

La notion de l'information génétique

Introduction :

Malgré la grande diversité des êtres vivants (taille, forme, aspect...), ces derniers sont constitués de cellules. La cellule représente l'unité d'organisation de tous les êtres vivants. Ces êtres vivants (animaux, végétaux et microorganismes) peuvent être classés en groupes d'individus qui présentent des ressemblances morphologiques, cellulaires et moléculaires. Ces classes appelées espèces comportent aussi des sous classes appelées lignées (ou variétés ou souches ou races).

Parmi les caractères des individus appartenant à une même espèce, certains se transmettent des parents aux descendants : ce sont des caractères héréditaires.

La transmission des caractères héréditaires d'une génération à une autre, se fait grâce à une cellule œuf qui provient de la fécondation d'un ovule par un spermatozoïde.

Par conséquent ce qui est transmis, ce ne sont pas les caractères mais c'est un programme génétique qui passe de génération en génération.

De même, les cellules filles issues de la mitose possèdent les mêmes caractéristiques que la cellule initiale. La conservation de ces caractéristiques au cours des générations, suggère aussi l'existence d'un programme génétique, dit information génétique, qui est transmis de la cellule mère aux cellules filles.

Problématique :



.....

.....

.....

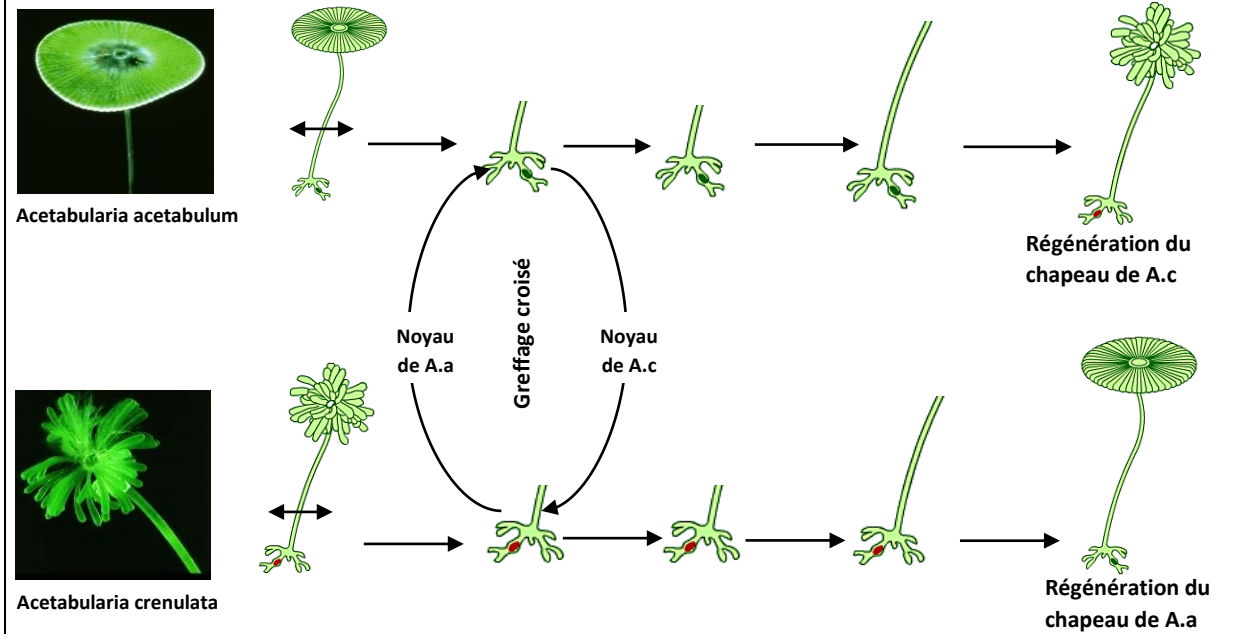
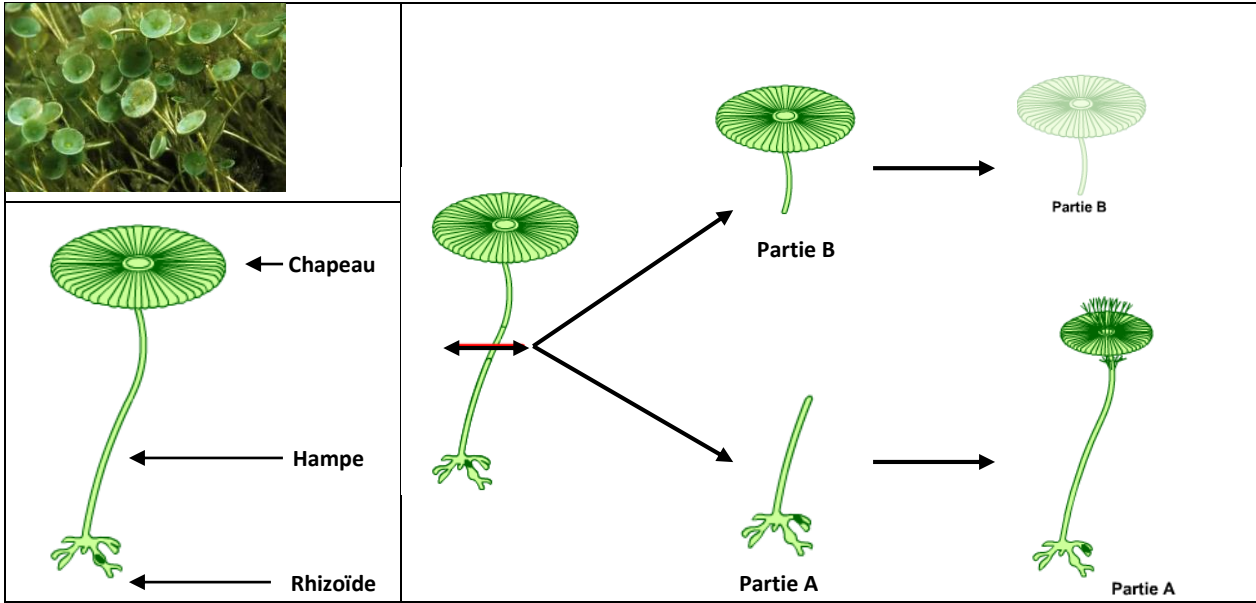
.....

I. Localisation de l'information génétique dans la cellule

1. Mise en évidence de l'information génétique chez un organisme unicellulaire

L'acétabulaire est une algue unicellulaire marine fréquente sur les bords de la méditerranée avec une longueur qui arrive à 8 cm. On distingue deux espèces qui diffèrent par la forme de leur chapeau.

Acetabularia acetabulum : le chapeau à bord régulier et **Acetabularia crenulata** : le bord du chapeau est finement dente.



Q1: Analyser la 1^{ère} expérience, que peut-on conclure?

Q2 : A partir de la 2^{ème} expérience, conclure la localisation de l'information génétique chez l'acétabulaire

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

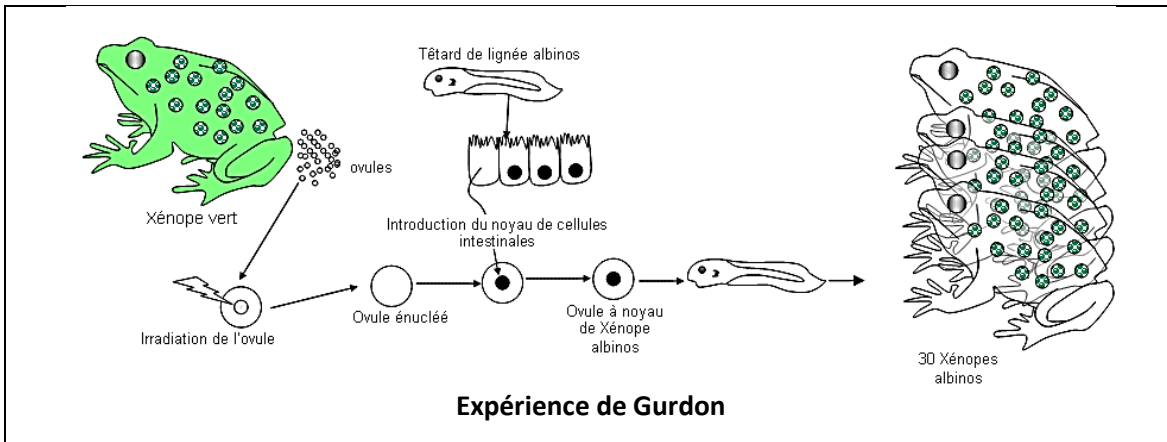
.....

.....

.....

.....

2. Mise en évidence de l'information génétique chez un organisme pluricellulaire



Q1: Montrer comment les résultats de Gurdon permettent de justifier les résultats obtenus chez l'acétabulaire concernant la localisation de l'information génétique

.....

.....

.....

.....

.....

II. La nature chimique du matériel génétique

1. Expérience de Griffith (1928)

En 1928, Fred Griffith, travaille sur deux souches de pneumocoques, une lisse (S) mortelle et une rugueuse (R) non létale, afin de trouver un vaccin contre la pneumonie.

Souche R sans capsule

Souche S avec capsule

Bactérie S vivante	Bactérie R vivante	Bactérie S tuée par la chaleur	Mélange de R vivante et S tuée
La souris meurt	La souris survie	La souris survie	La souris meurt et le sang contient de S vivantes

Q1: Analyser les résultats.

Q2: Emettre une hypothèse concernant la mort des souris dans la 4^{ème} expérience.

Q1 : Analyse :

- ❖
- ❖
- ❖
- ❖

Q2 : Hypothèse :

.....

.....

.....

.....

.....

2. Expérience d'Avery, MacLeod et McCarty: identification du principe transformant (1944)

C'est dans les années 40 que ces trois chercheurs (Avery et MacLeod étaient canadiens et McCarty américain) ont déterminé la nature de la substance chimique découverte par Griffith.

Ils ont repris l'expérience de Griffith avec une légère variante. Les bactéries S mortes étaient broyées et traitées avec une enzyme digestive avant de les mélanger aux R vivantes. Les résultats de leurs travaux sont présentés dans le document ci-dessous.

La théorie derrière cette expérience est que si l'«agent transformation» était, par exemple, la protéine l'agent transformant serait détruit dans le tube à essai contenant la protéase, mais pas les autres, donc la transformation des R en S n'aura pas lieu.

3. Interprétation de l'expérience de Griffith



.....

.....

.....

4. La nature de l'information génétique chez les virus : exemple de Bactériophage

		<p>Un bactériophage (ou phage) est un virus n'infectant que des bactéries pour s'y reproduire. Il est formé d'une tête (appelée capsid) protégeant le matériel génétique (ADN ou ARN), une queue et des fibres avec des crochets pour la fixation sur les bactéries.</p>
<p>Observation microscopique d'un phage</p>	<p>Dessin schématique d'un phage</p>	

Cycle du bactériophage

Q1 : commenter le cycle du bactériophage en **montrant** l'importance du matériel génétique dans la multiplication

Le cycle du bactériophage :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

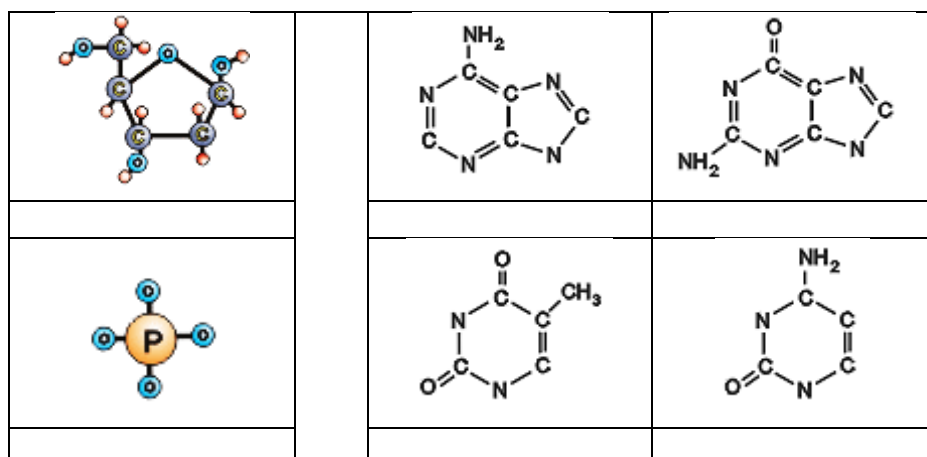
Problème : quelle est la composition et la structure de cette molécule porteuse de l'information génétique ?

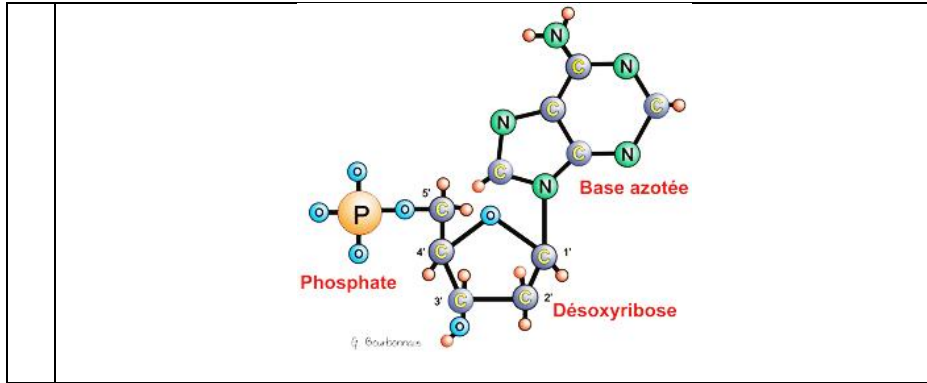
III. Composition et structure de la molécule d'ADN

1. Les constituants de la molécule d'ADN

La découverte de l'ADN s'est faite en plusieurs étapes

- ❖ En 1869, le Suisse Friedrich Miescher réussit à isoler, dans le noyau des cellules, une substance riche en phosphore. Il nomme cette substance : nucléine (du latin *nucleus*, qui veut dire : le noyau).
- ❖ En 1889, l'Allemand Richard Altmann, à partir de la nucléine, isole une substance acide, l'acide nucléique, ainsi que des protéines.
- ❖ En 1896, l'Allemand Albrecht Kossel, découvre 4 bases azotées : A, C, T et G, dans l'acide nucléique.
- ❖ En 1928, les Américains, Phoebus Levene et Walter A. Jacobs parviennent à identifier le désoxyribose.
- ❖ À partir de 1935, on commence à parler d'acide désoxyribonucléique ADN.
- ❖ En 1944, l'Américain Oswald Avery découvre que l'ADN est le support de l'hérédité
- ❖ Dans cette racine, on distingue, plusieurs stades ou phases de division cellulaire.





.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. expérience de Chargaff (1944)

E. Chargaff et ses collègues ont isolé l'ADN de plusieurs organismes différents. Après plusieurs traitements suivis d'une chromatographie, ils ont pu quantifier les bases contenues dans l'ADN. Le document ci-dessous présente les résultats obtenus pour différentes espèces.

L'espèce	T %	G %	A %	C %	A/T	C/G	A+G/C+T	A+T/C+G
Homme	29.4	19.9	30.9	19.8				
Poule	29.2	20.5	28.8	21.5				
Blé	27.1	22.7	27.3	22.8				
Oursin	32.1	17.7	32.8	17.3				
E. coli	23.6	26.0	24.7	25.7				

Q1 : compléter le tableau, quelles informations sur la structure de l'ADN peut-on tirer de l'exploitation des résultats du tableau ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

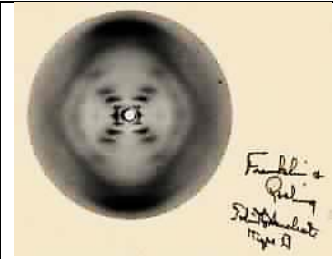
3. la diffraction X de l'ADN



Rosalind Franklin

C'est ce cliché, réalisé par Rosalind Franklin en 1952 grâce à une technique de diffraction par rayons X, qui permet de déterminer la forme de la molécule de l'ADN.

« quand j'ai vu cette image j'étais surpris, le motif en crois ne peut être due qu'à une structure en forme d'hélice » **J. Watson**

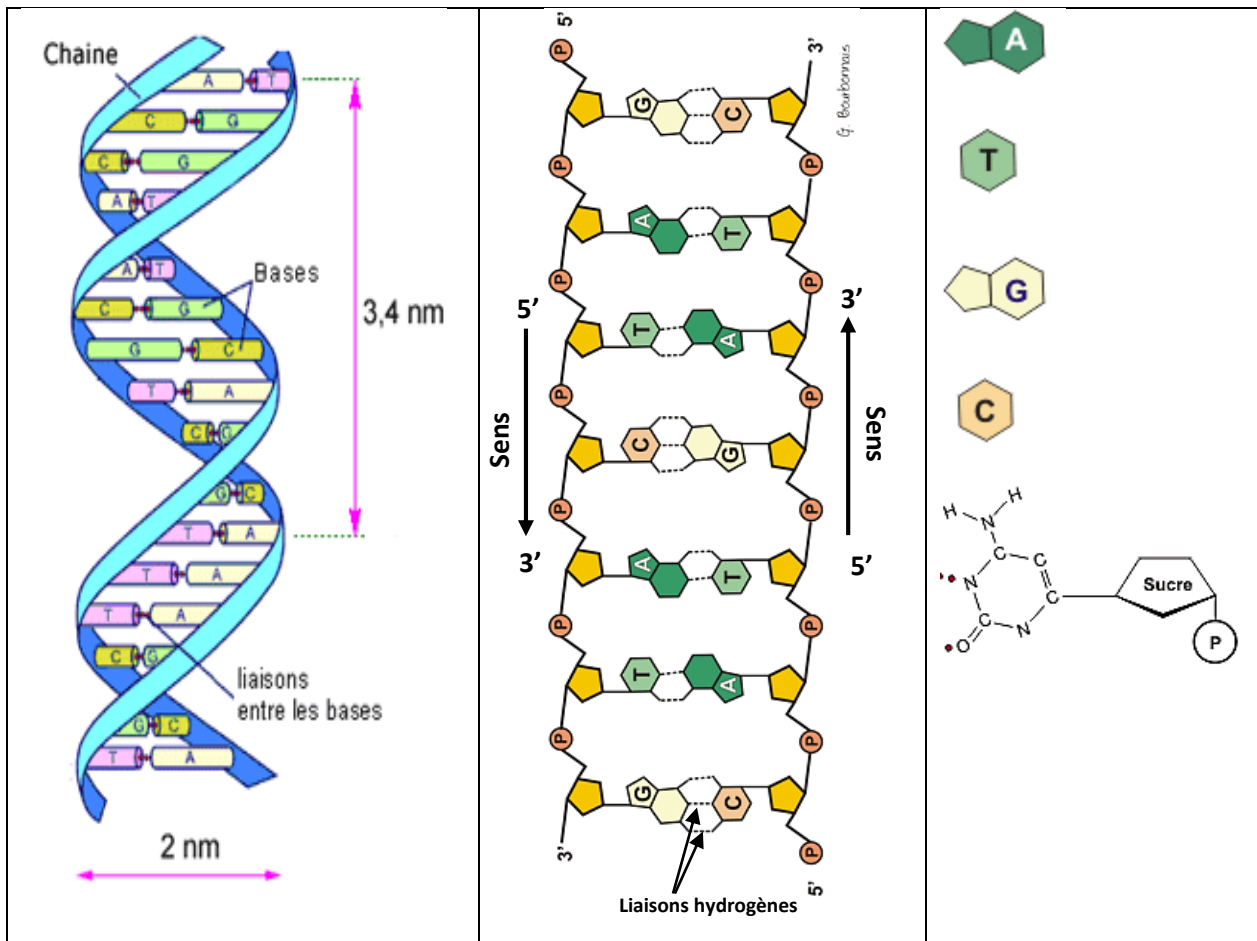


4. le modèle de la double hélice de Watson et Crick (1953)



Le 25 avril 1953, Watson et Crick révèlent pour la première fois la structure de la molécule d'ADN et ils ont proposés un modèle qui explique la structure de cette géante molécule, l'ADN, connue sous le nom : **la double hélice**.

C'est aussi le début d'une nouvelle révolution scientifique, avec le décollage du génie génétique et de la biologie moléculaire.



Q1: décrire les caractéristique de la molécule d'ADN

L'ADN est une macromolécule, formée de deux chaînes complémentaires enroulées en double hélice.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

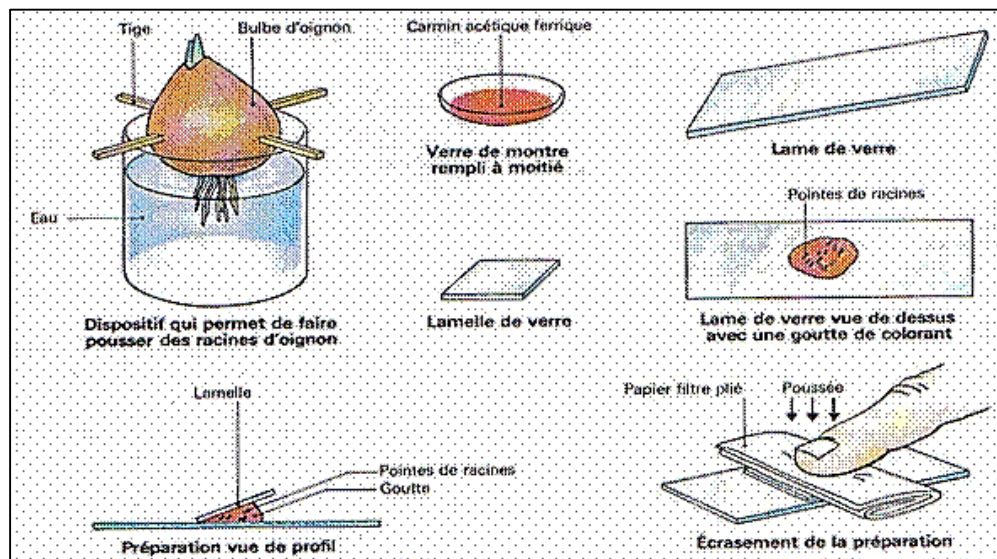
.....

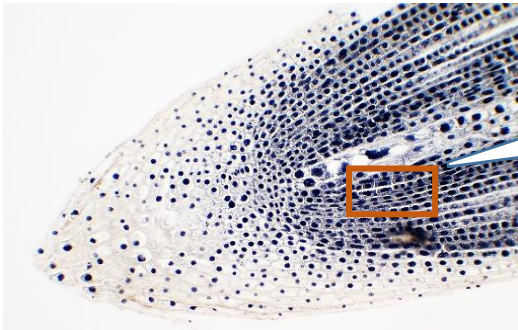
.....

IV. Le transfert de 'information génétique d'une cellule à une autre : la mitose
1. Observation microscopique de la mitose dans une cellule végétale

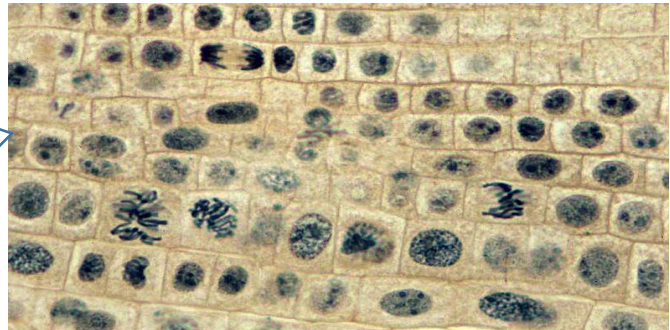
Réaliser une préparation microscopique, en suivant les recommandations suivantes :

- Remplissez à moitié un verre de montre avec du carmin acétique ferrique porté à ébullition.
- Sortez délicatement les jeunes plants de terre en dégageant bien leurs racines.
- Laissez tremper l'extrémité des racines dans le carmin acétique ferrique pendant 2 ou 3 minutes.
- Déposez une goutte de carmin acétique non porté à ébullition sur une lame.
- Laissez tomber dans cette goutte les pointes des racines coupées à 3 millimètres de l'extrémité à l'aide d'un scalpel ou d'une lame de rasoir.
- Placez délicatement une lamelle sur les pointes de racines.
- Appuyez sur la lamelle avec votre pouce à l'aide d'un papier filtre pour éviter tout glissement de la lamelle.

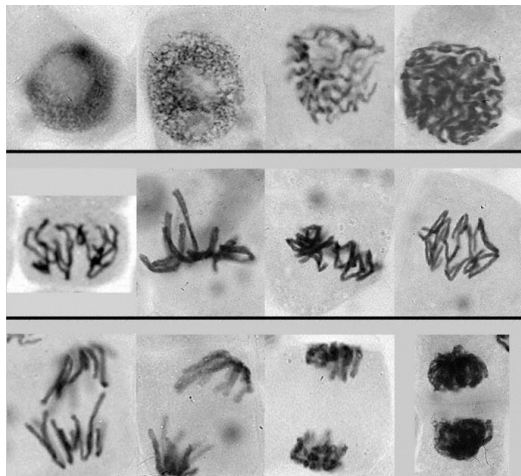




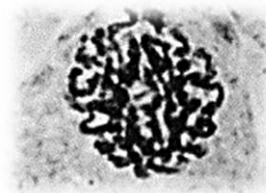
Observation microscopique de l'apex racinaire (X 150)



Observation microscopique de l'apex racinaire (X 1200)

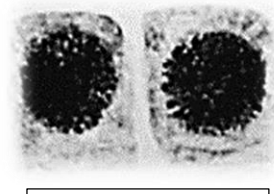


Les différentes phases de la mitose









Q1 : Décrire l'aspect de l'apex racinaire pendant la division cellulaire puis **déterminer** les 4 principales phases de la mitose et **réaliser** un dessin schématisé de chaque phase ($2n = 4$)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

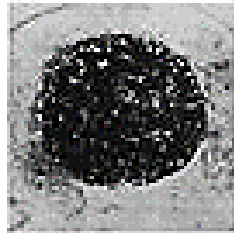
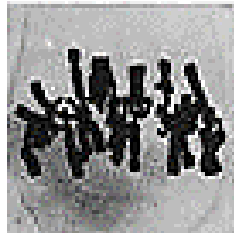
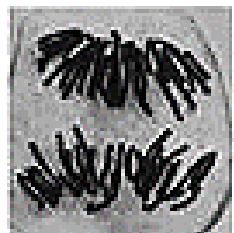
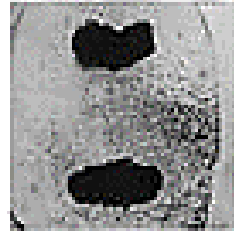
.....

.....

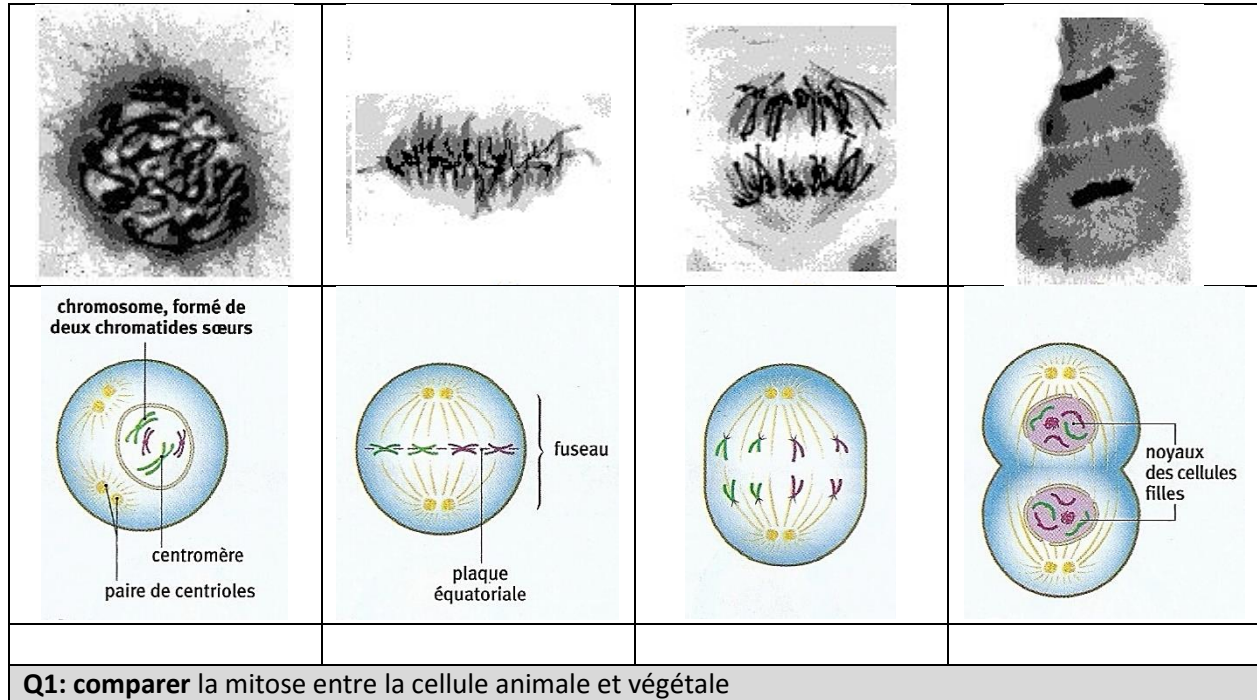
.....

.....

2. Les phases de la mitose dans une cellule végétale (2n = 4)

Les phases de la mitose		Description
Observation microscopique	Dessin schématique	
	
	
	
	
<p>Q1: décrire les caractéristique de chaque phase de la mitose pour la cellule végétale.</p>		

3. Les phases de la mitose dans une cellule animale ($2n = 4$)



Les cellules animales comme les cellules végétales se multiplient par mitose. Toutefois, à cause de leurs différences de structure, quelques aspects de ces mitoses diffèrent. En particulier :

Les centrosomes : seuls les cellules animales en possèdent. Les cellules végétales en sont dépourvues.

La cytotédièrese est différente dans les deux cas : Chez une cellule animale, elle se réalise par un étranglement équatorial de la cellule. Chez une cellule végétale, un tel mécanisme est impossible, du fait de la présence d'une paroi rigide : on a donc une formation d'une nouvelle paroi entre les deux futures cellules (cette structure s'appelle le phragmoplaste)

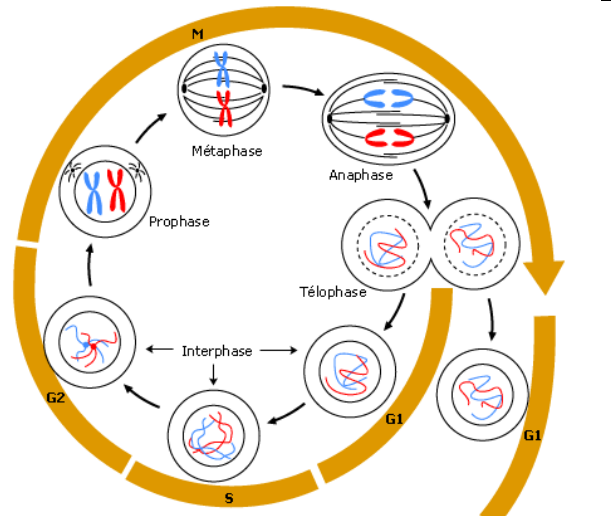
4. Notion du cycle cellulaire

Au cours de sa vie, une cellule grandit puis se divise pour donner deux cellules filles qui lui sont identiques. On désigne sous le terme de **cycle cellulaire** les différentes étapes par lesquelles passe une cellule vivante entre deux divisions successives. Un cycle cellulaire comporte deux étapes : l'interphase et la mitose.

❖ **L'interphase**, pendant laquelle la cellule ne se divise pas, est constituée de trois périodes :

- ✓ la phase G1, durant laquelle la cellule grandit ;
- ✓ la phase S, durant laquelle la cellule se prépare à se diviser, en dupliquant son information génétique ;
- ✓ la phase G2, caractérisée par une intense activité de synthèse protéique.

❖ **La mitose**, pendant laquelle la cellule se divise, donne naissance à deux cellules-filles. La mitose est un phénomène



Q1: monter l'importance de l'alternance de l'interphase et la mitose dans la conservation du nombre de chromosomes et la stabilité de l'information génétique au cours de la multiplication cellulaire.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

V. Chromosome : support de l'information génétique

1. Le nombre de chromosomes chez les êtres vivants

Le document ci-contre présente le nombre des chromosomes chez plusieurs espèces animales et végétales.

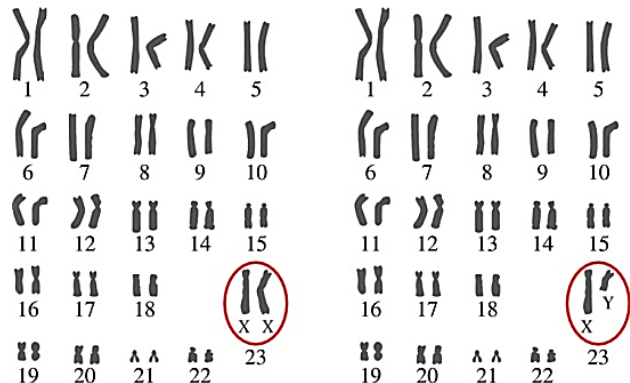
Q1 : que peut-on conclure d'après le document ci-contre.

Seigle (2n)	14	Homme (2n)	46
Mais (2n)	20	Lièvre (2n)	48
Petit épeautre (2n)	14	Chimpanzé (2n)	48
Blé dur (4n)	28	Escargot (2n)	54
Blé tendre (6n)	42	Mouton (2n)	54
Tabac cultivé (4n)	48	Éléphant (2n)	56
Ophioglossum (2n) <i>Fougère</i>	1 262	Bombyx du mûrier (2n)	56
Drosophile (2n)	8	Vache (2n)	60
Lombric (2n)	36	Âne (2n)	62
Chat domestique (2n)	38	Cochon d'Inde (2n)	64
Porc domestique (2n)	38	Cheval (2n)	64
Lapin (2n)	44	Chien (2n)	78
Hamster doré (2n)	44	Poisson rouge (2n)	100-104
Guppy (2n)	46	Martin-pêcheur (2n)	132

2. Le caryotype

L'établissement du caryotype humain se réalise dans les laboratoires de génétique cellulaire, à partir des lymphocytes ou de toute cellule capable de se diviser en culture. La technique consiste en :

- ❖ Un blocage des divisions en métaphase (stade de la mitose où les chromosomes sont condensés au maximum et positionnés dans le plan équatorial de la cellule) par de la colchicine ; les chromosomes bien distincts peuvent alors être observés.
- ❖ Un choc hypotonique : la cellule, placée dans un milieu extérieur plus dilué que le contenu cytoplasmique, éclate, et les chromosomes métaphasiques se dispersent et s'étalent.
- ❖ Une coloration des chromosomes.
- ❖ Une photographie au microscope des chromosomes de la cellule, puis un découpage et un classement de tous les chromosomes après agrandissement des clichés.



Caryotype d'une femme

Caryotype d'un homme

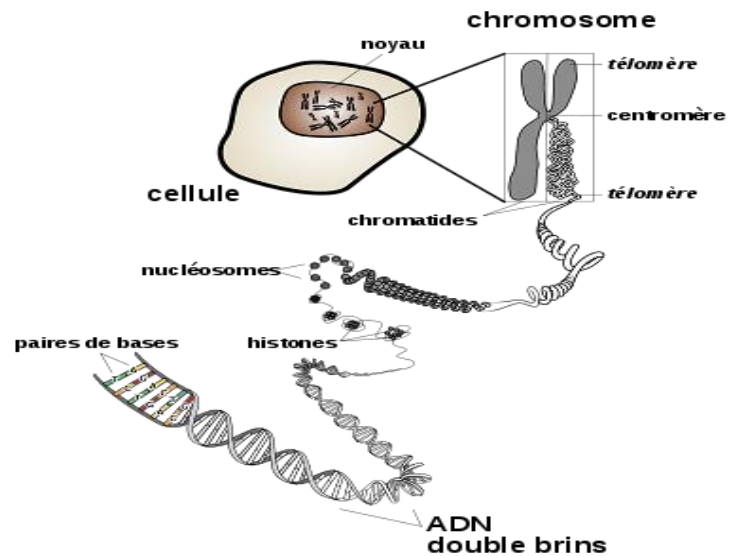
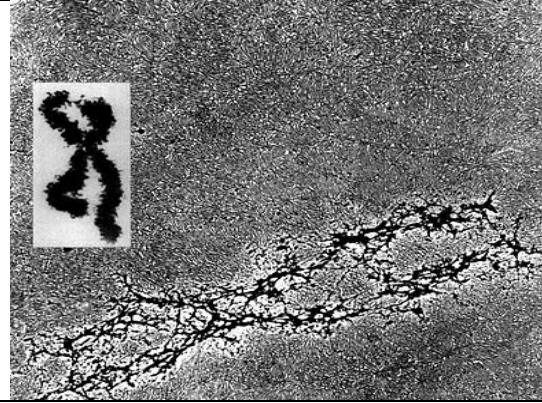
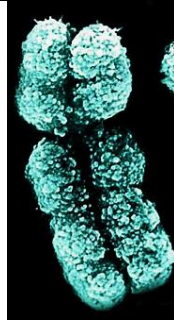
Q1 : comparer les deux caryotypes et donner la formule chromosomique de chaque caryotype.

3. Structure des chromosomes et sa relation avec l'ADN

Le corps humain est constitué de milliards de "cellules" comportant chacune un noyau. Ce noyau renferme toute notre information génétique. Celle-ci est contenue dans nos chromosomes qui contiennent eux-mêmes notre ADN. Les chromosomes sont constitués d'ADN qui porte les gènes (25 000 environ).

L'information génétique est répartie sur les 46 chromosomes (23 paires). Pour chaque paire, il y a un chromosome d'origine paternelle et un chromosome d'origine maternelle.

Q1 : décrire comment évolue la matière héréditaire au cours du cycle cellulaire (de l'interphase à la mitose).



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

VI. La duplication de l'ADN

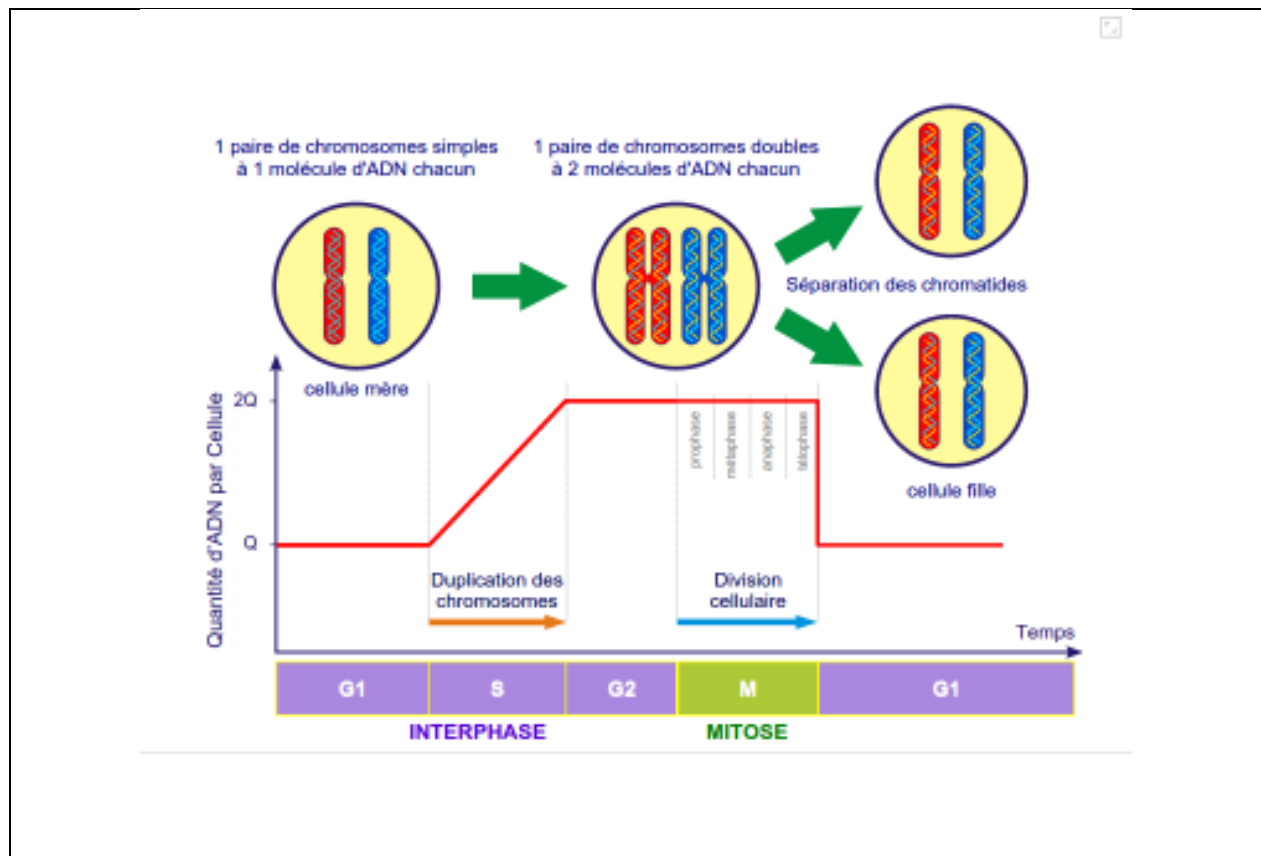
1. La mise en évidence de la réplication de l'ADN

On cultive des cellules dans un milieu de culture convenable et la division démarre d'une façon synchrone. On prend une cellule de ce milieu dans des temps différents et on mesure la quantité d'ADN dans son noyau.

Temps (h)	0	1	2	6	10	11	13	16	18	21	22	24	29
Quantité d'ADN (UA)	6.6	6.6	3.2	3.3	3.3	4	5.1	6.5	6.6	6.6	3.2	3.3	3.2

Q1 : Tracer la courbe de variation de la quantité d'ADN par cellule en fonction du temps.

Q2 : Décrire l'évolution de la quantité d'ADN pendant le cycle cellulaire, puis **déterminer** la durée du cycle cellulaire, en **précisant** les deux phénomènes principaux qui permettent la conservation de l'information génétique d'une cellule à une autre.



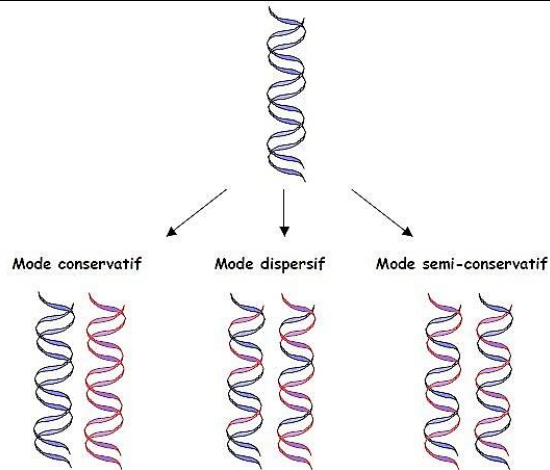
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. Le modèle de la réplication de l'ADN

Trois hypothèses relatives aux mécanismes de la réplication peuvent être émises :

- **Hypothèse 1 : réplication conservative**
- **Hypothèse 2 : réplication semi-conservative**
- **Hypothèse 3 : réplication dispersive**

Q1 : Donner un commentaire pour chaque modèle de réplication de l'ADN

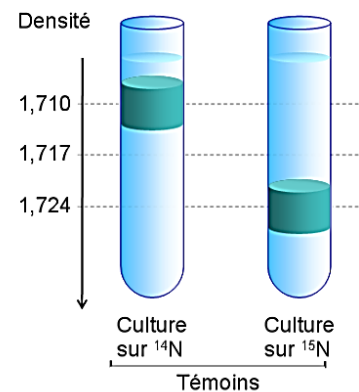


3. Expérience de Meselson et sthal (1958)

Afin de valider une des deux hypothèses, Meselson et Stahl ont travaillé sur une bactérie nommée Escherichia Coli.

Le protocole :

La destinée des molécules d'une cellule peut être suivie en utilisant des isotopes marqueurs, par exemple ^{15}N , l'isotope lourd de l'azote ^{14}N . L'azote ^{15}N s'incorpore sans discrimination dans tous les composés azotés de la cellule, y compris l'ADN. Les molécules d'ADN marquées avec ^{15}N sont plus lourdes que celles contenant ^{14}N ; elles peuvent être séparées par centrifugation en gradient de densité et leur densité peut être évaluée.



Expérience

Des bactéries sont cultivées pendant plusieurs générations sur un milieu contenant de ^{15}N . Quand tout l'ADN des bactéries contient du ^{15}N , on transfère ces dernières sur un milieu à ^{14}N . Elles poursuivent leurs divisions de façon synchrone ; on prélève des bactéries à des temps correspondant au doublement de la population et on mesure la densité de l'ADN extrait de ces bactéries

Méthode

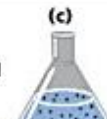
culture de bactéries pendant de nombreux cycles sur milieu avec ^{15}N



transfert sur milieu ^{14}N pour une division cellulaire



une division sur milieu ^{14}N



centrifugation

centrifugation

centrifugation

Résultats

(^{14}N)

(^{15}N)

ADN léger
ADN intermédiaire
ADN lourd

ADN des bactéries cultivées sur milieu ^{15}N apparaissant selon 1 seule bande

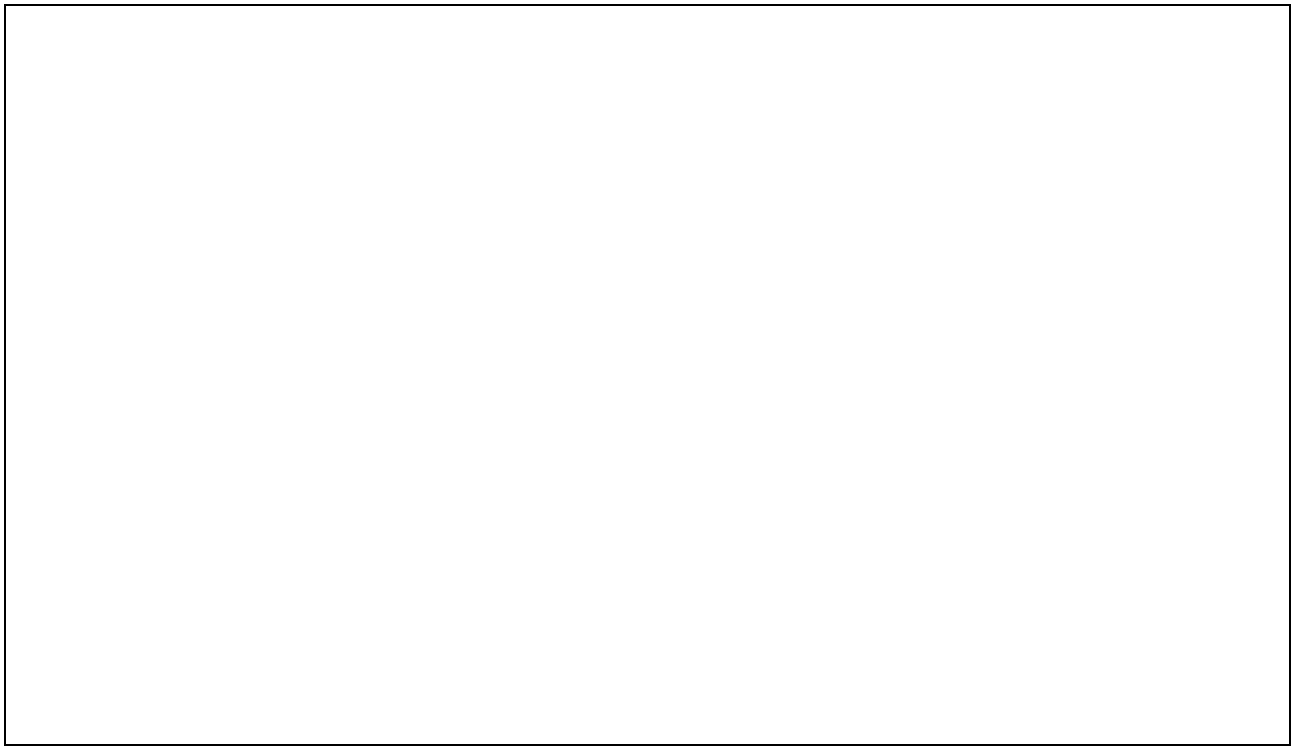
Après 1 répliation, l'ADN correspond à une bande d'ADN de densité intermédiaire

Après la 2e répliation, apparaissent 2 bandes : une d'ADN intermédiaire et une d'ADN léger

Q1 : en analysant les résultats de Meselson et Sthal, **monter** lequel des modèles proposés explique la répliation de l'ADN.

Q2 : Représenter schématiquement les molécules d'ADN de la 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} génération (en utilisant le noir pour le brin « léger » et le rouge pour le brin « lourd »). **Indiquer** alors les résultats obtenus (% d'ADN lourd, léger, hybride).

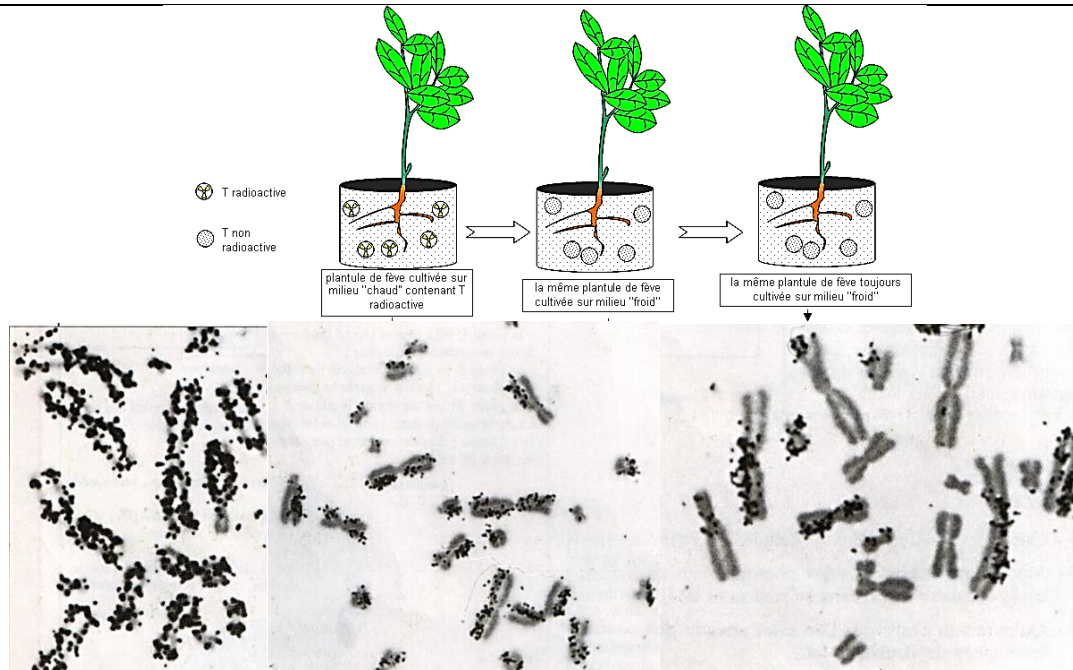
Q3 : Indiquer alors les résultats prévisibles après une génération sur milieu ^{14}N (4^{ème} génération) et **dessiner** le contenu du tube après centrifugation.



4. Expérience de Taylor (1957)

De jeunes racines en croissance d'une plante de *Bellevalia* ont été cultivées sur un milieu contenant de la thymidine radioactive pendant une durée correspondant à une interphase. Certaines de ces racines sont alors traitées par la colchicine qui bloque les mitoses en métaphase.

La radioactivité des chromosomes des cellules en mitose est révélée par autoradioactivité (Fig. 1). Après lavage, on transfère des racines non traitées à la colchicine sur un milieu contenant de la thymidine non radioactive. Une autoradioactivité révèle la radioactivité des chromosomes au cours de la mitose suivante (Fig. 2 et 3).



Q1: en analysant les résultat de Taylor, confirmer le modèle qui explique les résultats de Messelson et Sthal.
 Q2 : **Représenter** schématiquement les molécules d'ADN dans le chromosome de la 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} génération (en utilisant le noir pour le brin « radioactif » et le rouge pour le brin « non radioactif »). **Indiquer** alors les résultats obtenus en %.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. Mécanisme de la duplication d'ADN : la réplication

The figure illustrates the mechanism of DNA replication in three panels:

- Top Left:** An electron micrograph showing a chromosome with a replication fork. Labels include 'replication fork' (œil de réplication), 'chromosome', and 'chromatids'. A scale bar indicates 0,2 μm.
- Top Right:** A molecular diagram of the replication fork. The 'Original DNA double helix' is shown being unwound. 'DNA polymerase' moves along the strands. One strand is synthesized continuously (5' to 3'), while the other is synthesized discontinuously as Okazaki fragments (3' to 5'). 'Free nucleotides' are shown entering the synthesis site.
- Middle Left:** A schematic diagram of the replication fork. The original DNA is blue. 'Most recently synthesized DNA' is shown in red. The discontinuously synthesized strand is labeled as 'Okazaki fragments'. 5' and 3' ends are indicated.
- Middle Right:** A diagram showing the assembly of Okazaki fragments. It depicts DNA polymerase III (Pol III) synthesizing a strand in the 5' to 3' direction, creating a loop. Subsequent steps show the removal of RNA primers and the ligation of Okazaki fragments into a continuous strand.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

NB : La réplication de l'ADN est un **processus très fidèle**. Grâce aux mécanismes de correction, le taux d'erreur est faible. Il est estimé à un pour un milliard, et correspond à près de deux mutations par cellule fille pour l'espèce humaine.

Résumé : L'information génétique d'une cellule est dupliquée à l'identique (grâce à l'action de l'ADN-polymérase) au cours de la phase S de l'interphase. Cette duplication de l'ADN s'effectue par un processus de réplication semi-conservatif fondé sur la complémentarité des nucléotides (A avec T, C avec G). Chaque molécule fille d'ADN est la réplique parfaite (aux mutations près !) de la molécule mère. Elle est composée d'un brin ancien et d'un brin néoformé. A la fin de la phase S, chaque chromosome est formé de deux chromatides portant chacune la même molécule d'ADN et donc la même information génétique.

