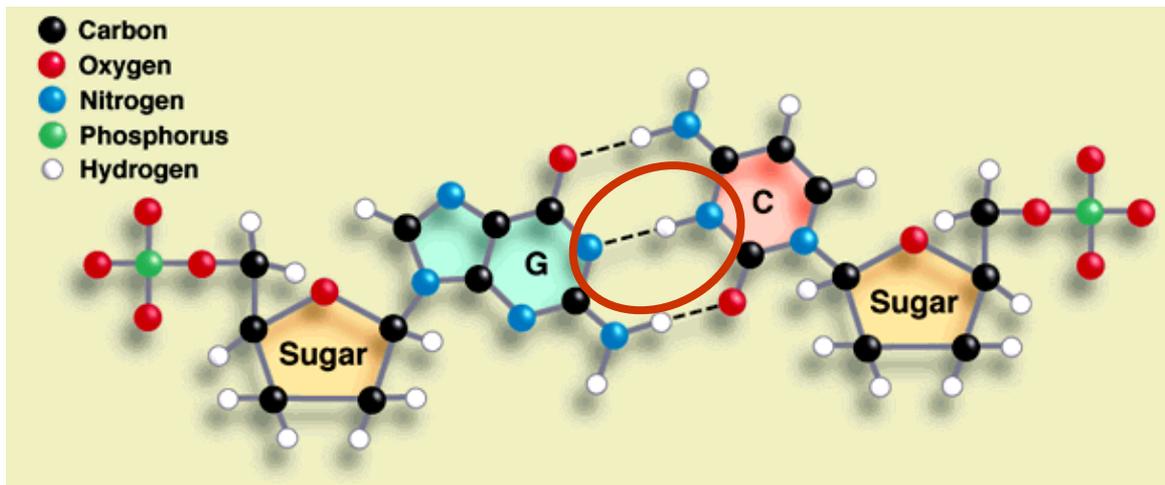
***Pourquoi ?***

## 2- Hypothèse de Crick et Watson:

A peut s'apparier avec T et C avec G:



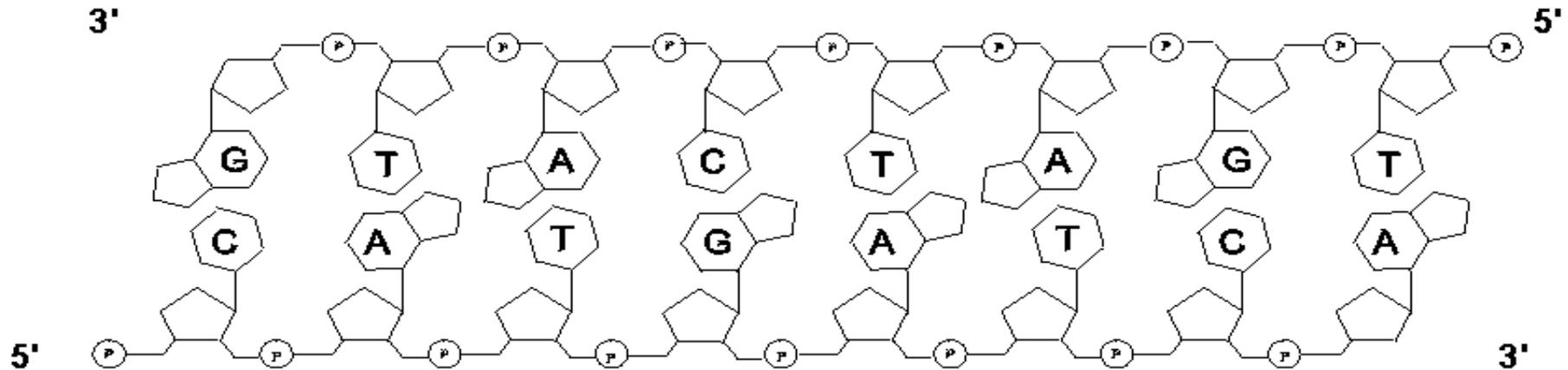
**A** avec **T** : deux liaisons hydrogène (liaisons faibles).



**C** avec **G** : trois liaisons hydrogène

# DONC

Deux chaînes de nucléotides peuvent s'unir l'une à l'autre si leurs bases sont complémentaires (A face à T et C face à G).



## CE QUI EST LE CAS POUR L'ADN

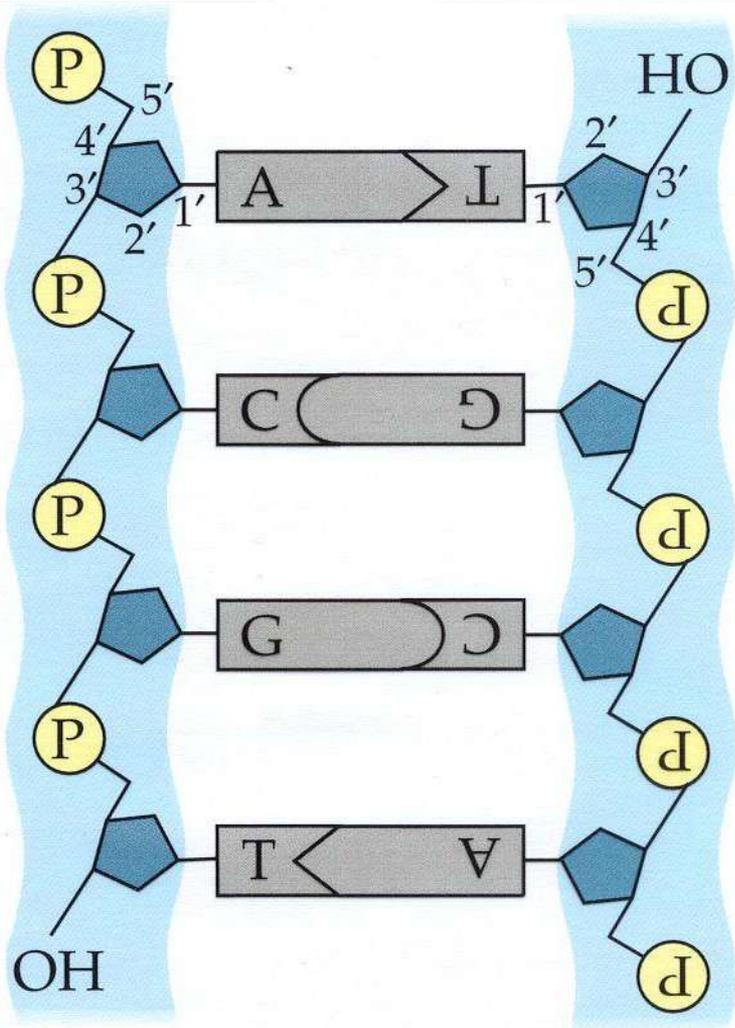
En rassemblant l'information existante sur la **chimie de l'ADN**,

en construisant **des modèles moléculaire** et en utilisant **les images aux rayons X**

**Crick et Watson** parvinrent à découvrir la **structure tridimensionnelle de la molécule d'ADN**.

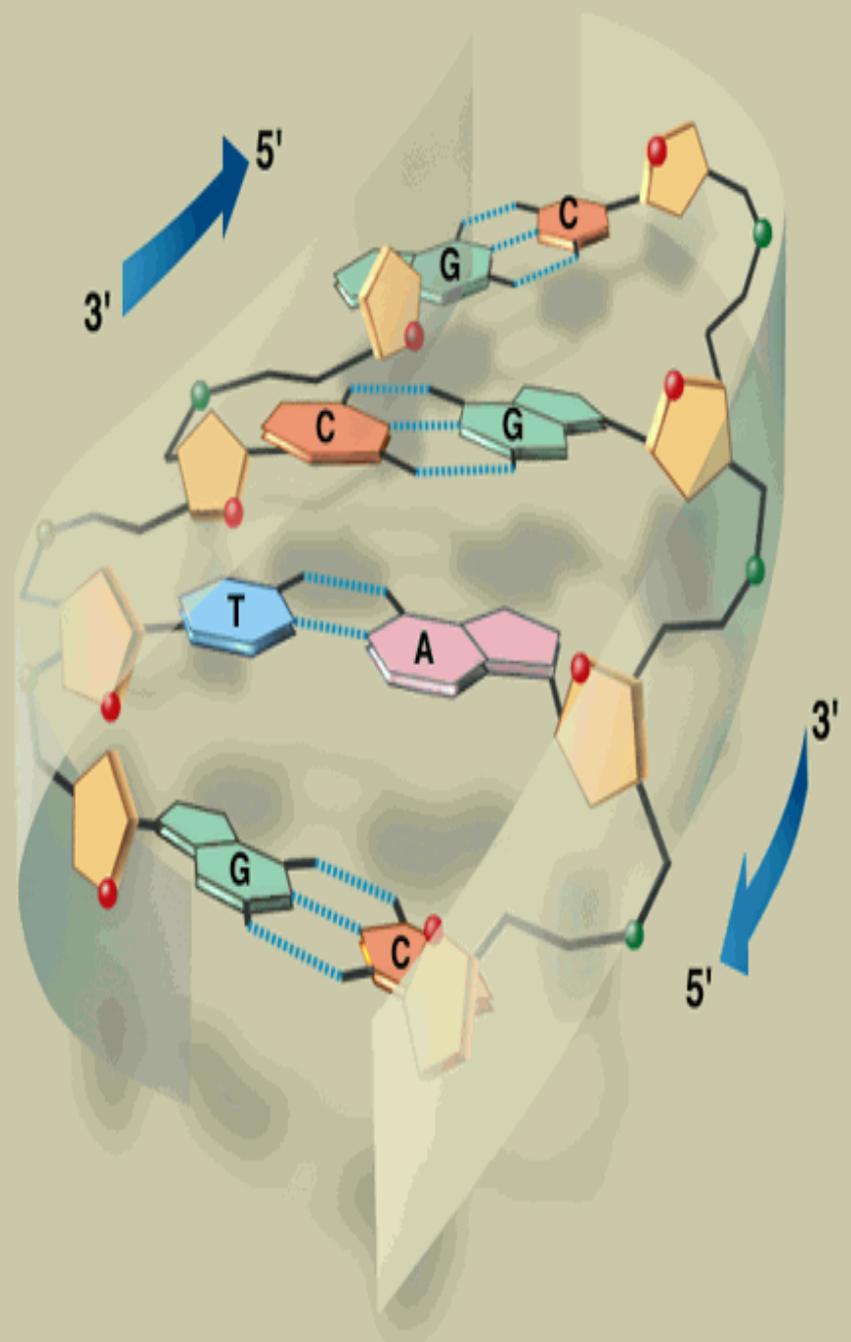
EXTRÉMITÉ 5'

EXTRÉMITÉ 3'

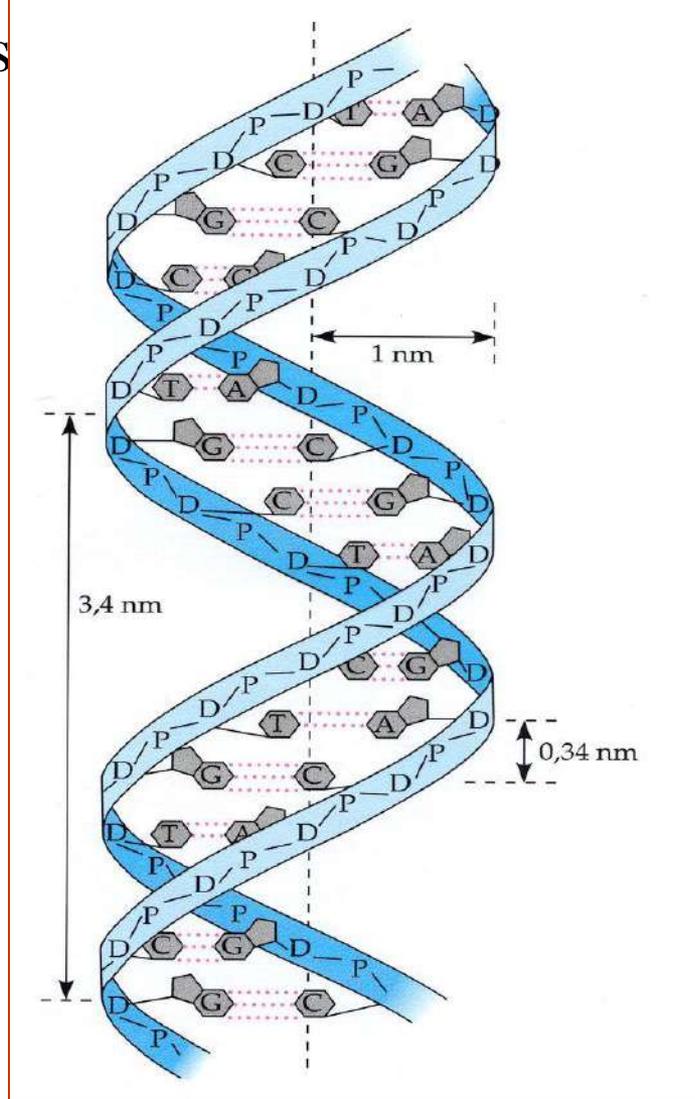
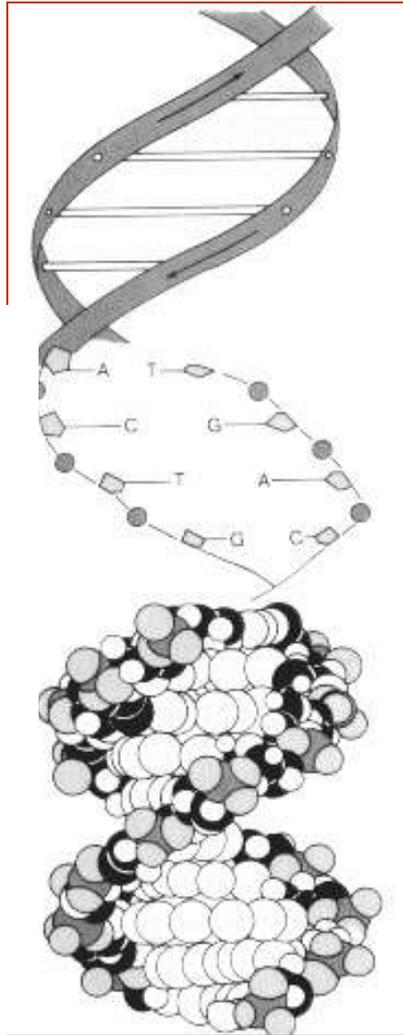


EXTRÉMITÉ 3'

EXTRÉMITÉ 5'



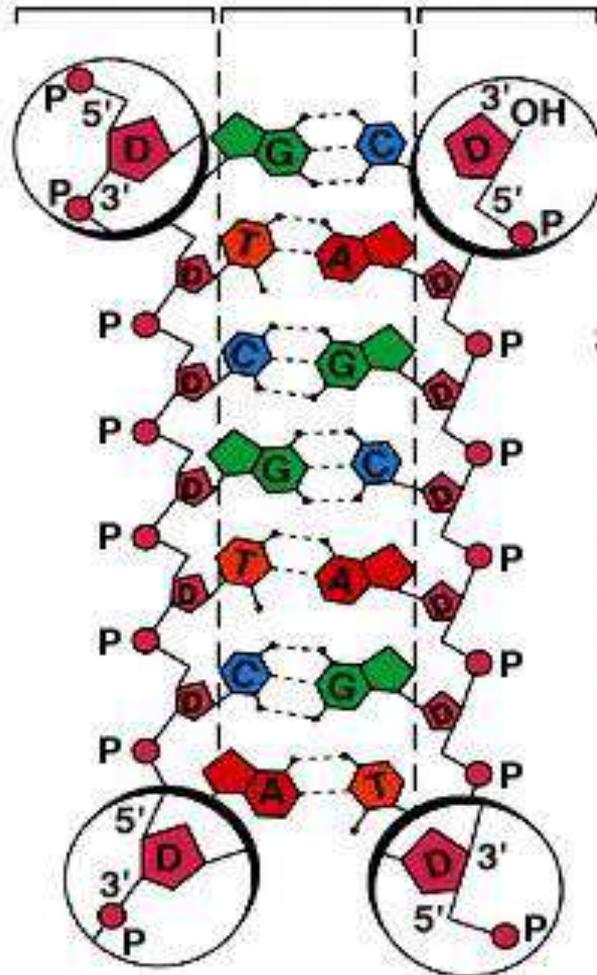
L'orientation entre les liaisons  
donne une structure en  
Forme de double hélice:



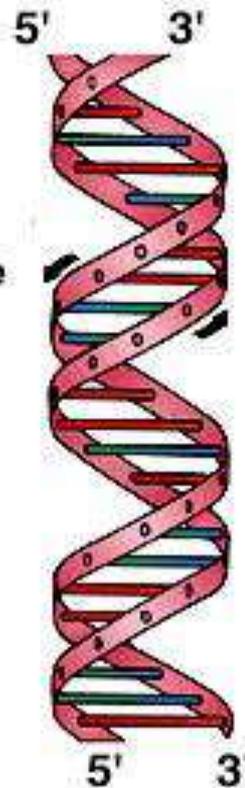
• D'un point de vue génétique, il faut mentionner que la découverte de la structure de l'ADN par **Watson et Crick** en **1953** a permis de proposer

**des mécanismes pour expliquer comment l'information génétique est codée dans l'ADN et comment elle est transmise au cours des générations**

Sucre Phosphate Paires de bases Sucre Phosphate

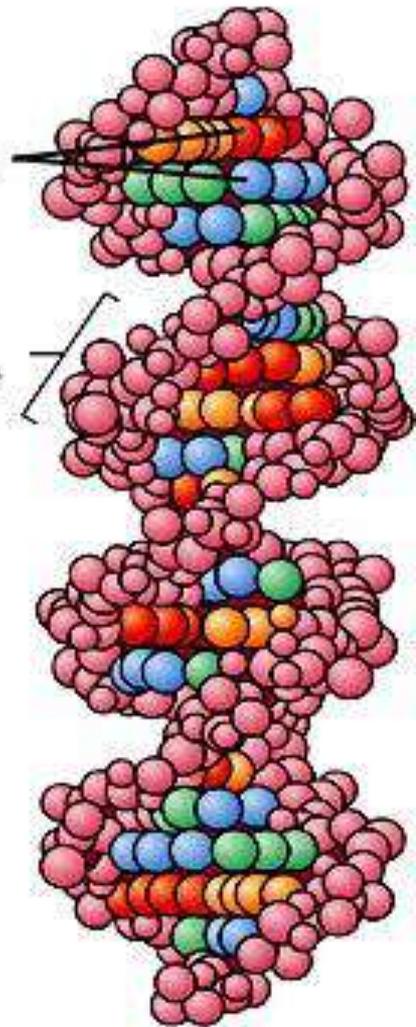


-  Phosphate
-  5' Désoxyribose
-  Cytosine
-  Guanine
-  Thymine
-  Adénine
-  Liaison hydrogène
-  Liaison covalente



Paires de bases

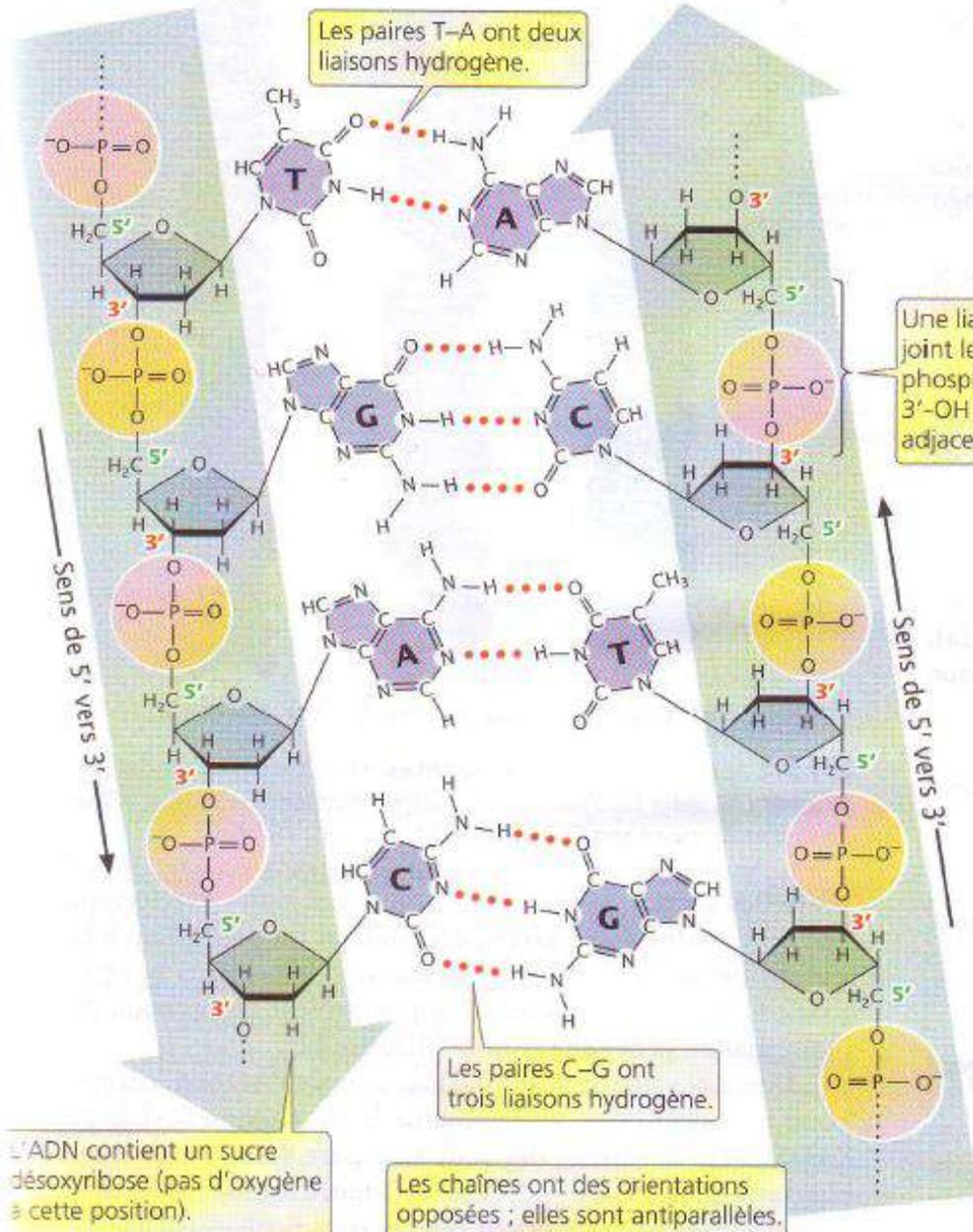
Sucre Phosphate



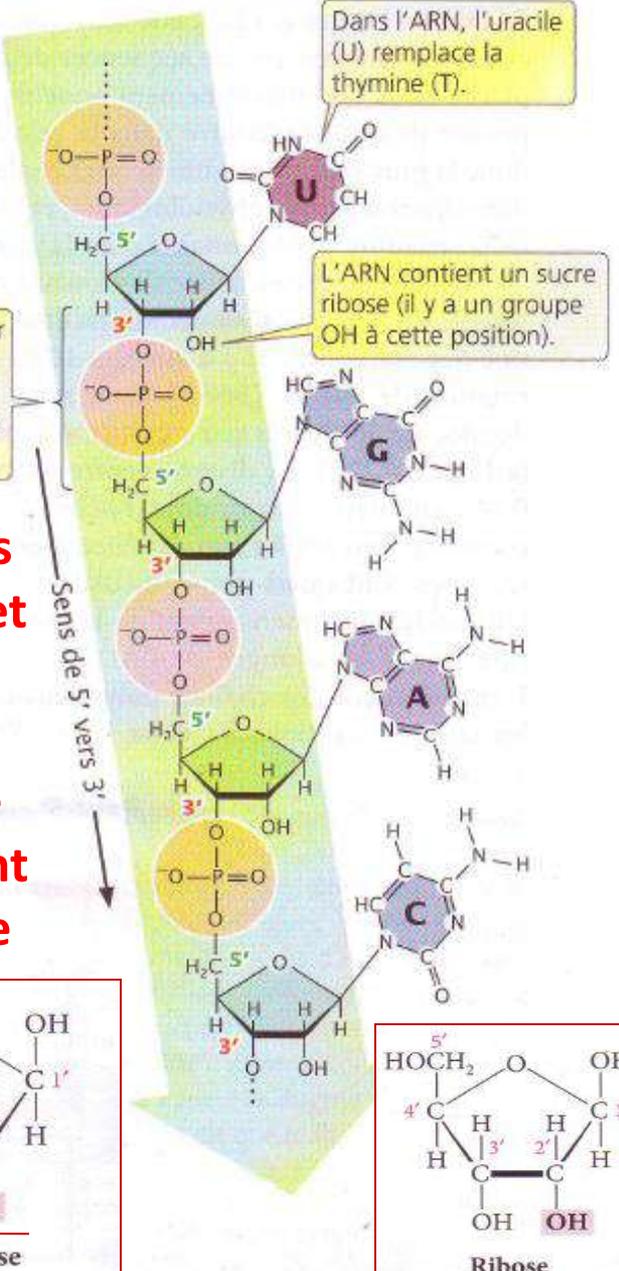
- § Bases au centre
- § 2 chaines antiparallèles
- § L'ADN est chargé négativement

# L'ADN et l'ARN sont formés de chaînes polynucléotidiques

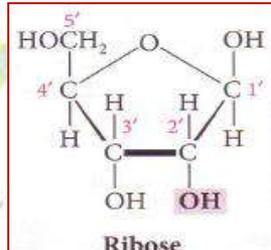
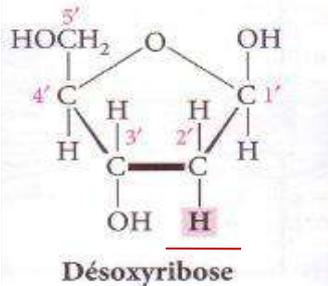
Chaîne polynucléotidique d'ADN



Chaîne polynucléotidique d'ARN



**Les sucres de l'ADN et de l'ARN ont une structure légèrement différente**



## D- l'ADN comme support d'information

La molécule d'ADN possède-t-elle un pouvoir informatif?  
Contient-elle une information?

Pour répondre à ces questions,  
il faut se rendre compte que toute information est douée de variations.  
Il nous faut donc rechercher dans la structure de l' A.D.N.,  
une structure variable.

Or le squelette "sucre-phosphate" est une séquence répétitive et  
identique tout au long de la chaîne.

De plus, elle est la même pour toutes les chaînes d'A.D.N.;  
aucune information ne peut donc être portée par cette structure.

**La seule variable dans la molécule est l'ordre  
de succession des paires de bases:  
l'information ne peut donc être contenue, inscrite,  
que dans cette séquence des paires de bases**

### **III- CONSERVATION ET TRANSMISSION DE L'INFORMATION GENETIQUE**

**La reproduction est la propriété la plus essentielle de tous les êtres vivants.**

C'est la capacité de donner naissance à de nouveaux individus qui leurs sont semblables.

Mais en fait, c'est à l'échelle cellulaire que cette reproduction se réalise!

En effet, tout système vivant est formé de cellules et toute cellule ne peut provenir que d'une autre cellule.

L'ADN des chromosomes de la cellule-mère étant le matériel génétique, c'est la cellule qui assume la continuité du vivant par un mécanisme de duplication hautement précis, assurant la transmission de l'information par la cellule-mère à ses deux cellules-filles.

**Cette duplication fidèle est assurée par la réplication de l'ADN,  
perpétuant de cellule en cellule,  
de génération en génération,  
l'information génétique**

## A- Principe de l'invariance génétique

**La réplication est la capacité des molécules d'ADN de s'auto-reproduire,**

**donc d'être capables de "fabriquer" deux nouvelles molécules d'ADN strictement identiques à la molécule originale sans que cette opération exige une source d'information autre que celle fournie par cette dernière.**

Cette réplication s'effectue par la séparation des deux brins et la formation d'un nouveau brin complémentaire sur chacun des deux brins initiaux libérés.

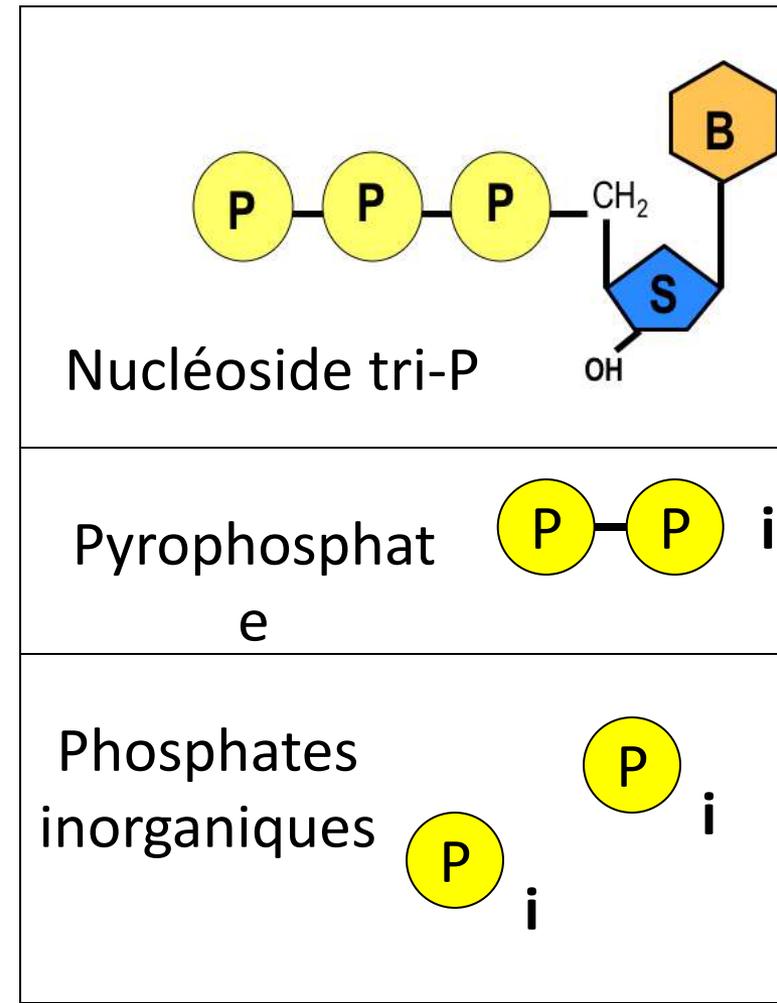
Ainsi, la réplication génère-t-elle deux duplex d'ADN, renfermant chacun une chaîne parentale et une chaîne néosynthétisée. Par ce fait, dans chaque nouvelle molécule d'ADN se trouve conservée la moitié de l'ancienne molécule; raison pour laquelle **la réplication est qualifiée de semi-conservative.**

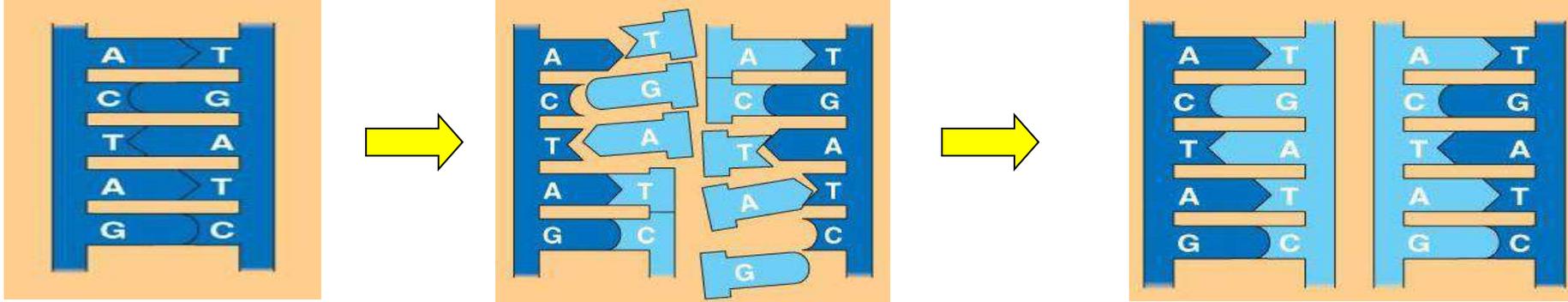
# 1- Réplication de l'ADN

- Dédoublement de tout l'ADN avant la division cellulaire dans le but de transmettre les gènes, de génération en génération

Le monomère de la réplication est **le nucléoside triphosphate d'ADN**

- Le **nucléoside tri-P** est chimiquement actif à cause des charges négatives des 3 **groupes phosphate**.
- Il se lie à l'ADN en formation en perdant deux groupes P (**pyrophosphate**).
- L'hydrolyse du pyrophosphate (en deux molécules de **phosphate inorganique**) dégage l'énergie nécessaire à la liaison du nucléotide à la chaîne d'ADN .





**Réplication semi-conservative:** la molécule mère donne un de ses brins à chaque molécule fille, qui est complétée par une chaîne nouvellement synthétisée.

Nouveau brin

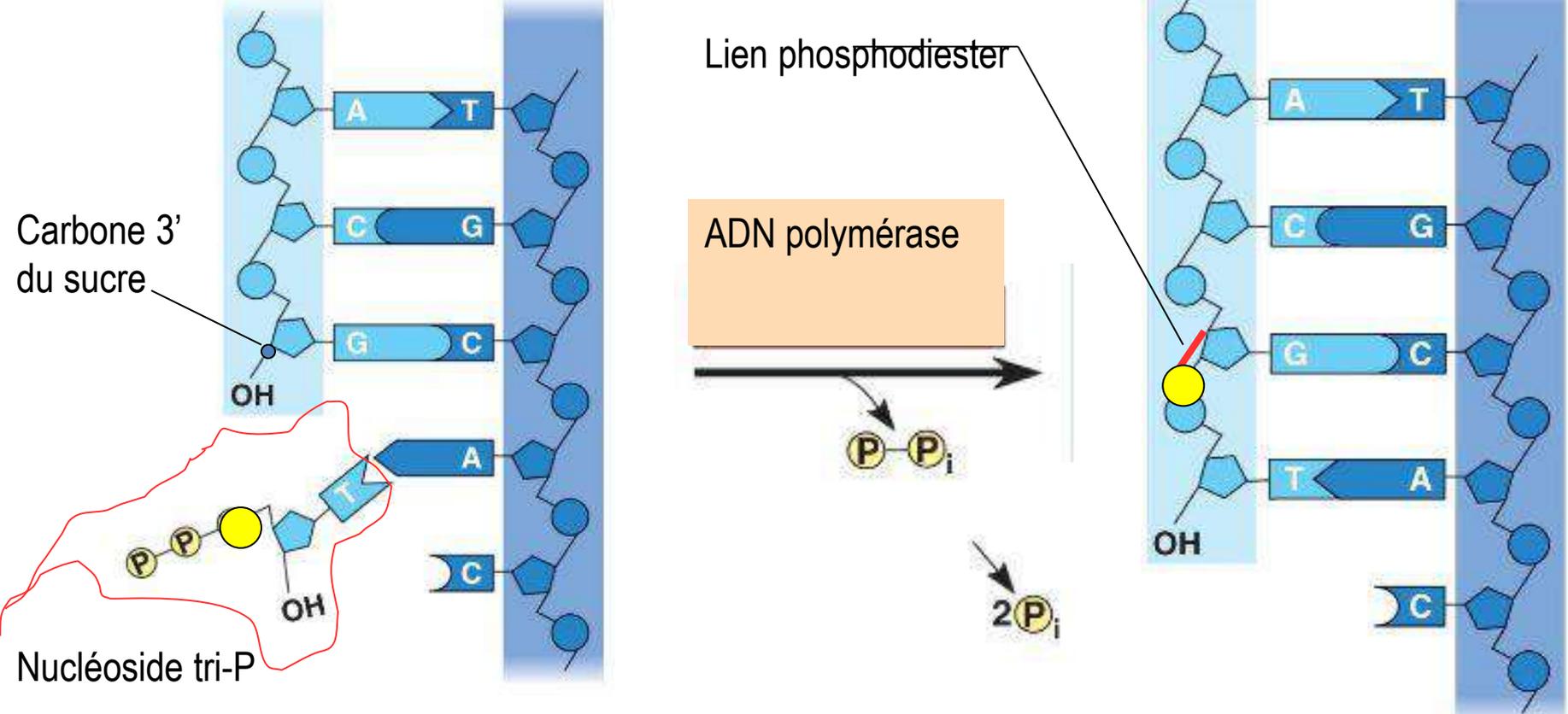
Brin matrice

Lien phosphodiester

ADN polymérase

Carbone 3' du sucre

Nucléoside tri-P



## 2- Mécanisme de la réplication (concept de base)

a- Chaque molécule d'ADN se déroule et se sépare en deux brins qui vont servir de **matrice** pour la synthèse d'ADN (par bris des liens hydrogène).

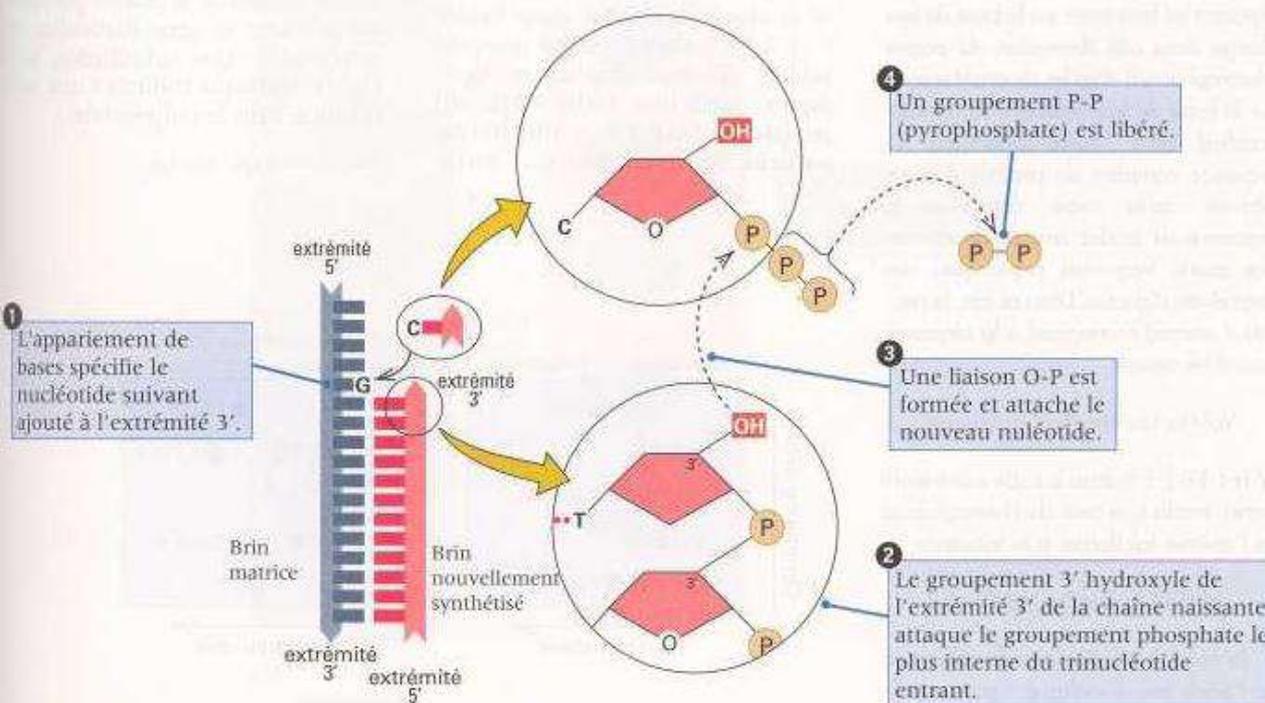
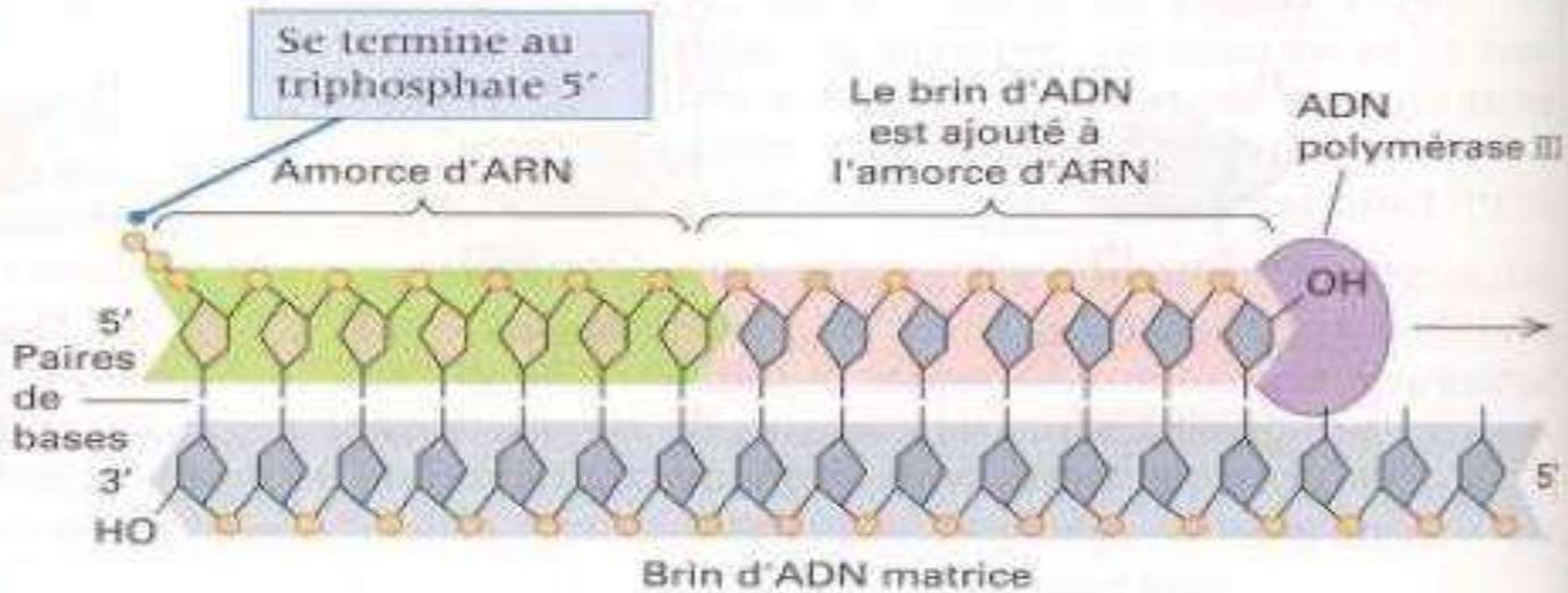
b- Des **nucléosides triphosphates** d'ADN, déjà synthétisés et présents dans le noyau, s'approchent des extrémités 3' des deux brins d'ADN en formation.

c- Les **nucléosides s'apparient** aux bases de l'ADN par des liens hydrogène et selon les règles de **complémentarité**.

d- L'ADN polymérase (un enzyme) libère le pyrophosphate de chaque nucléoside qui s'ajoute et utilise l'énergie dégagée par la réaction pour unir (polymériser) les nucléotides entre eux par des liens phosphodiester.

e- Les deux nouvelles molécules d'ADN s'enroulent en une double hélice. Il y a maintenant **deux nouvelles molécules d'ADN**, là où il n'y en avait qu'une seule.

**Réaction asymétrique uniquement dans le sens 5'P--->3'OH**



La synthèse d'ADN nécessite une **matrice d'ADN simple brin**, des **dNTP**, une **amorce d'ARN**, et un **arsenal d'enzyme et des protéines**

# La réplication de l'ADN s'effectue de façon semi-conservative

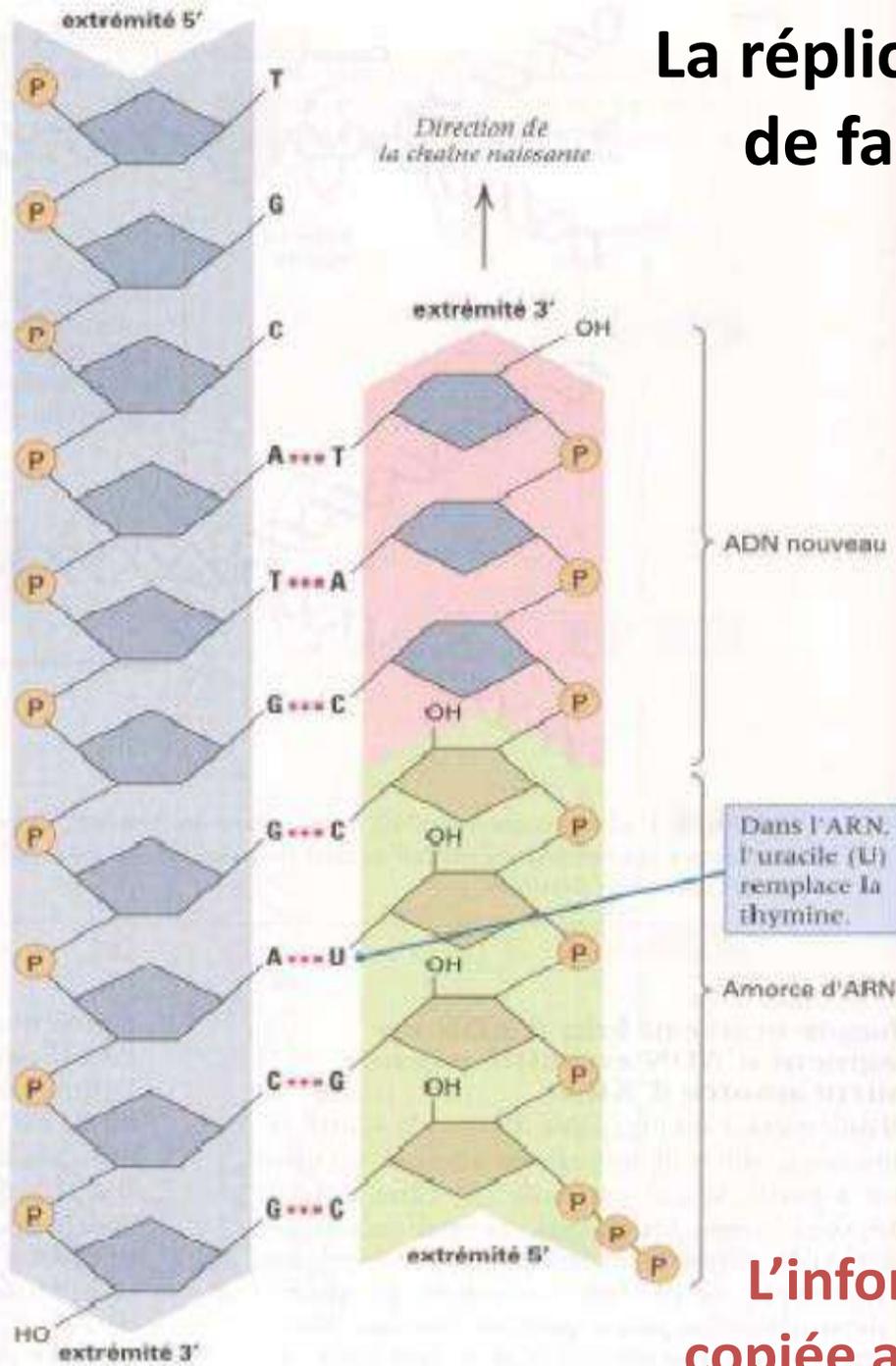
Le brin nouvellement synthétisé est complémentaire et antiparallèle au brin matrice :

les deux brins sont maintenus ensemble par des liaisons hydrogène entre les bases.

**Toute synthèse d'ADN Procède de 5' vers 3' ;**

**L'information génétique doit être copiée avant chaque division cellulaire**

B  
R  
I  
N  
M  
A  
T  
R  
I  
C  
E



### 3- CONCLUSION

La réplication de l'ADN, ensemble de mécanismes biochimiquement complexes, se fait peu de temps avant la mitose.

Elle prend environ 7 heures,  
alors que la mitose elle-même ne dure qu'une heure.

Après une phase de croissance,  
les deux nouvelles cellules-filles peuvent entamer  
une nouvelle mitose.

Cependant, elles peuvent aussi interrompre leur  
cycle et ne pas se diviser.

Cela suppose l'existence de signaux de  
contrôle de la réplication.

**Malgré les multiples divisions cellulaires,  
le contenu de l'ADN est remarquablement conservé,  
génération après génération.**

## B- la notion d'un GENE et sa fonction:

**Gène: unité fonctionnelle de l'information génétique**

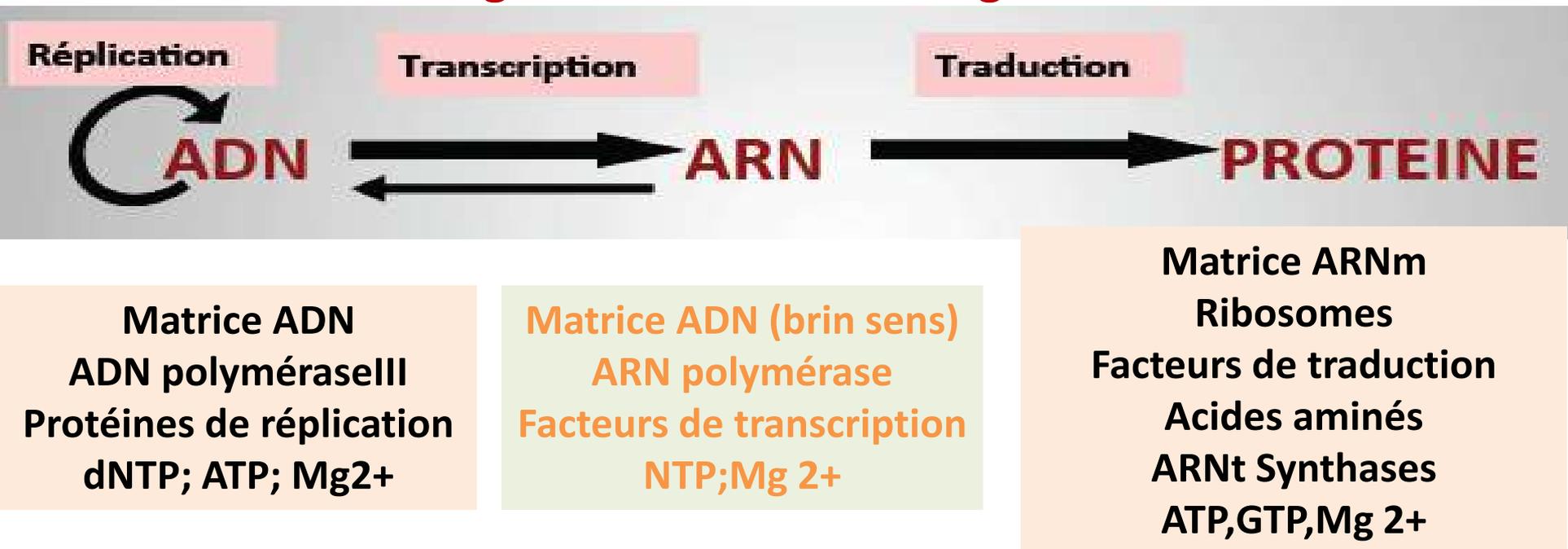
### 1-Le dogme central

Le gène doit contrôler la synthèse d'une substance chimique.

Ainsi, l'ADN dirige sa propre réplication.

Le flux d'informations biologiques se propage de l'ADN, réservoir de l'information génétique, à l'ARN (la transcription), puis de l'ARN à la protéine (la traduction).

C'est le **dogme central de la biologie moléculaire**



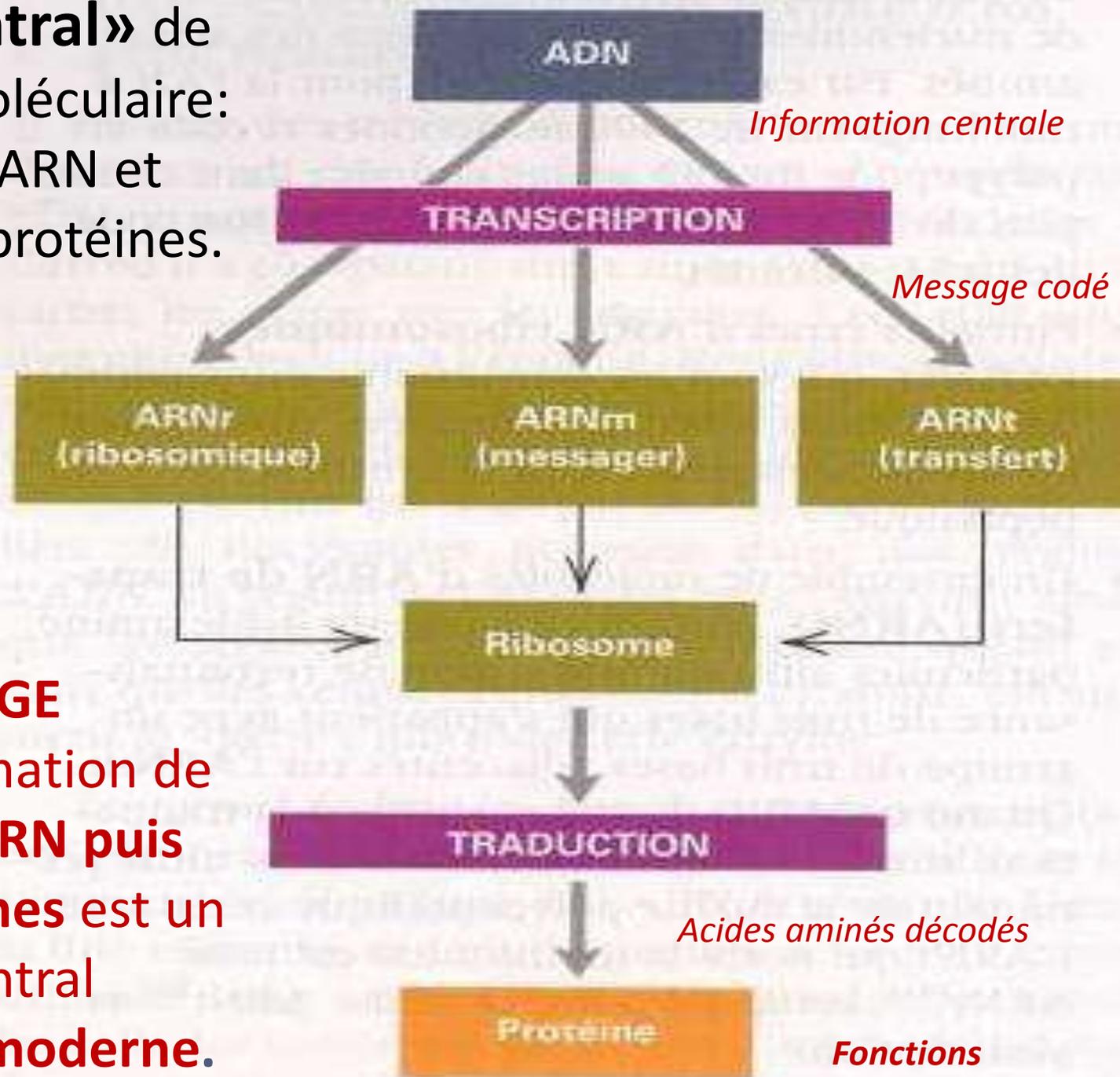
**Le flux de l'information génétique est unidirectionnel**

# «Dogme central» de

la génétique moléculaire:

l'ADN code l'ARN et

l'ARN code les protéines.

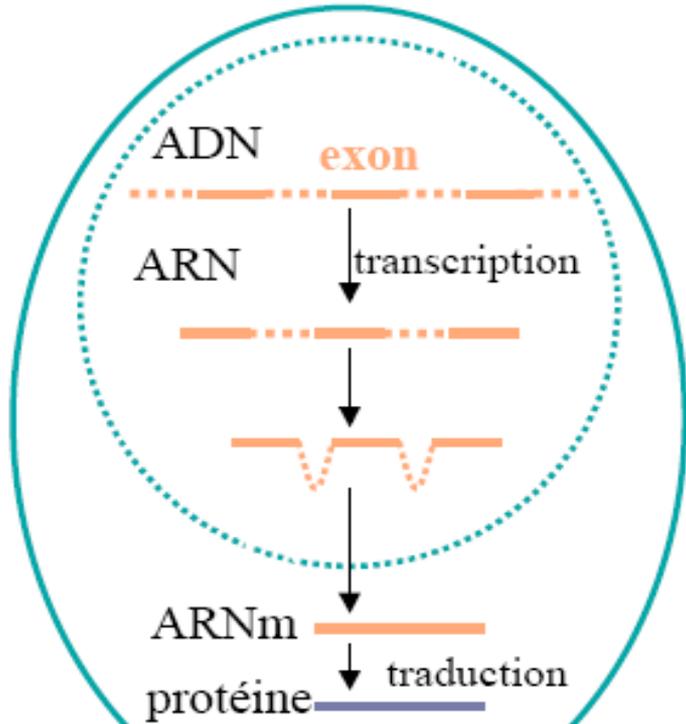


## - MESSAGE

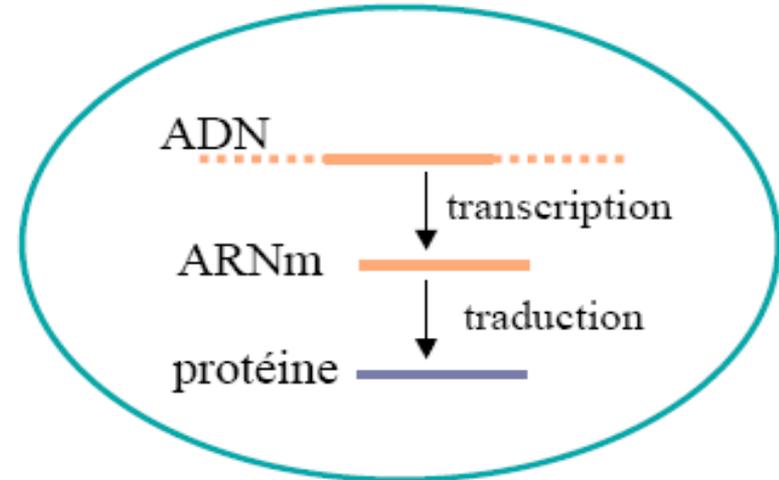
Le flux d'information de l'**ADN** vers l'**ARN** puis vers les **protéines** est un thème central de la **biologie moderne**.

## 2- La différence entre un génome procaryotique et un génome eucaryotique

### Eucaryotes



### Procaryotes (bactéries)



ADN:

la longueur totale de l'ADN contenu dans les quarante six chromosomes est estimée à deux mètres;

-le nombre de paires de bases est évalué à 6 milliards;

"chromosome" bactérien renferme cinq millions de paires de bases et sa longueur est d'environ 1mm.

# C- Comment l'information génétique se transmet-elle au cours des divisions cellulaires ?

Les cellules qui constituent notre organisme sont très différentes les unes des autres.

Elles se sont toutes formées à partir de la **cellule-œuf par divisions cellulaires successives.**

**Elles contiennent toutes dans leur** noyau des chromosomes, support de l'information génétique.

Nombre de chromosomes varie d'un organisme à l'autre.

**Toutes les cellules de l'organisme portent-elles la même information génétique ?**

## ► Représenter les chromosomes

Un chromosome à une chromatide



Un chromosome à deux chromatides



Une paire de chromosomes homologues



Chromatide sœur (génétiquement identique)  
• Centromère (lie deux chromatides sœurs)

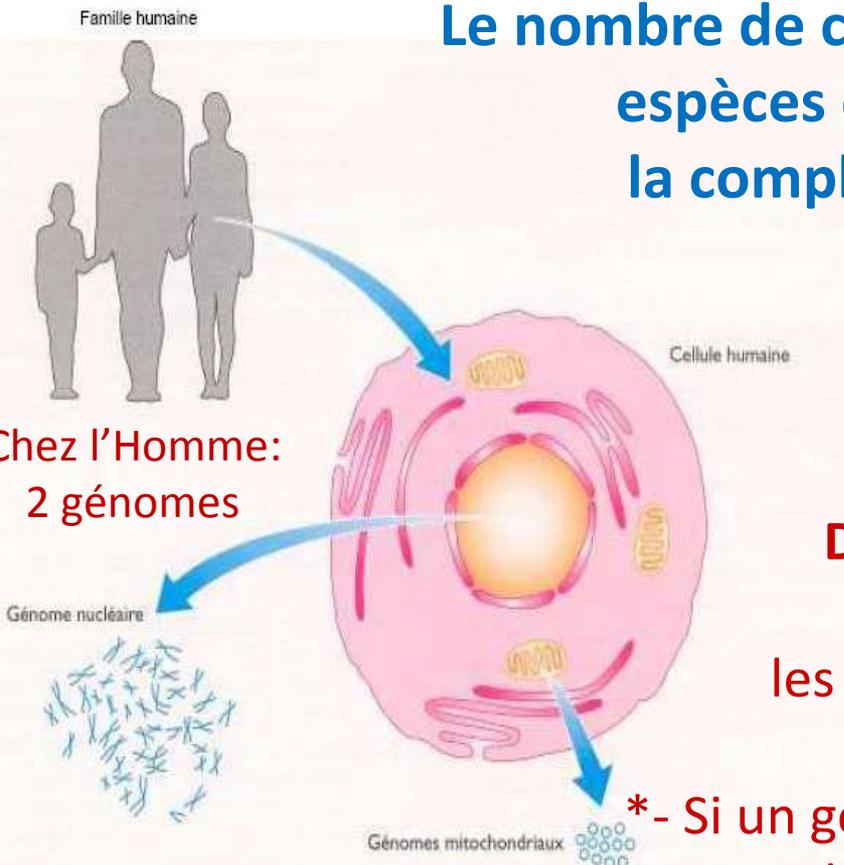
# 1- Le Génome

**Définition:** Ensemble de l'information héréditaire d'un organisme, présente en totalité dans chaque cellule.

**a- Le génome nucléaire comprend les chromosomes**

**b- Le génome mitochondrial est une molécule d'ADN circulaire**

**Le nombre de chromosomes varie énormément entre espèces et n'a que peu de relations avec la complexité apparente de l'organisme.**



**Haploïde:** \*- Une **seule copie** du génome

\*- Une **seule copie** de chaque gène

\*- Si un gène est altéré,

la fonction qu'il code est modifiée

**Diploïde:** \*- **Deux copies** du génome

\*- Chaque génome contient toutes les séquences codantes et non-codantes.

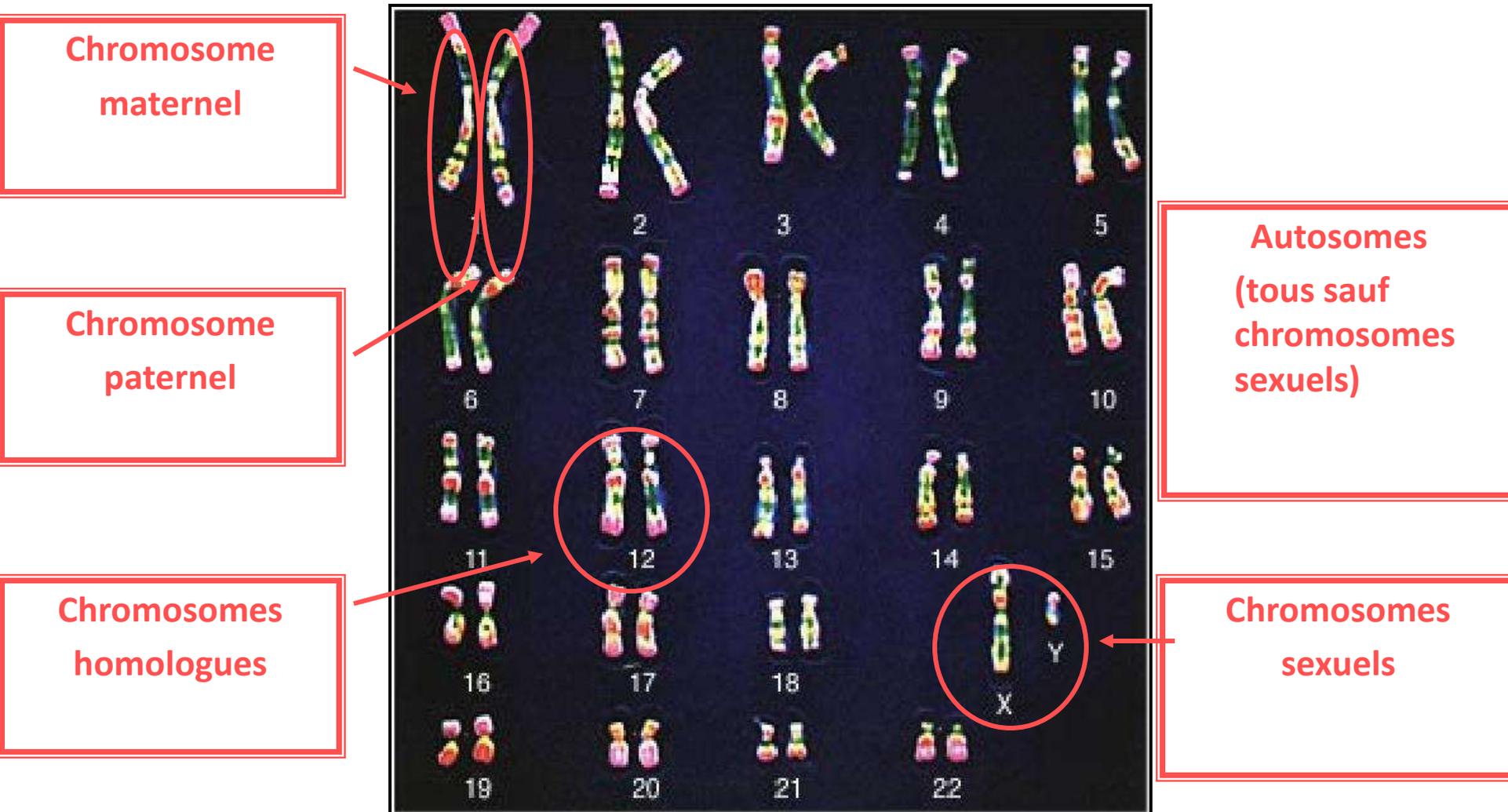
\*- **Deux copies** de chaque gène.

\*- Si un gène est altéré, l'autre copie garde sa fonction et peut donc compenser la possible perte de fonction.

**Recombinaison (crossing-over) possible entre les deux copies du génome**

# Les chromosomes de l'espèce humaine:

Toutes les cellules de l'organisme, exceptées les cellules reproductrices, possèdent la même information génétique .



## 2- La transmission de l'information génétique de cellules en cellules

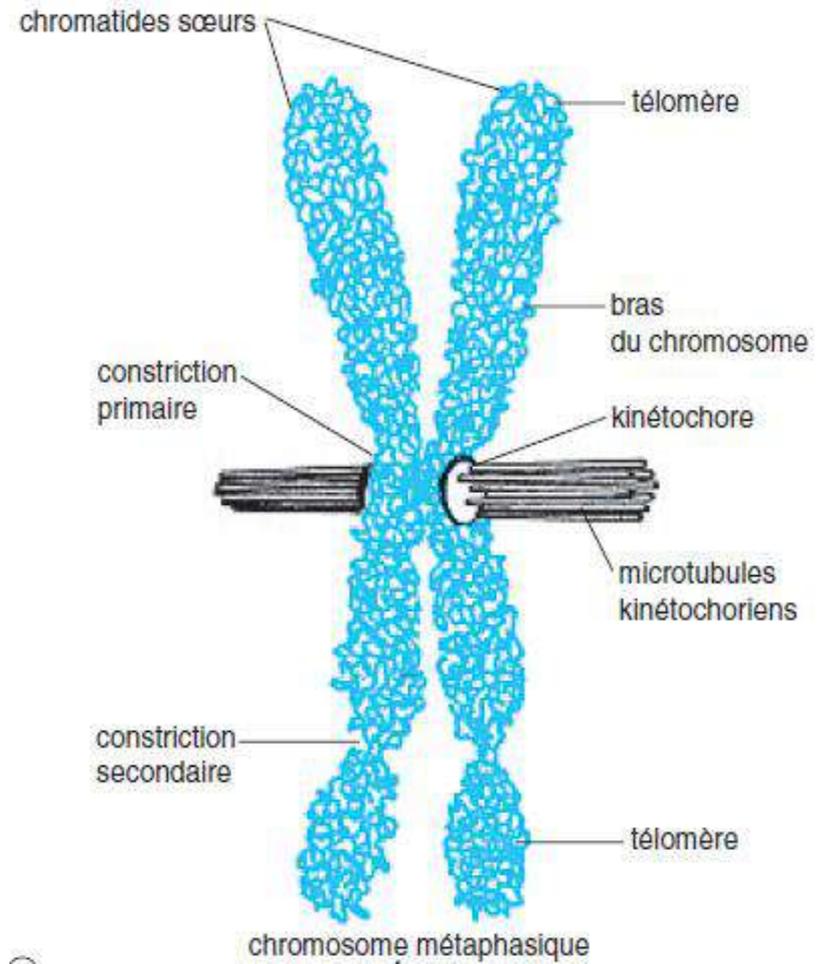
Exceptées les cellules reproductrices, toutes les cellules de l'organisme possèdent le même nombre de chromosomes et donc les mêmes gènes.

Comment l'information génétique est-elle conservée lorsqu'une cellule se divise ?

### Les chromosomes au cours d'une division cellulaire

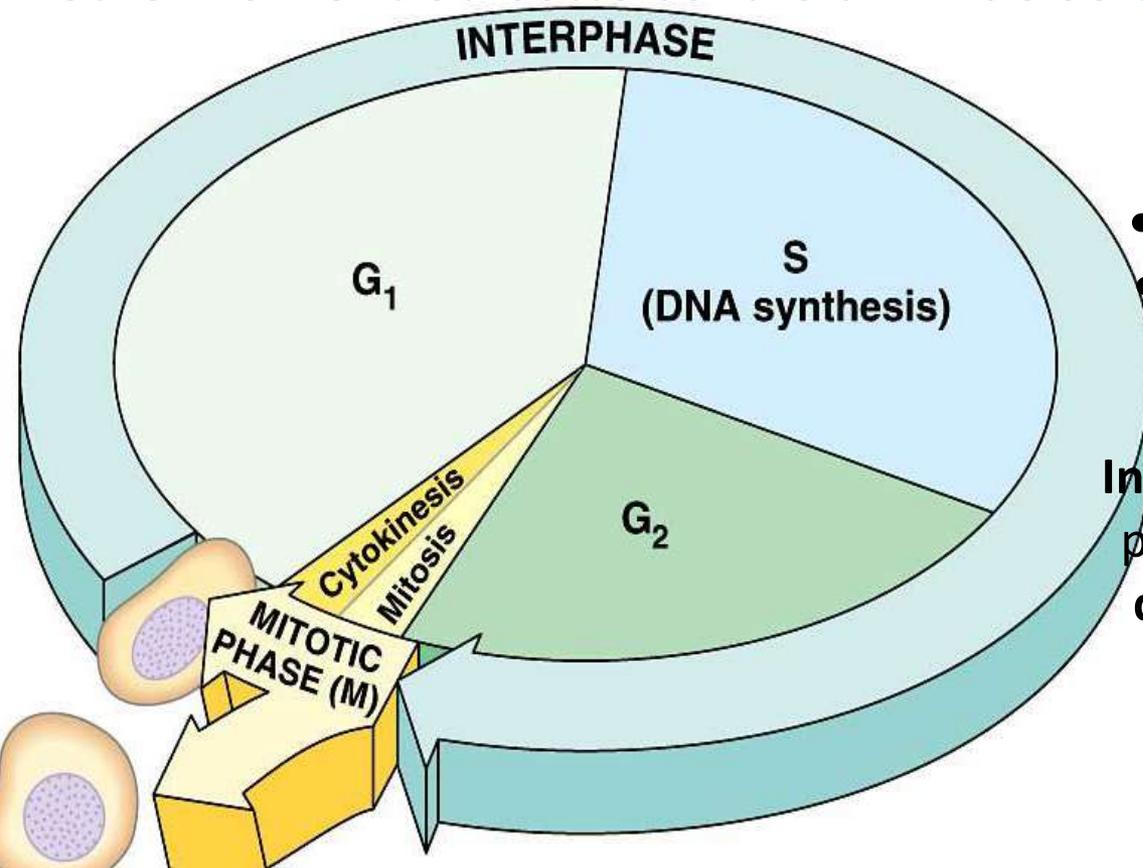
**Chromosomes homologues sont des paires de chromosomes semblables:**

- Longueur
- Position du centromère
- Succession des bandes



### 3- Le cycle cellulaire comprend l'interphase et la mitose

Le cycle cellulaire est l'ensemble des modifications qu'une cellule subit entre sa formation, par division de la cellule mère, et le moment où cette cellule a fini de se diviser en deux cellules filles.



**\*- Interphase** (fonctions normales, réplication de l'ADN)

- **G<sub>1</sub>** – croissance/activité cellulaire
- **S** – synthèse/réplication de l'ADN
- **G<sub>2</sub>** – phase de croissance et préparation à la division.

**Interphase = 90%** du cycle cellulaire., période comprise entre la **fin d'une division et le début de la suivante**

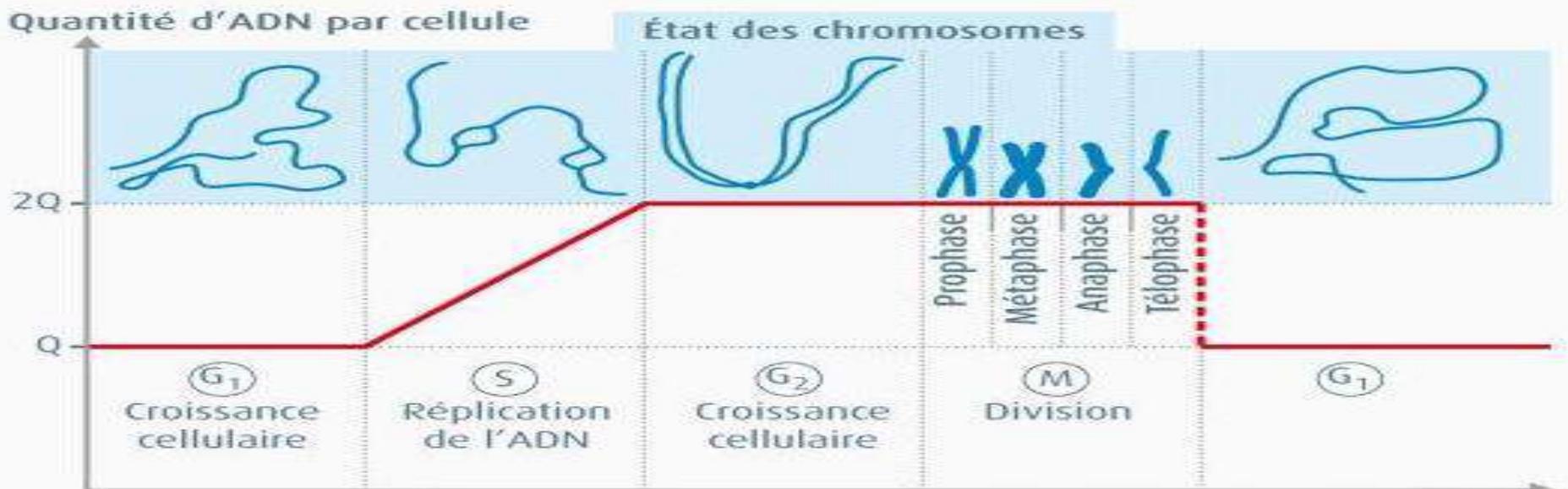
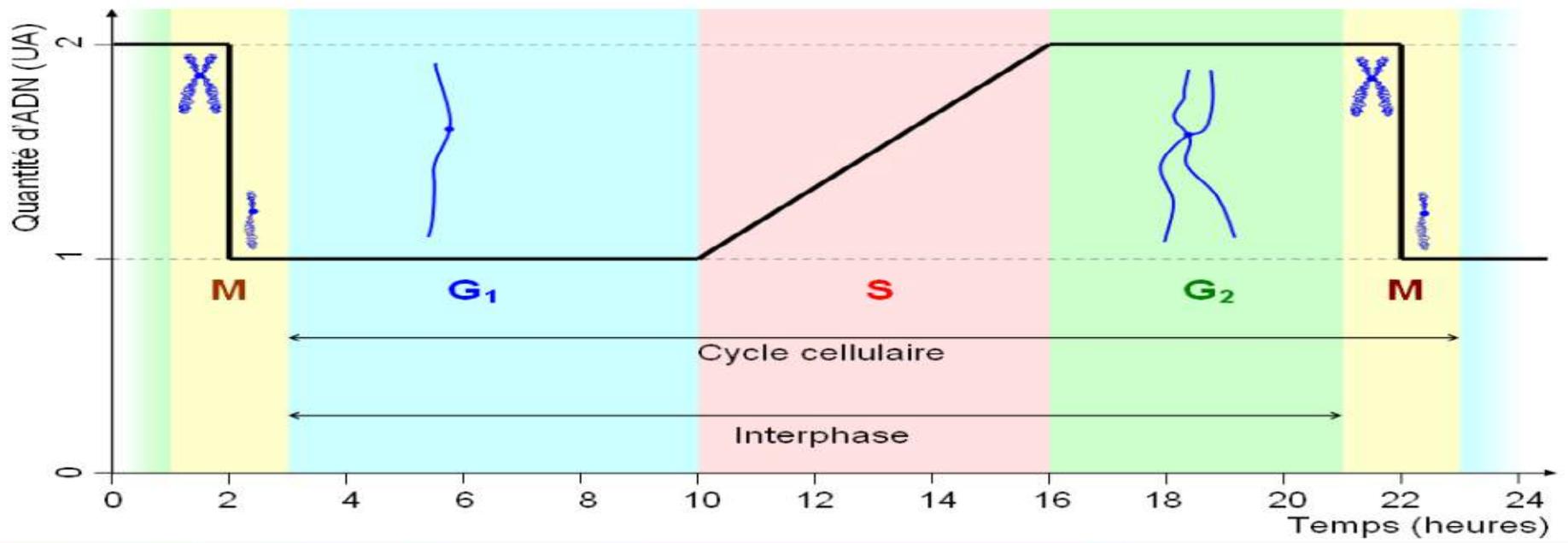
- **Mitose** (division cellulaire)
- **Cytocinèse** (division du cytoplasme)

Une cellule passe par toutes ces étapes.

- La durée de chaque étape varie selon le type de cellule

Les phases du cycle cellulaire

# Construction d'un graphique présentant la quantité d'ADN au cours du temps pour comprendre le comportement des chromosomes :



## 4- La mitose est la division cellulaire

Elle forme deux cellules filles au patrimoine génétique identique entre elles et identique à celui de la cellule mère.

La mitose est séparée en 4 phases différentes :

**la prophase,  
la métaphase,  
l'anaphase et  
la télophase.**

**Prophase** : *Condensation de la chromatine, disparition du nucléole, fragmentation de la membrane nucléaire, mise en place du fuseau mitotique.*

**Métaphase** : *Les chromosomes se placent sur le plan équatorial de la cellule, les centrioles se place aux pôles cellulaire et le fuseau de division se forme. Les microtubules se lient aux centromères.*

**Anaphase** : Séparation des chromatides sœurs.

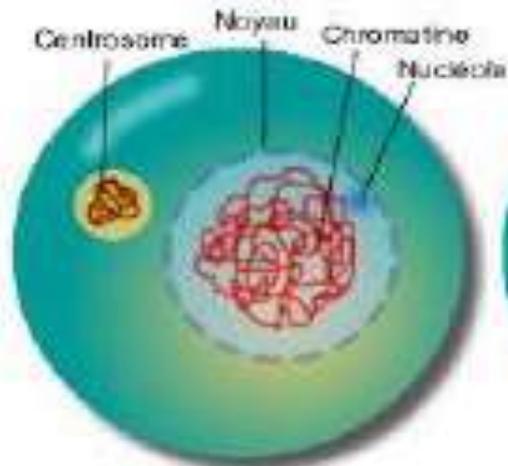
*Le raccourcissement des microtubules entraînent les chromosomes à une chromatide vers les pôles cellulaires.*

**Télophase** : Les chromosomes se décondensent, l'enveloppe nucléaire se reforme, la cellule s'allonge. La télophase se termine par la cytotélocytose, division du cytoplasme, le cytosquelette permet l'étranglement de la cellule et sa division en deux cellules filles.

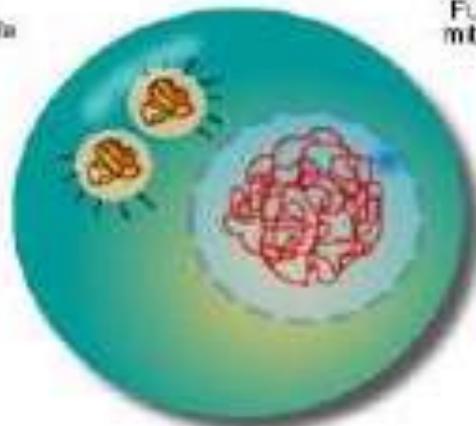
Les cellules issues de la mitose peuvent commencer le cycle cellulaire ou devenir quiescentes (phase G0), c'est-à-dire qu'elles stoppent leur métabolisme. La mitose permet le renouvellement des cellules somatiques (cellules du corps excepté les gamètes).

**La mitose distribue également l'ADN entre les deux cellules filles**

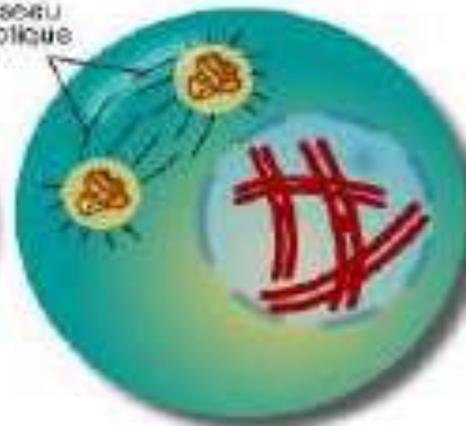
Chaque chromosome est constitué de deux filaments.



Interphase



Fin de l'interphase

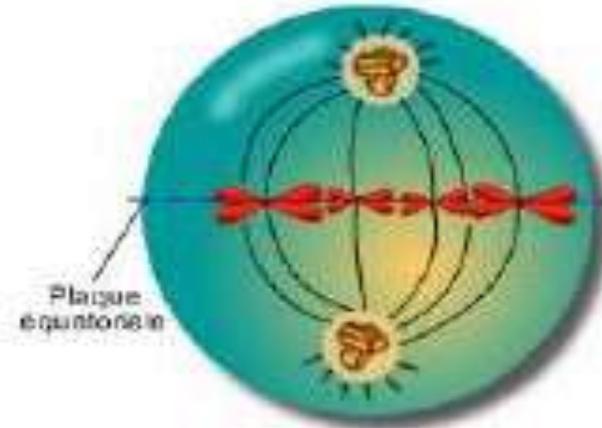


Prophase



Prometaphase

**l'ADN de chaque chromosome se pelotonne.**

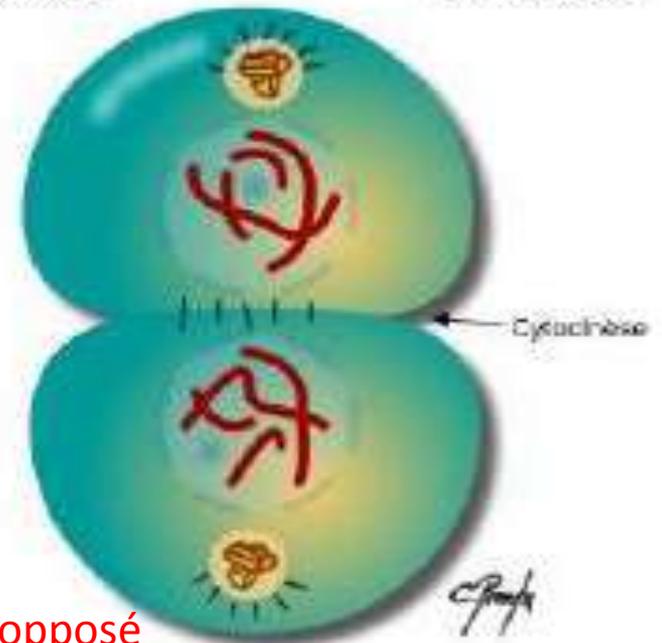


Métaphase



Anaphase

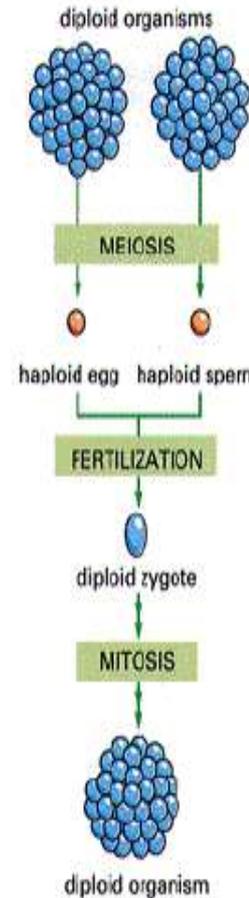
les filaments se séparent et migrent à l'opposé l'un de l'autre dans la cellule, formant deux lots de Chromosomes simples identiques



Télophase

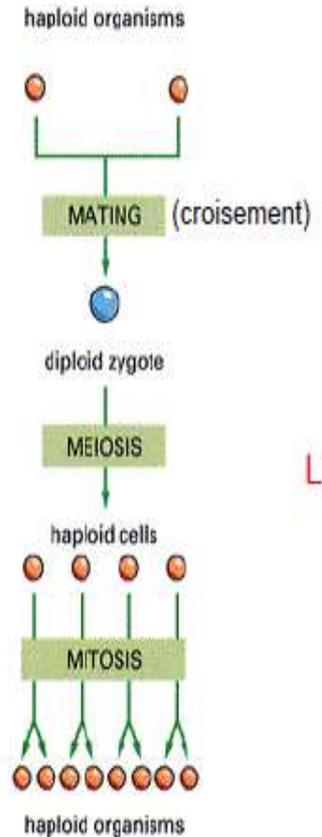
# 5- Cycle de vie haploïde/diploïde chez les organismes eucaryotes

**Le cycle diplobiontique est** caractérisé par une phase diploïde prépondérante au cours de laquelle s'opère la multiplication cellulaire. La phase haploïde est réduite aux gamètes.



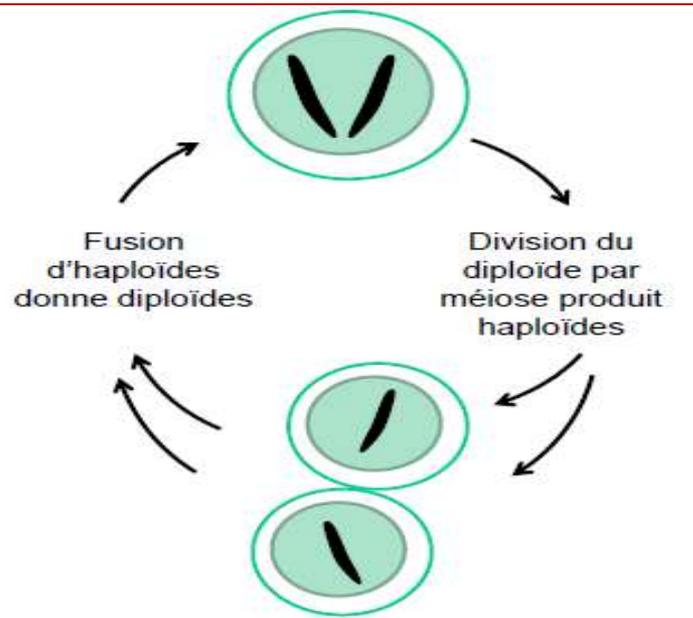
Animal  
Plante

HIGHER EUKARYOTES



Levure

SOME LOWER EUKARYOTES



**Différents cycles diplo/haplo chez les eucaryotes**

# Le cycle de développement des mammifères

## Cellule diploïde (2n)

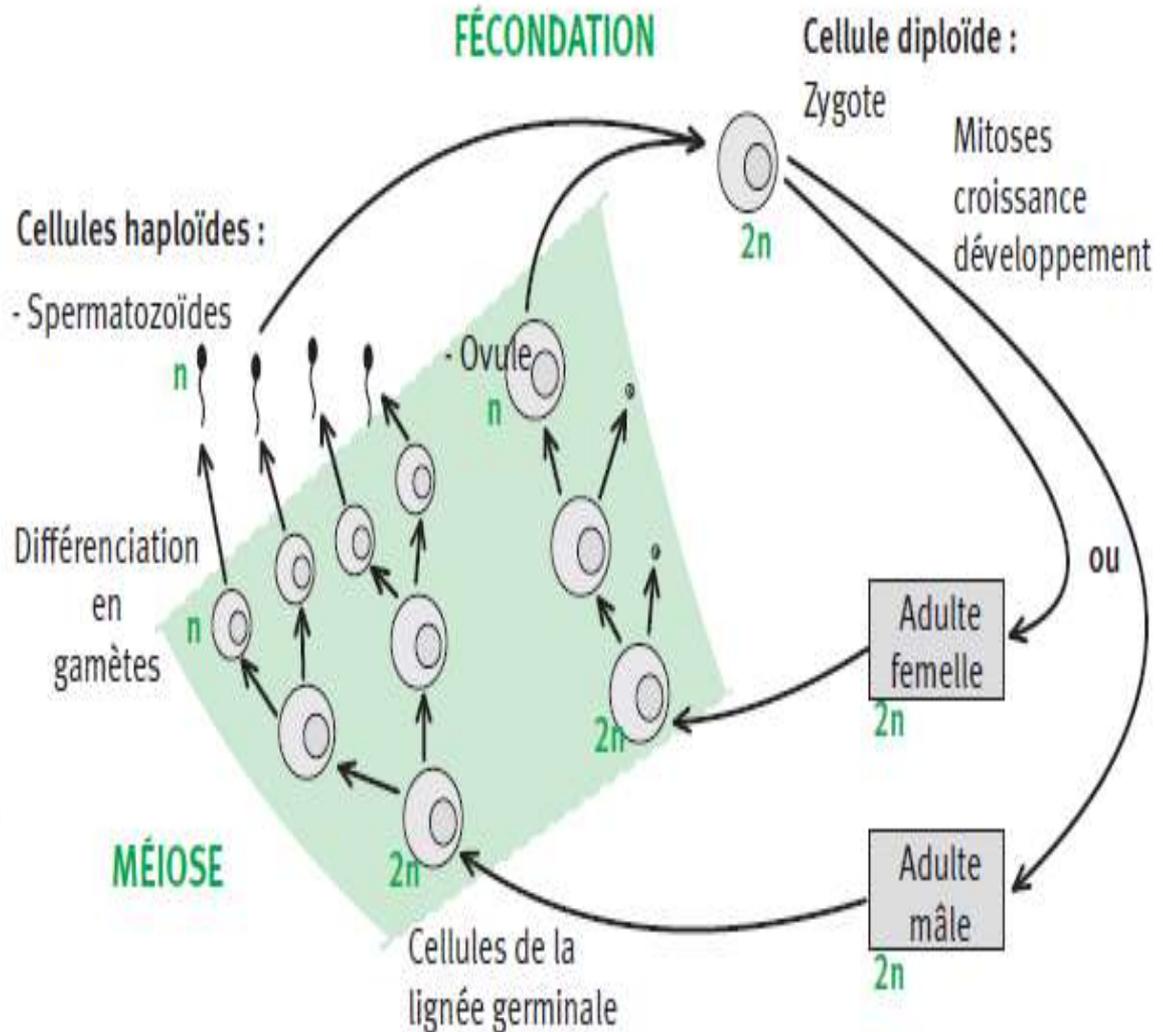
→ Contient 2 jeux de chromosomes.

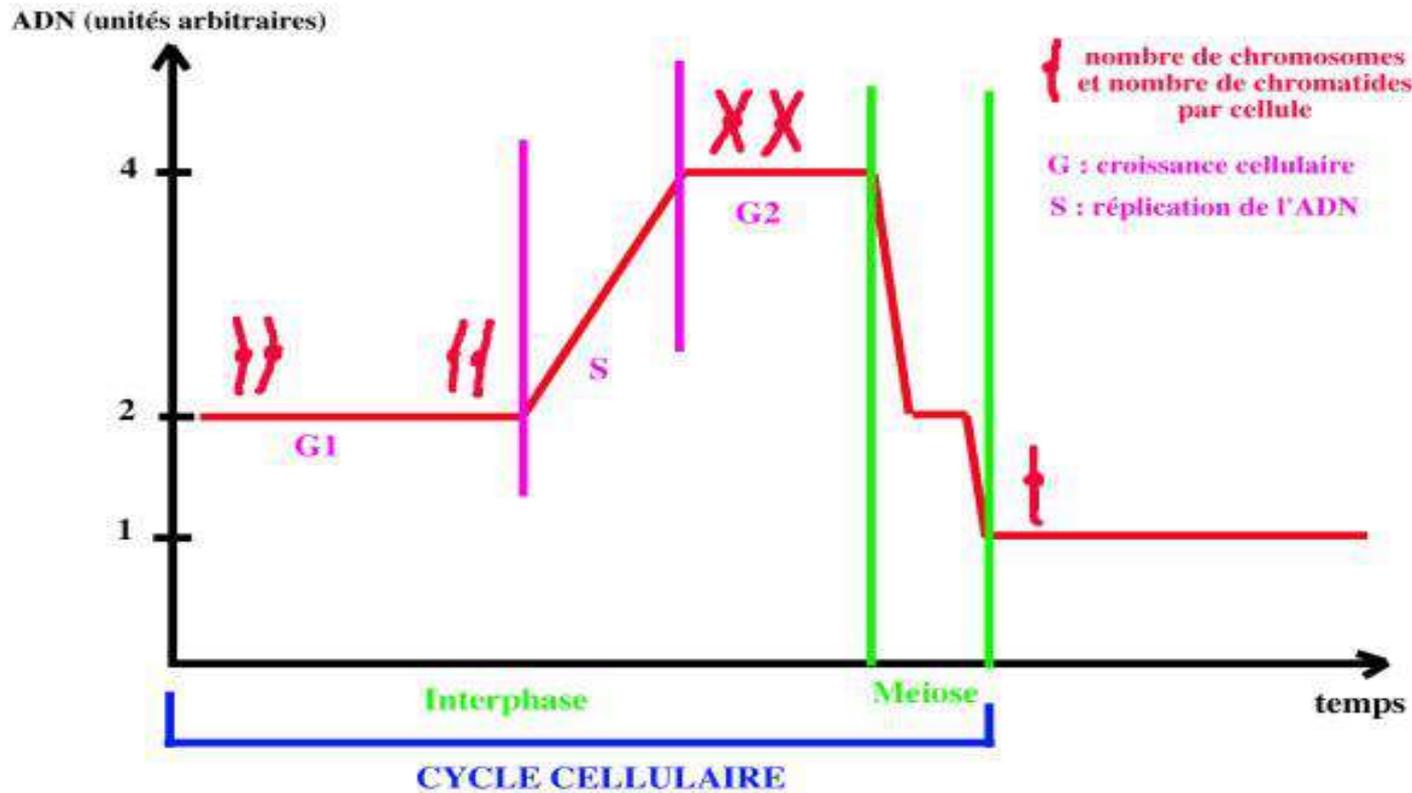
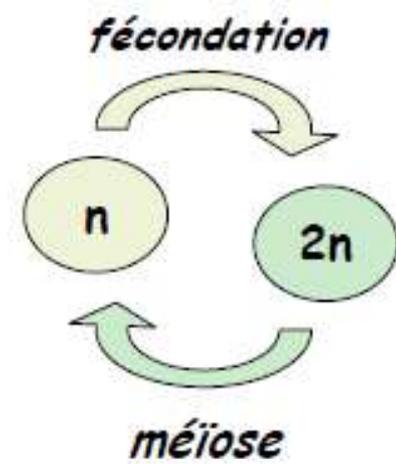
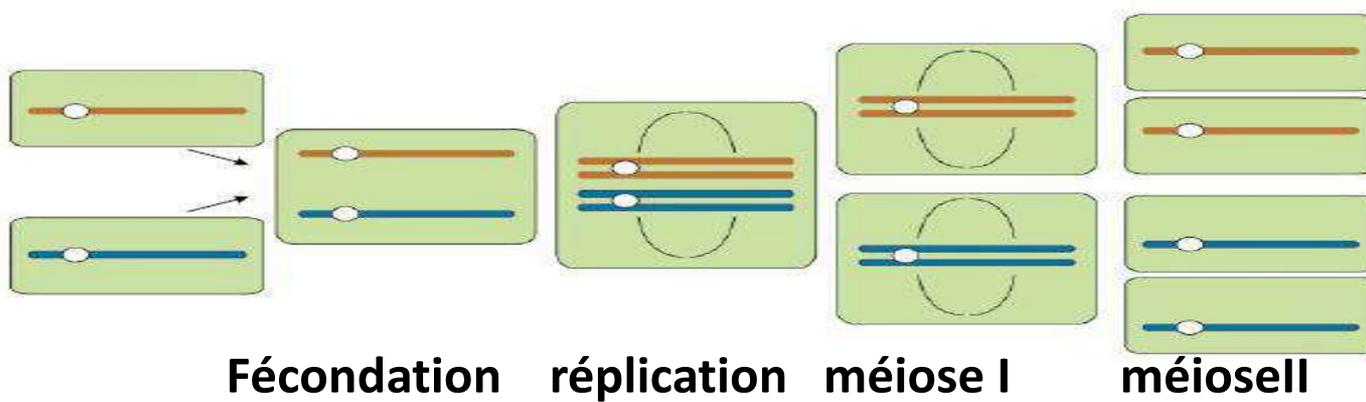
## Cellule haploïde (n)

→ Contient 1 jeu de chromosomes.

**Comment la méiose permet-elle la production de cellules haploïdes à partir de cellules diploïdes ?**

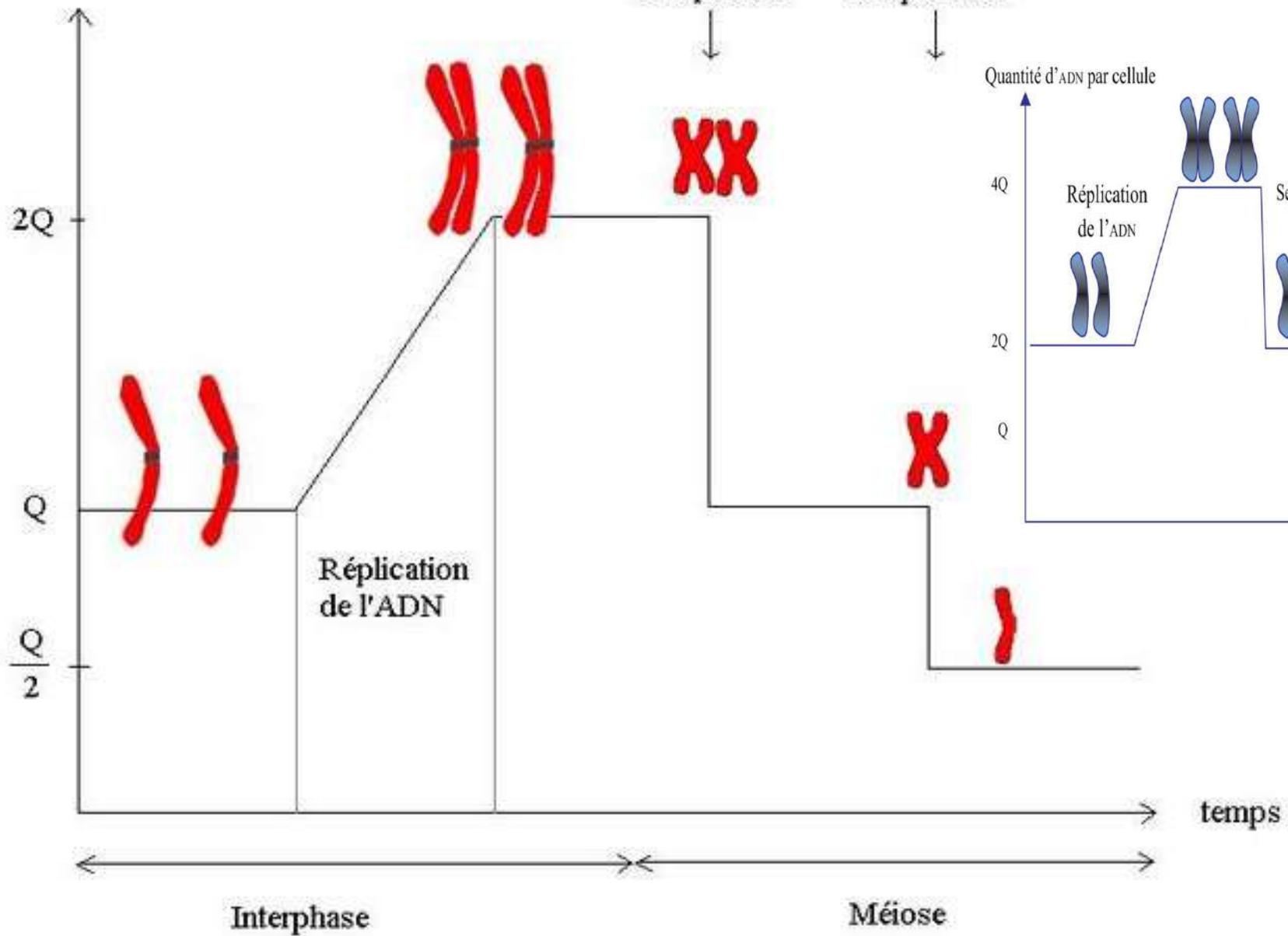
**La reproduction sexuée: brassage génétique**



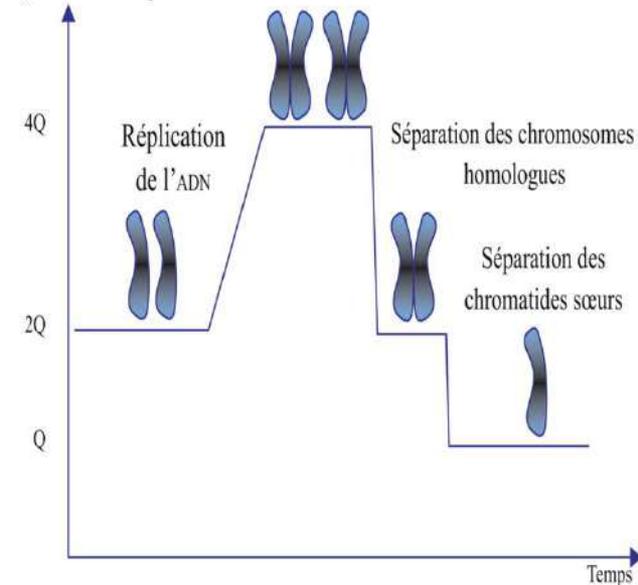


Variations du taux d'ADN  
au cours de la méiose

Quantité d'ADN



Quantité d'ADN par cellule



## 6- La méiose : définition et présentation générale

**La méiose est à l'origine de la genèse des cellules sexuelles, appelées gamètes.**

Contrairement à la mitose, qui permet un maintien de la diploïdie ( $2n$  chromosomes) entre chaque cycle de division,

**le mécanisme de méiose induit la formation de cellules haploïdes ( $n$ )** possédant une seule copie de chaque chromosome.

La méiose est une étape essentielle du processus de gamétogénèse, conduisant à la production de spermatozoïdes chez le mâle et d'ovocytes chez la femelle.

**Elle assure également une fonction primordiale de brassage génétique entre chromosomes maternels et paternels** grâce aux recombinaisons méiotiques d'une part et à la ségrégation aléatoire des chromosomes dans les cellules filles d'autre part.

La première phase,  
appelée **méiose I** ou **méiose réductionnelle**,  
permet la **ségrégation des deux chromosomes homologues**  
paternels et maternels.

La **méiose II** ou **méiose équationnelle**,  
permet la **ségrégation des chromatides sœurs** dans chaque  
cellule fille  
et elle s'apparente à une mitose classique.

Dans chaque cas, les méioses I et II sont divisées  
en quatre étapes importantes :

**la prophase,**  
**la métaphase,**  
**l'anaphase et**  
**la télophase.**

# **La prophase de première division méiotique : une étape primordiale**

La prophase de première division méiotique est une étape cruciale

du processus méiotique.

Trois phénomènes « clefs » s'y produisent

- Un rapprochement des chromosomes et l'identification de l'homologie des partenaires,
- L'appariement des homologues,
- La recombinaison méiotique.

La prophase est elle-même divisée en 5 stades distincts :

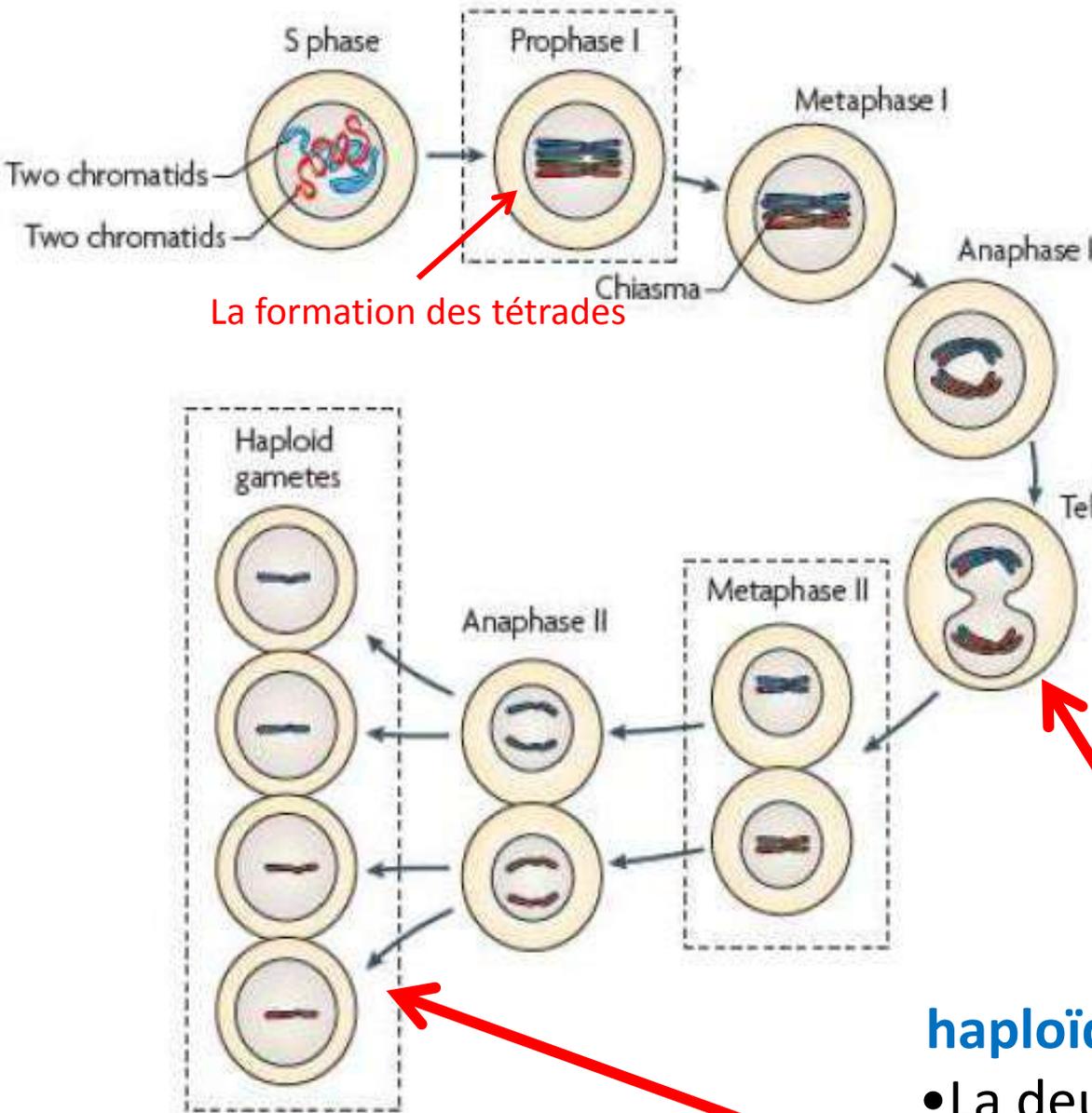
**le leptotène,  
le zygotène,  
le pachytène,  
le diplotène et  
la diacinèse**

# La méiose

- Concerne seulement les **organes reproductifs**.
- Produit **les gamètes** (ovules et spermatozoïdes).
- Cellule mère contient **2n** = 46 chromosome
- Elle subit une réplication de l'ADN et devient **4n = 92 chromosomes**
- La première division (**la division réductionnelle**) produit deux cellules filles

**haploïdes à n = 23 chromosomes**

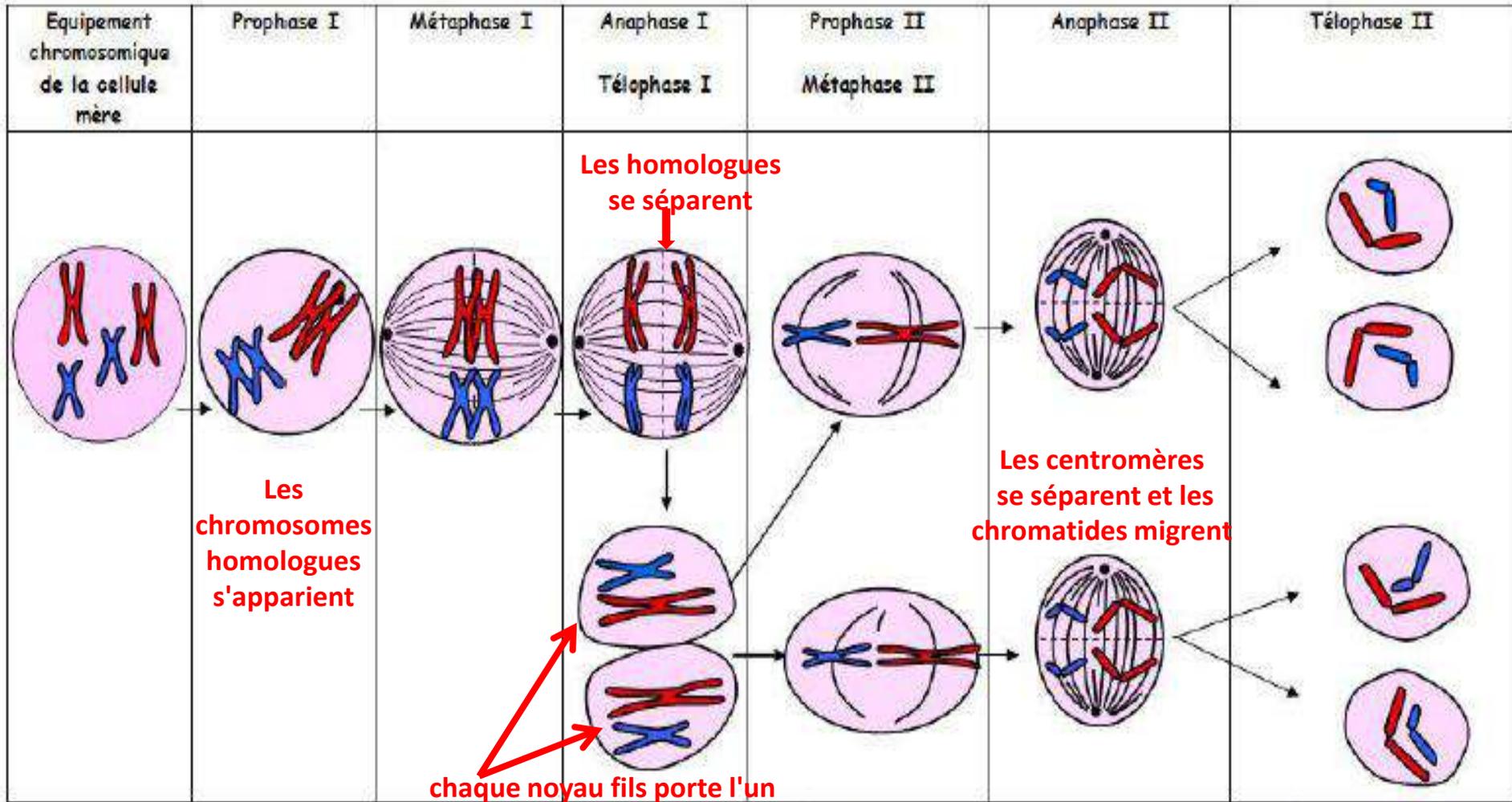
- La deuxième division (**la division équationnelle**) produit un total de **quatre cellules filles haploïdes n = 23**.



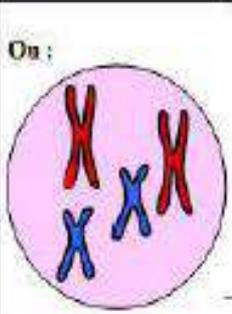
La formation des tétrades

Présentation schématique de la méiose

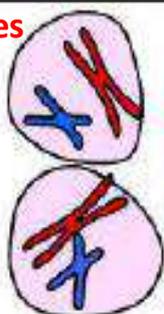
# Schéma bilan des étapes de la méiose pour une cellule à $2n = 4$



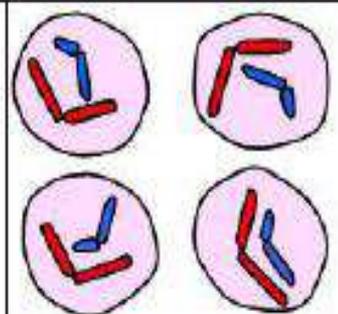
chaque noyau fils porte l'un ou l'autre des chromosomes homologues



Méiose I ou division réductionnelle, donne 2 cellules haploïdes avec des chromosomes à 2 chromatides chacun

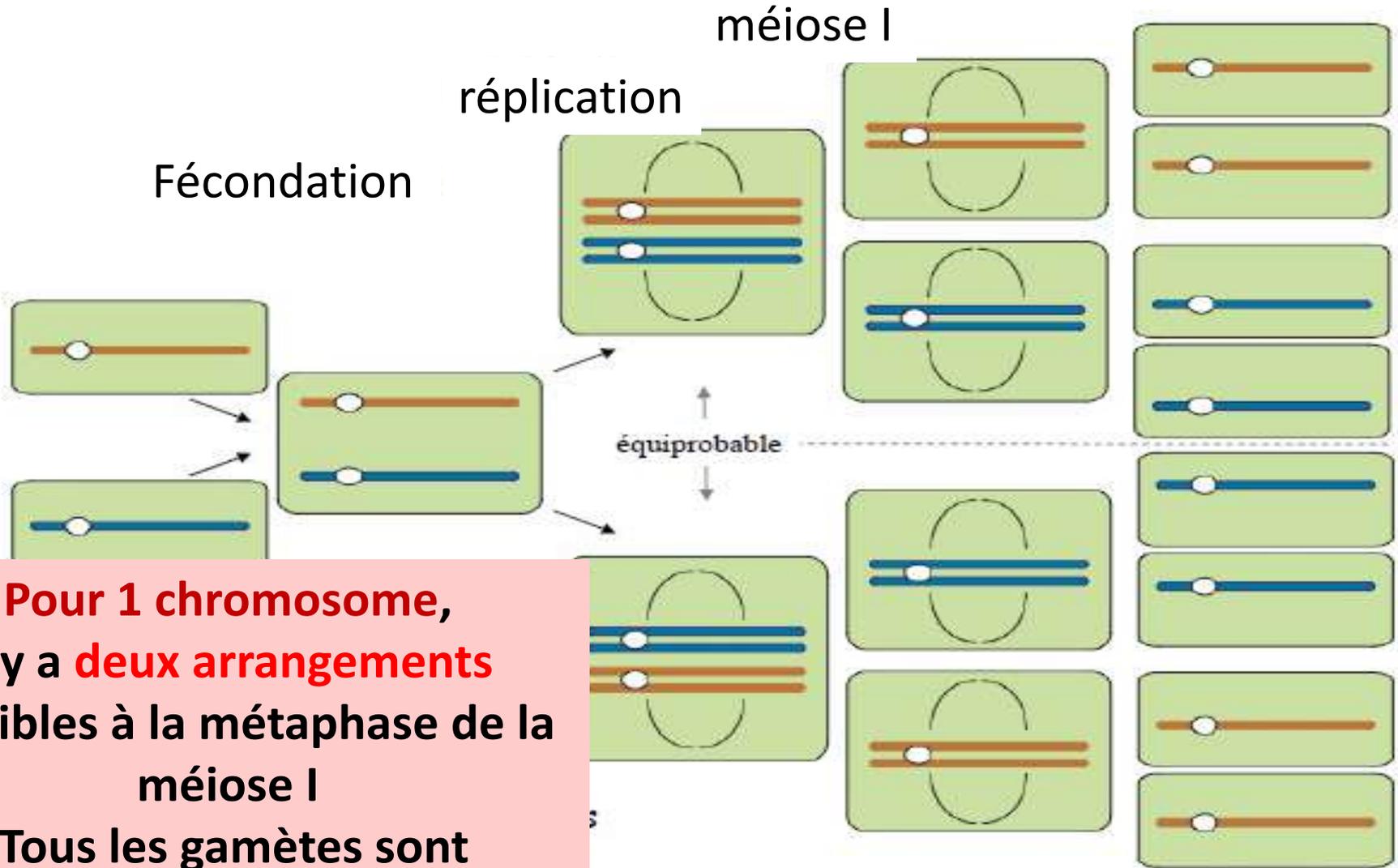


Méiose II ou division équationnelle, donne 4 cellules haploïdes avec des chromosomes à 1 chromatide chacun



# Brassage interchromosomique

méiose II



Fécondation

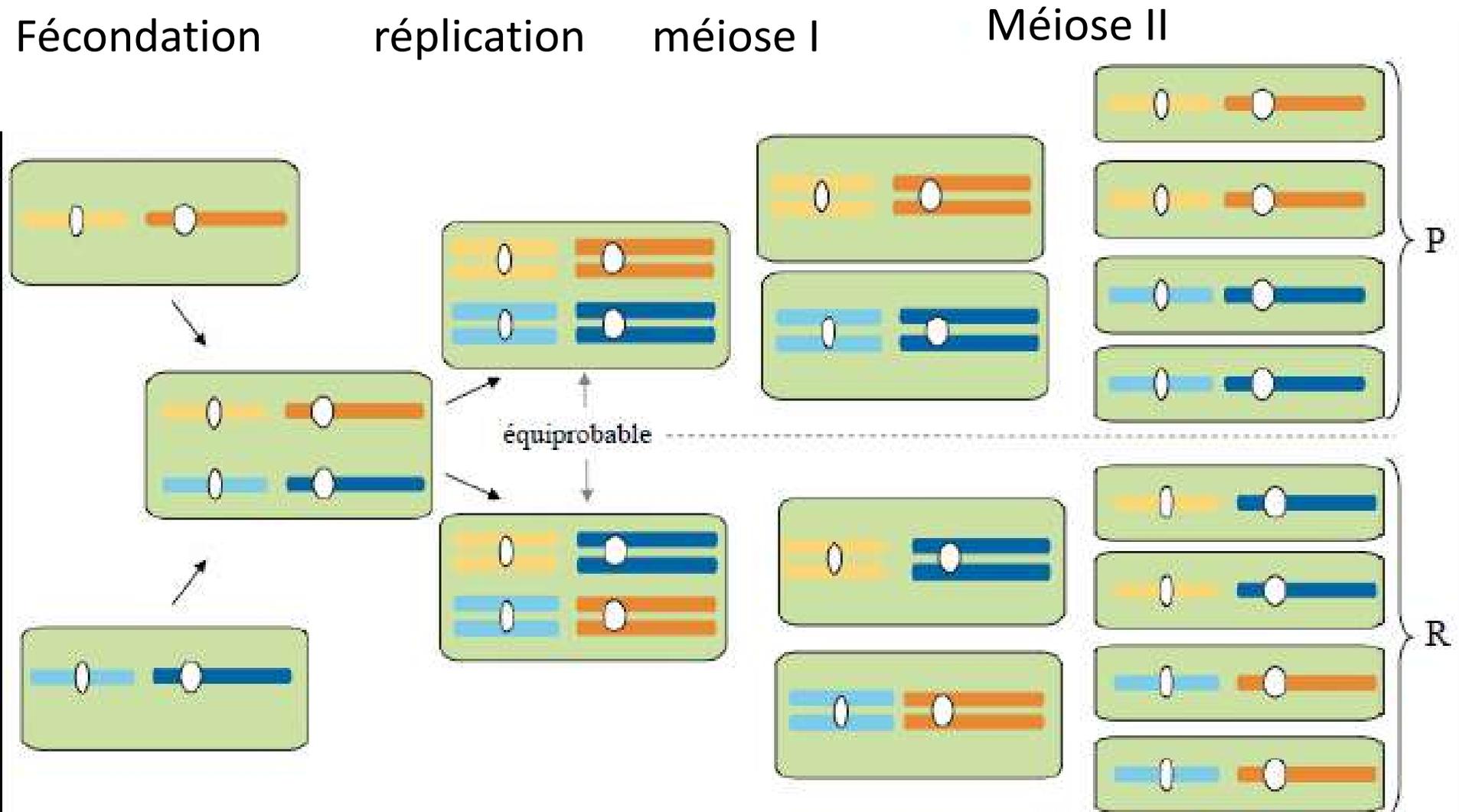
réplication

méiose I

équiprobable

**Pour 1 chromosome,**  
il y a **deux arrangements**  
possibles à la métaphase de la  
méiose I  
Tous les gamètes sont  
équiprobables

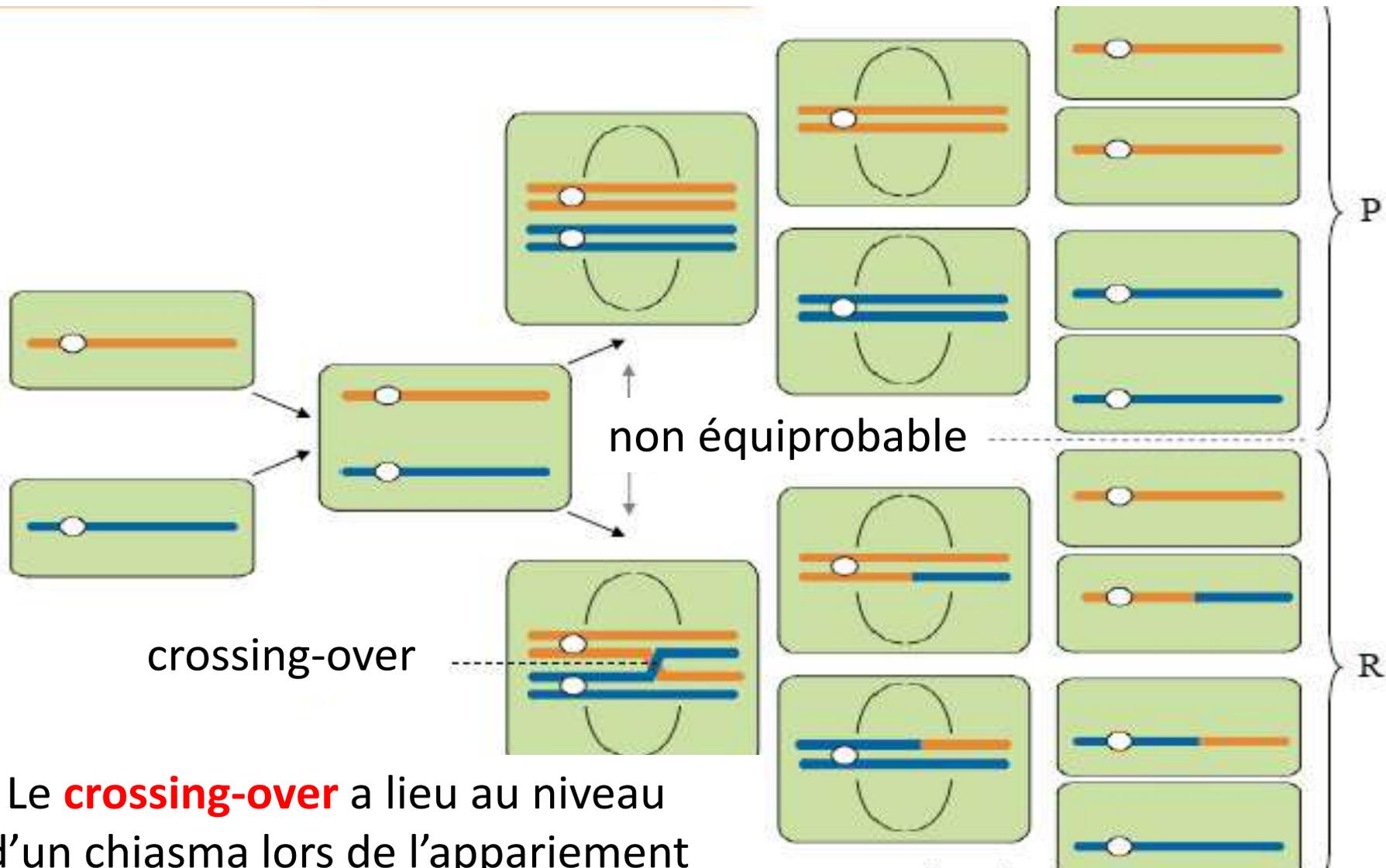
# Brassage interchromosomique II



Pour **2 chromosomes**, il y a **deux arrangements possibles** à la métaphase de la méiose I, et  **$2^2 = 4$  gamètes différents**

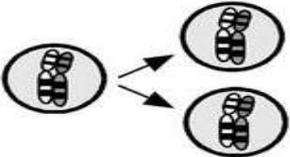
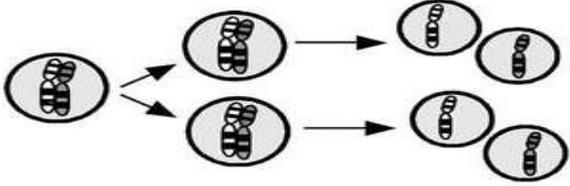
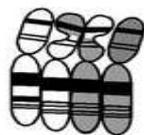
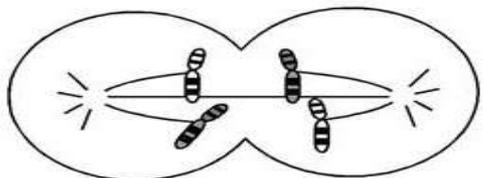
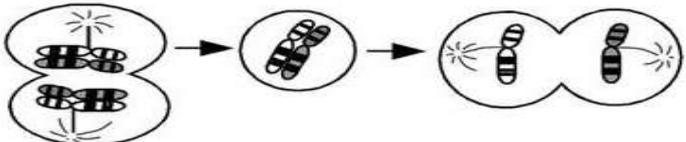
**Tous les gamètes (parentaux P et recombinés R) sont équiprobables**

# Brassage intrachromosomique



Le **crossing-over** a lieu au niveau d'un chiasma lors de l'appariement des chromosomes homologues en **métaphase I**.

**Les gamètes (parentaux P et recombinés R) ne sont pas équiprobables**

	MITOSE	MÉIOSE
CELLULES IMPLIQUÉES	Cellules somatiques haploïdes ou diploïdes	Cellules germinales haploïdes
NOMBRE DE DIVISIONS IMPLIQUÉES	Une seule 	Deux divisions successives 
PRODUIT FINAL DE LA DIVISION À PARTIR D'UNE CELLULE À 2N CHROMOSOMES	Deux cellules filles à 2N chromosomes 	Quatre cellules filles à N chromosomes 
APPARIEMENT DES CHROMOSOMES HOMOLOGUES	Non, pas normalement 	Appariement pendant la première prophase 
ENJAMBEMENT (CROSSING-OVER)	Non, pas normalement 	Au moins un évènement par paire d'homologues 
DIVISION DES CENTROMÈRES À L'ANAPHASE	Oui 	Seulement au moment de l'anaphase de la deuxième division 
VARIATION GÉNÉTIQUE	Non favorisée	Favorisée (échanges entre les chromosomes homologues et répartition au hasard des chromosomes homologues parentaux)

# MESSAGE

*Lors de la mitose*, chaque chromosome est répliqué pour former des chromatides sœurs, qui subissent une ségrégation vers les cellules filles.

**LA MITOSE est un processus conservateur.**

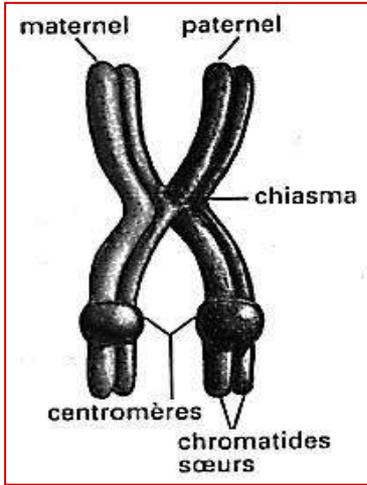
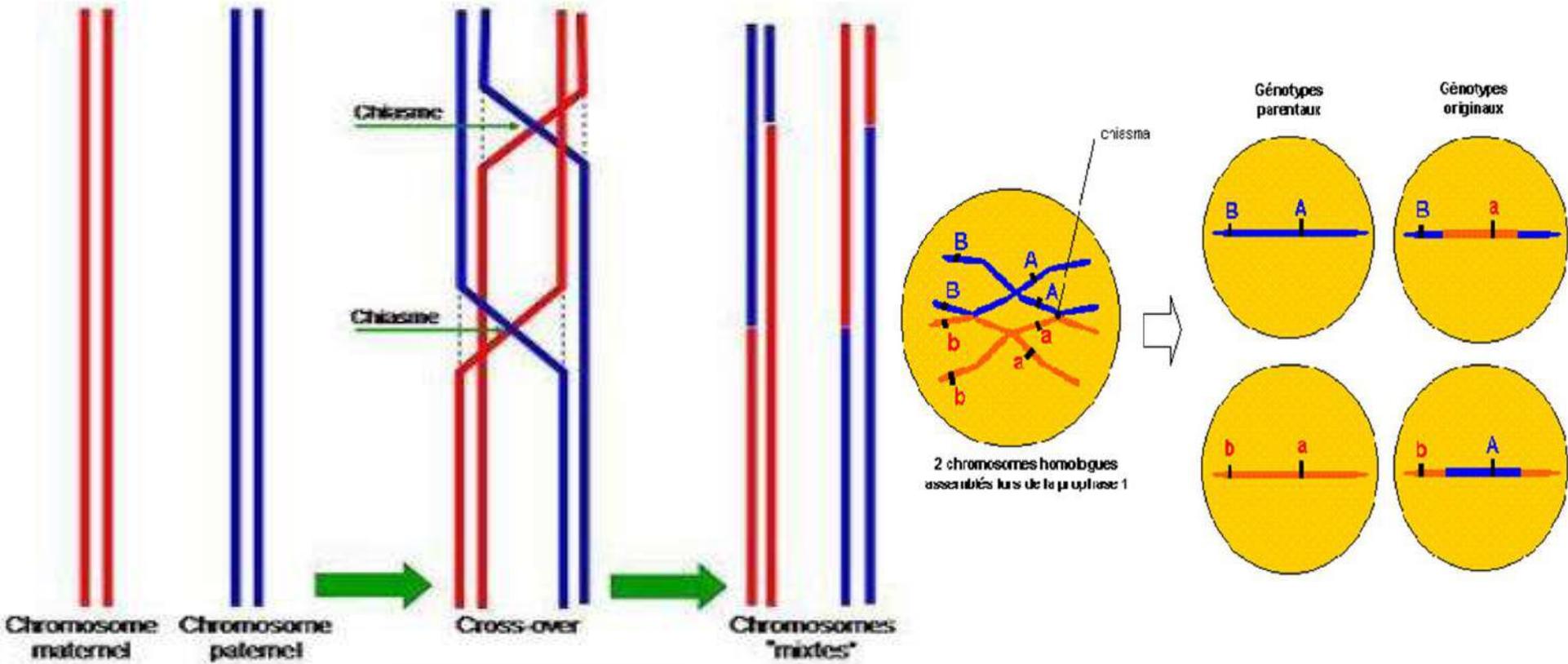
*Lors de la méiose*, chaque chromosome est répliqué pour former des chromatides sœurs.

Les chromosomes homologues s'apparient physiquement et subissent une ségrégation lors de la première division.

Les chromatides sœurs subissent à leur tour une ségrégation lors de la seconde division.

**LA MEIOSE est un processus générateur d'une variation considérable par le jeu de l'assortiment indépendant et le crossing-over**

# La variabilité génétique grâce à l'enjambement



La recombinaison génétique due à la formation de tétrade et l'enjambement entre des chromatides non-sœurs durant la synapse de la prophase I.

# Bon courage



## LIENS UTILES 🙌

### Visiter :

1. <https://biologie-maroc.com>

- Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. <https://biologie-maroc.com/shop/>

- Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
- Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
- Trouver des bourses et des écoles privées

3. <https://biologie-maroc.com/emploi/>

- Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
- Trouver des offres d'emploi et de stage

