

Royaume du Maroc



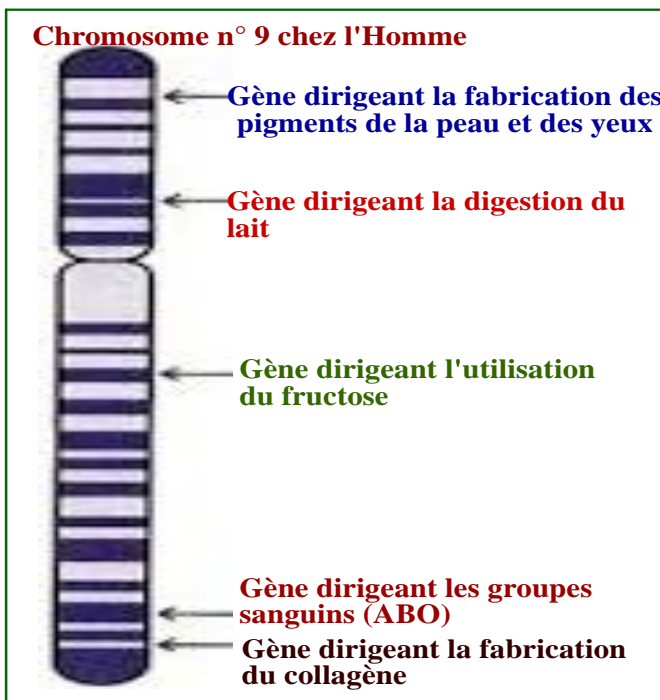
Ministère de l'éducation nationale du préscolaire et des sports
Académie régionale de l'éducation nationale de Marrakech
Direction provinciale Marrakech

Information génétique, nature, expression et génie génétique

1^{ère} année bac Sciences math

2^{ème} année bac, Série sciences expérimentales, filière sciences de la vie et de la terre.

Section internationale, option langue Française



Saumon OGM (taille 61cm, poids 3Kg) et saumon d'élevage (taille 33cm, poids 1,3Kg).
Les deux poissons ont 18 mois

Proposé par : Prof Khadija Zekrite

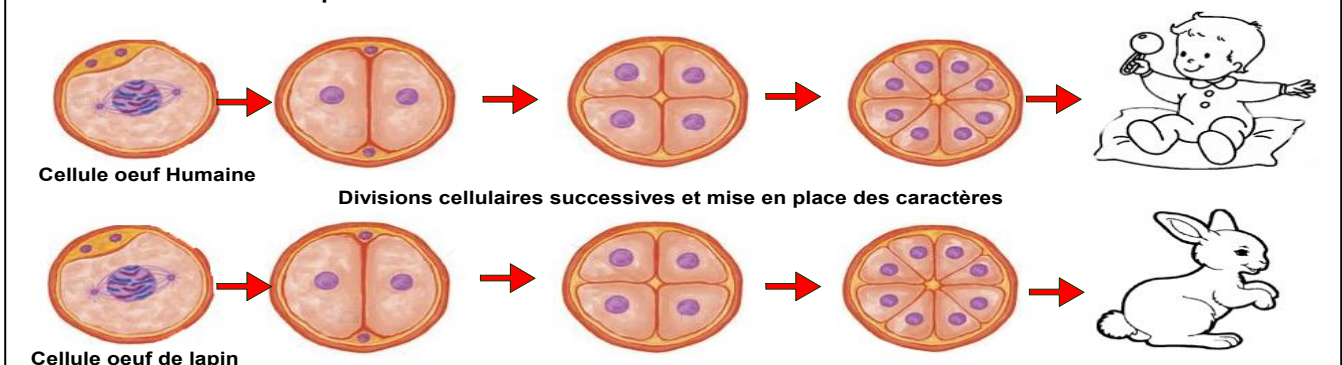
Année scolaire : 2025/2026

Documents pour s'interroger

Doc 1 : Il existe un grand nombre de variétés de tomates, différenciées par : leur forme (rondes, allongées, côtelées, cerises, en forme de poire, en grappes) ; leur taille (petites, moyennes, grosses) ; leur couleur (rouges, jaunes, orangées, roses, vertes, noires striées) et leur saison de maturité.



Doc 2 : Une cellule œuf d'un être humain donnera toujours les caractères d'un être humain alors que la cellule œuf du lapin donnera toujours les caractères d'un lapin



Quelles questions peut-on poser concernant l'information génétique ?



Questions posées

Les individus d'une même espèce présentent des caractères héréditaires communs qui définissent l'espèce (couleur, forme, taille...). Pour chaque caractère on observe des variations individuelles. Ces caractères sont certes gouvernés par un programme situé au niveau de la cellule qu'on appelle : information génétique. Cette information se transmet à travers la reproduction sexuée au fil des générations

- Quelle est la nature de l'information génétique ? → **Chapitre 1**
- Quel est le mécanisme de l'expression de l'information génétique ? → **Chapitre 2**

■ Comment Les connaissances fournies par la nature et l'expression de l'information génétique nous permettent-elles de modifier les organismes génétiquement ? → **Chapitre 3**

Plan de l'unité

Chapitre 1 : Nature de l'information génétique

Chapitre 2 : Expression de l'information génétique

Chapitre 3: Le génie génétique et les organismes génétiquement modifiés.

Chapitre 1 : Nature de l'information génétique

L'information génétique est un programme que possède chaque cellule et qui détermine ses caractéristiques.



Questions posées

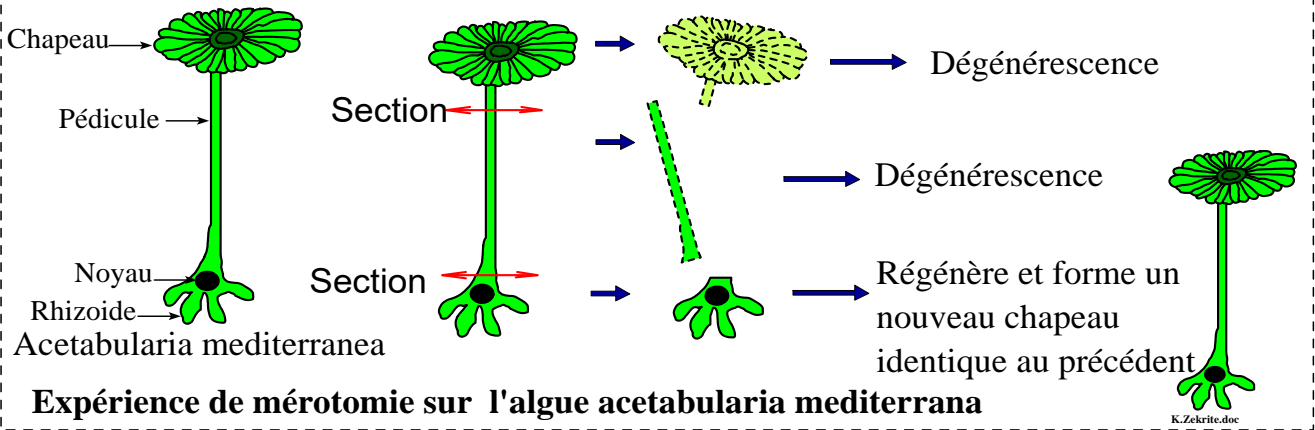
- ↪ Dans quelle partie de la cellule se localise l'information génétique ?
↪ **Activité 1**
- ↪ Comment s'effectue la transmission de l'information génétique d'une cellule à une autre ? ↪ **Activité 2 et 3**
- ↪ Quel est la nature chimique de l'information génétique ?
↪ **Activité 4 et 5**

Localisation de l'information génétique dans la cellule

La cellule est constituée de plusieurs compartiments : le cytoplasme, le noyau, les mitochondries, les chloroplastes

- Dans qu'elle compartiment de la cellule l'information génétique se localise-elle ?

Doc 1 : L'acétabulaire est une algue verte unicellulaire de grande taille. Le noyau de cette algue est toujours situé près du rhizoïde. On sectionne cette algue en deux endroits différents, ce qui permet de séparer trois parties : le chapeau, le pédicule et le rhizoïde. La figure ci- dessous représente les endroits des sections et les résultats obtenus



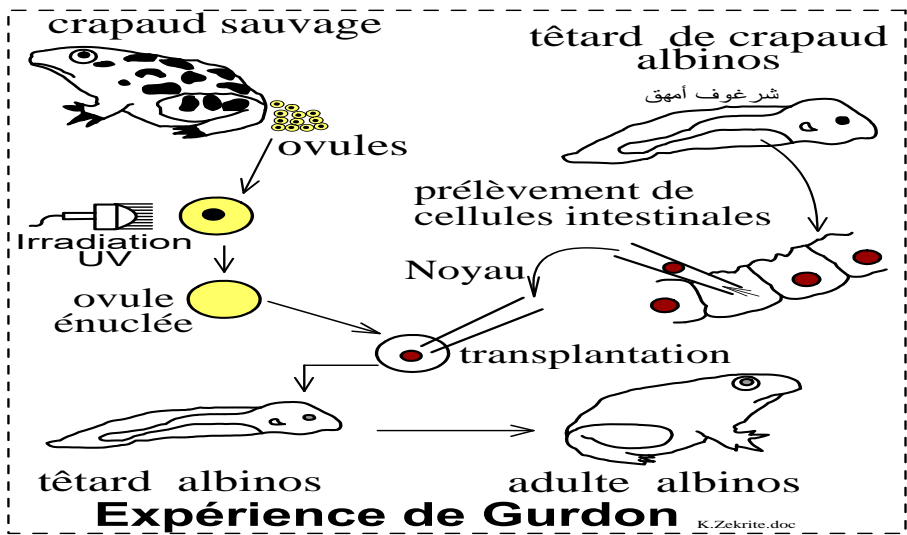
Doc 2 : Expérience de Gurdon

En 1960, le biologiste Gurdon travaille sur des crapauds. Par irradiation aux ultra-violet, il détruit les noyaux d'ovules pondus par des femelles de variété sauvage (de couleur brun-vert). Dans ces ovules il a transplanté des noyaux de cellules d'intestin de têtard d'une lignée de crapauds albinos (blancs). Sur 54 œuf ainsi préparés, 30 ont donné des adultes, tous identiques entre eux, de même sexe et albinos.

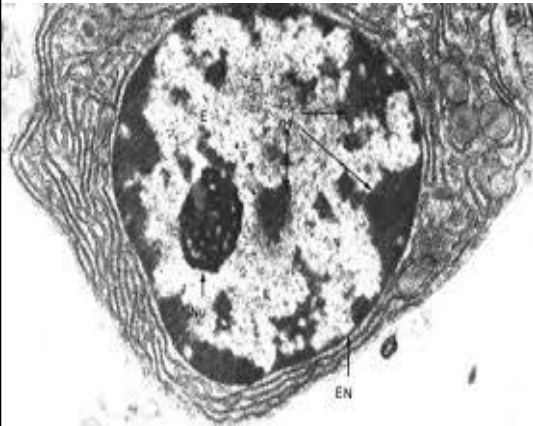
Crapaud normal sauvage



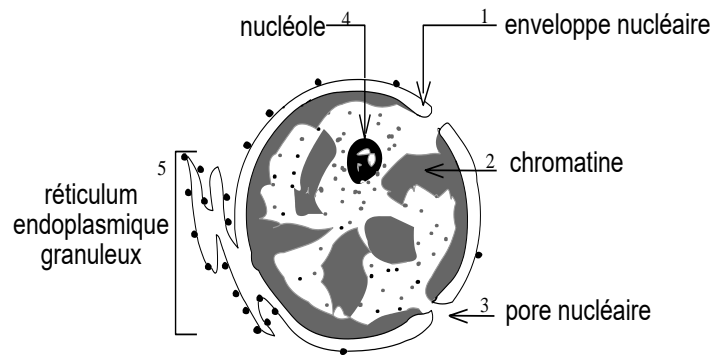
Crapaud albinos



Doc 3: Ultrastructure du noyau



Electronographie du noyau



Schémas de la structure du noyau

- 1 Interpréter l'expérience du doc 1. Que peut-on conclure ?
- 2 Montrer que l'expérience du doc 2 est une preuve que l'information génétique est située dans le noyau.
- 3 Annoter la figure du document 3.

Réponses

1 Interprétation de l'expérience de section de l'acetabularia :

Les parties énucléées (sans noyau) de la cellule de l'acetabularia meurent et ne parviennent pas à croître. Alors que la partie nucléée (rhizoïde) survie, se développe, et régénère le pédicule et le chapeau d'une manière semblable à la cellule mère.

Conclusion :

- Le noyau est nécessaire à la vie de la cellule.
- Le noyau contrôle et dirige les caractéristiques de la cellule, il est donc le siège du programme génétique

2 **Expérience de Gurdon**

On observe que le crapaud, nouveau-né est de la même couleur que le crapaud d'où provient le noyau de la cellule œuf. Le noyau a donc dirigé le caractère génétique (couleur de la peau), ce qui confirme que le noyau est l'endroit où se trouve l'information génétique.

- 3 Voir la figure.

Bilan

Les expériences de transfert du noyau réalisées chez l'acétabulaire et chez le crapaud montrent que l'information génétique se localise dans le noyau de chaque cellule (animale ou végétale). Ce programme détermine les caractéristiques spécifiques et individuels de chaque être vivant.

Transmission de l'information génétique d'une cellule à une autre

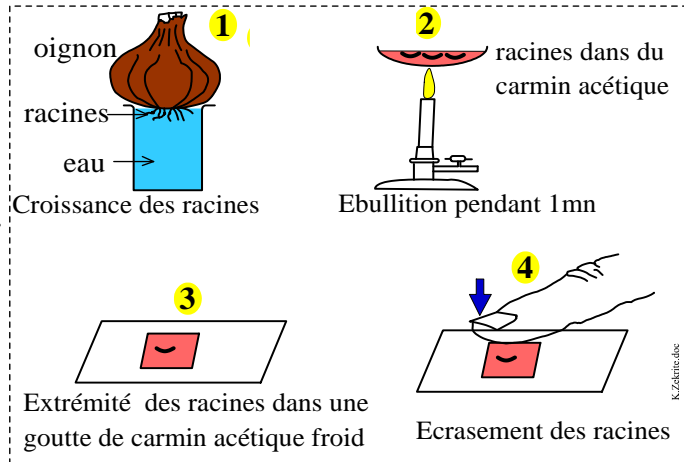
L'information génétique est localisée au niveau du noyau cellulaire. Les cellules se divisent pour garantir la croissance des individus et le renouvellement des cellules mortes.

- **Comment** la division cellulaire se déroule-t-elle ?
- **Quel est** le devenir de l'information génétique contenue dans le noyau au cours de cette division ?

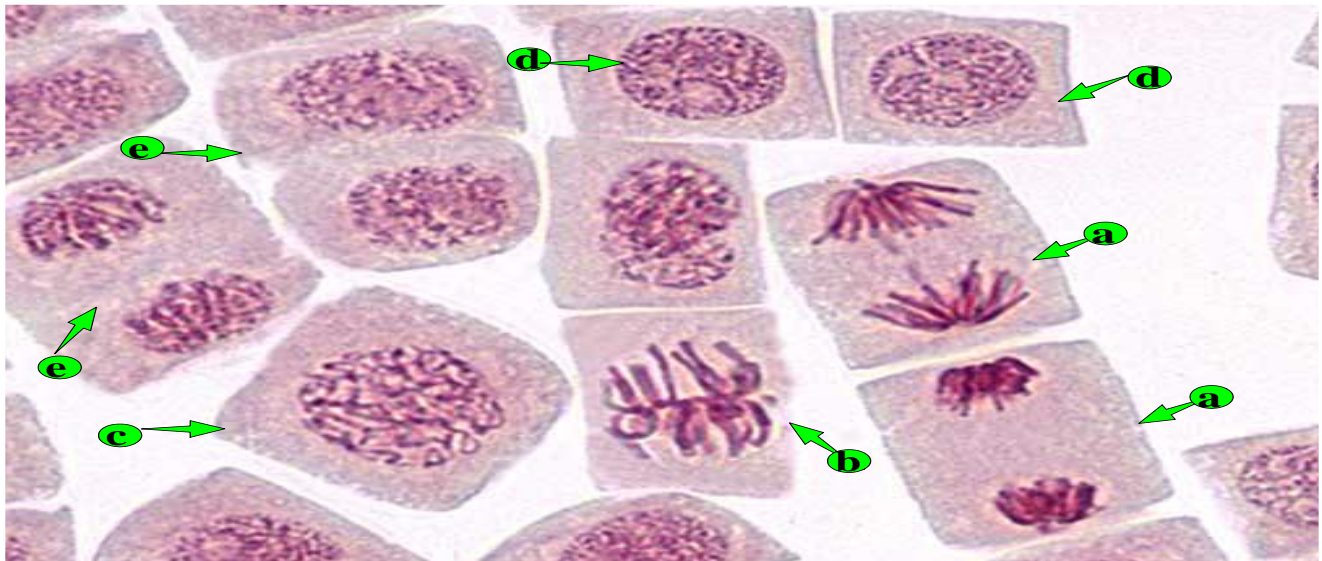
I/ Les étapes de la mitose chez une cellule végétale

Doc 1 : Protocol expérimental

- Placer pendant 8 jours un bulbe d'oignon ou d'ail sur un b cher rempli d'eau pour qu'il germe.
- Prélever l'extrémité de 2 ou 3 racines (10mm environ)   l'aide d'une lame de raso r.
- Plonger les extrémités de racine dans une solution de carmin acétique bouillant pendant 1mn.
- Transférer les pointes de racine dans une goutte de carmin acétique froid sur une lame de verre.
- Recouvrir d'une lamelle, écraser doucement avec le pouce.
- Observer au microscope optique.



Doc 2 : observation microscopique des cellules de racine d'oignon en mitose (division cellulaire)



- ↔ **d** = Cellules au repos : en interphase
- ↔ **a, b, c, e** = Cellules en division = en mitose
 - c** = Cellule en prophase
 - b** = Cellule en métaphase
 - a** = Cellule en anaphase
 - e** = Cellule en télophase
- ↔ L'ordre chronologique des étapes de la division : : **c** → **b** → **a** → **e**.

❶ **Identifier**, parmi les photographies du document 2 ceux qui correspondent à des cellules en division, et ceux qui montrent des cellules au repos (qui ne sont pas en

division). **Classer**, par défaut, ces étapes selon l'ordre chronologique puis **nommer** chaque étape. **Dégager** la caractéristique principale du noyau lors de la division.

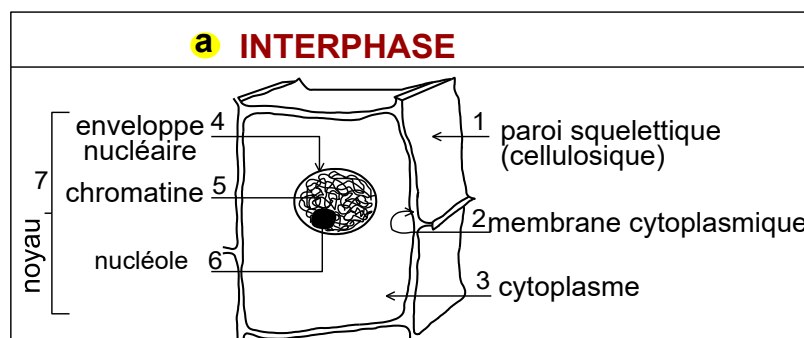
② **En exploitant** le doc 3 (page suivante), **décrire** les caractéristiques des étapes de la mitose chez la cellule végétale.

On dirige l'élève à décrire les différences qui existent entre les différentes cellules visibles sur la préparation afin de les classer en 4 stades de la division : L'observation microscopique, permet de voir des cellules présentant des aspects différents du noyau : noyau petit ou gonflé, existence de bâtonnets réunis en un seul lot ou divisé en deux lots...

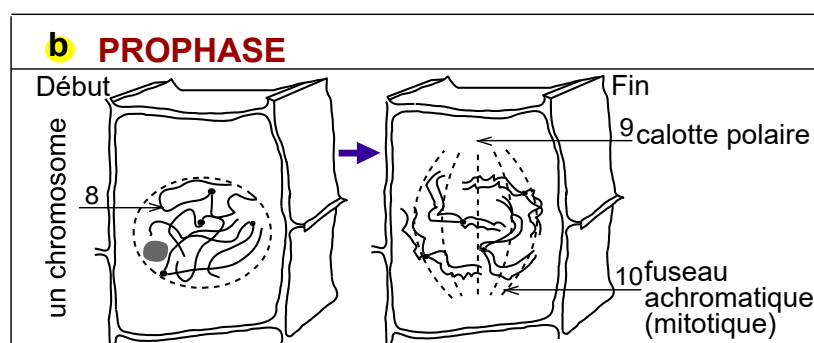
① Exploitation de l'observation microscopique du document 2

- ↪ Les cellules de l'extrémité des racines se divisent.
- ↪ La division cellulaire est appelée mitose.
- ↪ La mitose est un processus continu mais on peut le diviser en 4 phases : la prophase, la métaphase, l'anaphase et la télophase et.
- ↪ La mitose est précédée par une phase plus longue appelée interphase.
- ↪ Pendant la mitose apparaît au sein du noyau des éléments sous forme de filaments appelée chromosomes.

Doc 3 : Les étapes de la mitose chez une cellule végétale (voir document 3 dans la page suivante)



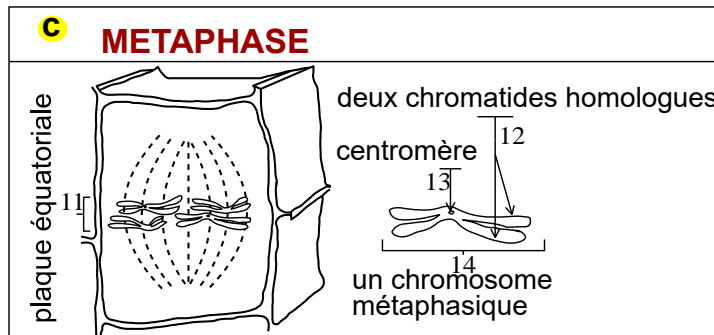
L'interphase : Pendant cette phase, la cellule possède un noyau entier avec sa membrane, son nucléole et sa chromatine (nucléofilaments enchevêtré متشابكة).



La prophase : Ce stade est le plus long, il se caractérise par :

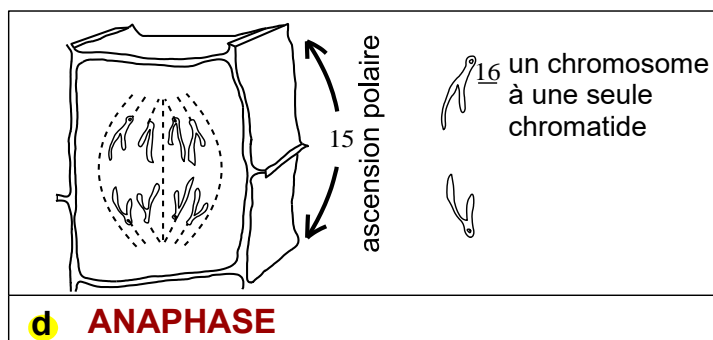
- Un gonflement du noyau qui provoque la disparition de l'enveloppe nucléaire.
- La disparition du nucléole.

- La chromatine se condense et s'individualise en chromosomes, ces derniers deviennent visible.
- Chaque chromosome est formé de *deux chromatides* homologues, réunies par *un centromère*.
- L'apparition d'un fuseau de fibres entre les deux pôles de la cellule appelé *fuseau achromatique = mitotique*.



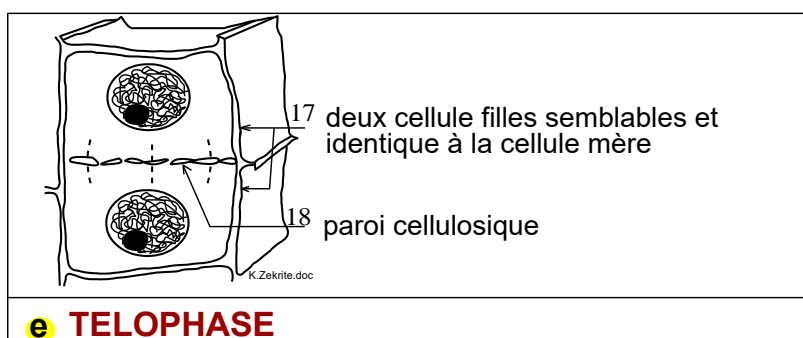
La métaphase : Stade très court (quelques minutes), se caractérise par :

- Une condensation maximale des chromosomes bichromatidiens.
- Les chromosomes se regroupent dans le plan équatorial de la cellule formant une *plaque équatoriale*.
- Chaque chromosome métaphasique constitué de 2 chromatides est lié par son centromère aux fibres du fuseau achromatique.



L'anaphase : Stade très court (2 à 3 mn), se caractérise par :

- Un clivage du centromère et la séparation des chromatides homologues.
- Les chromatides de chacun des chromosomes migrent vers les pôles de la cellule dans des sens opposés.
- Cette migration, appelée *ascension polaire*, se fait grâce à la contraction des fibres achromatiques.
- Il se forme deux groupes identiques de chromosomes dans chacun des deux pôles de la cellule.

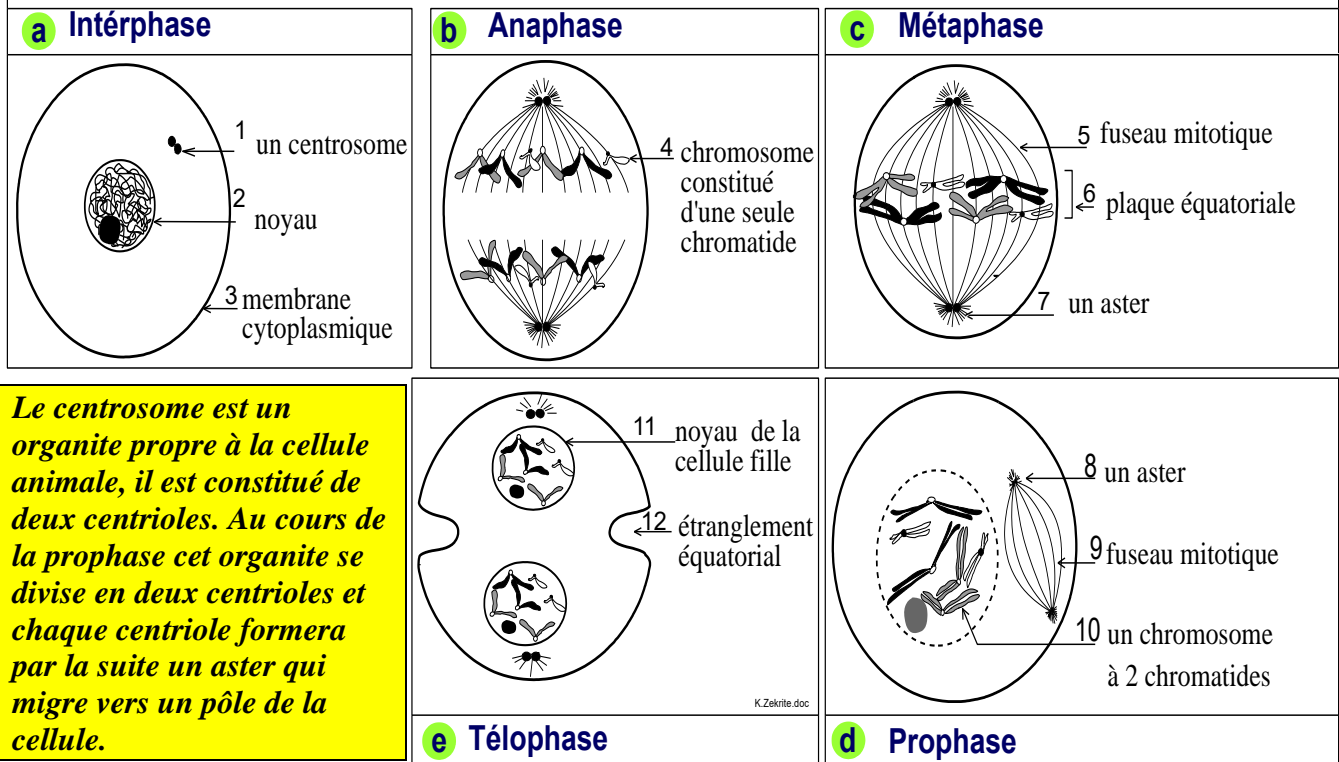


La télophase : Stade, dont la durée est longue, se caractérise par :

- Un regroupement et une décondensation des chromosomes en chromatine.
- L'enveloppe nucléaire entoure chacun des deux groupes de chromatine, donnant naissance à deux noyaux fils.
- La disparition du fuseau mitotique.
- La division du cytoplasme (cytodiérèse) par la construction d'une nouvelle membrane et d'une paroi cellulosique dans le plan équatorial.
- La formation de deux cellules filles identiques.

II/ La mitose chez la cellule animale

Doc 4: La mitose chez une cellule animale, on considère $2n = 6$ (les phases ne sont pas classées)



- ➊ Replacer, les stades de la mitose du doc 4 dans l'ordre chronologique et annoter le schéma
- ➋ Dégager les principales différences entre la mitose chez la cellule végétale et chez la cellule animale.
- ➌ Comparer le nombre de chromosomes de la cellule mère avec celui des cellules filles (doc 3 et 4).

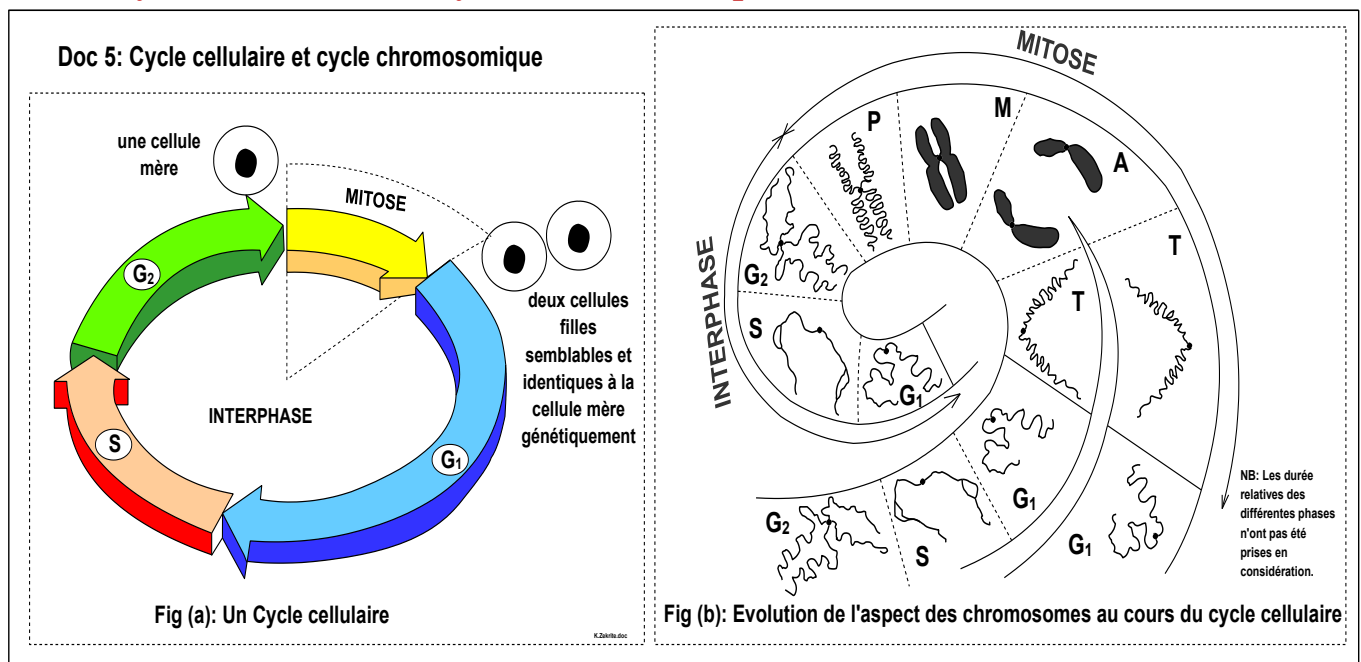
Réponses

- ➊ Voir schéma.
Ordre exact des étapes : Interphase (a) → prophase (d) → métaphase (c) → anaphase (b) → télophase (e)
- ➋ On note deux différences entre la mitose chez la cellule animale et chez la cellule végétale :

- * Chez la cellule animale, le fuseau achromatique se forme entre **deux asters**.
- * Les asters sont issus de la division du **centrosome**. Par contre chez la cellule végétale, le fuseau achromatique se forme entre **deux calottes polaires** (condensations cytoplasmiques).
- * Pendant la télophase, la division du cytoplasme s'effectue, chez la cellule animale par **un étranglement équatorial** (resserrement médian de la membrane plasmique), alors que chez la cellule végétale, la séparation des deux cellules filles se fait par la construction d'une **nouvelle paroi cellulosique**.

③ A l'issue de la mitose les deux cellules filles possèdent le même nombre de chromosomes qui est le même que celui de la cellule mère.

III/ Le cycle cellulaire et le cycle chromosomique :



- ❶ Décrire le cycle cellulaire en relation avec l'évolution de l'aspect des chromosomes.
- ❷ Montrer l'importance de l'alternance de l'interphase et de la mitose dans le maintien du nombre du chromosome lors de la multiplication cellulaire.

Réponse

❶ Description du cycle cellulaire en relation avec l'évolution de l'aspect des chromosomes :

- Les cellules ont un fonctionnement cyclique. Un cycle cellulaire comporte deux étapes : l'interphase suivi par la mitose.
- L'interphase comporte trois phases :
 - La phase G_1 (Growth): première phase de croissance de la cellule, le chromosome est constitué d'une seule chromatide.
 - La phase S : phase de synthèse chaque chromatide commence à se dupliquer.

- La phase G₂ : (Growth): deuxième phase de croissance de la cellule, chaque chromosome est constitué de deux chromatides.

🌸 La mitose :

- Pendant la prophase et la métaphase, les chromatides subissent une **condensation (spiralisation)** qui se traduit par une augmentation du diamètre apparent et une diminution de la longueur, ils deviennent visibles et on parle alors de chromosome.

- Pendant l'anaphase, les chromatides **se séparent** et chacun rejoint une cellule fille.

- Pendant la télophase les chromosomes **se décondensent** et redonnent la chromatine et un nouveau cycle chromosomique commence.

La mitose donne naissance à deux cellules **semblables entre elles et identiques à la cellule mère**: se caractérisent par les mêmes caractères héréditaires et renferment le même nombre de chromosomes.

② Importance de l'alternance de l'interphase et de la mitose dans le maintien du nombre du chromosome lors de la multiplication cellulaire.

- Au cours de la phase S de l'interphase, chaque chromosome de la cellule mère se dédouble en deux chromatides homologues.

- Pendant l'anaphase de la mitose, les chromatides se séparent et chacun rejoint une cellule fille. On obtient deux cellules-filles avec chacune les copies exactes des chromosomes de la cellule-mère.

- La succession des deux phénomènes : duplication des chromosomes puis séparation permet la conservation du nombre de chromosomes des cellules mères aux cellules filles pendant un cycle cellulaire.

*Remarque : Des signaux moléculaires permettent le passage d'une phase du cycle cellulaire à la suivante. Si une cellule échappe à leur contrôle elle peut se multiplier de manière incontrôlée et devient une cellule **cancéreuse**.*

Bilan de l'activité 2

La croissance des tissus et le renouvellement des cellules sont assurés par la mitose. Cette division comporte 4 phases (la prophase, la métaphase, l'anaphase et la télophase). Elle donne naissance à deux cellules filles identiques et semblables à la cellule mère (même nombre de chromosomes et même information génétique). On dit que la mitose est **une reproduction asexuée conforme**.

Toutes les cellules d'un organisme, proviennent de la multiplication d'une cellule œuf par mitose, donc elles sont toutes semblables génétiquement et possèdent le même nombre de chromosomes.

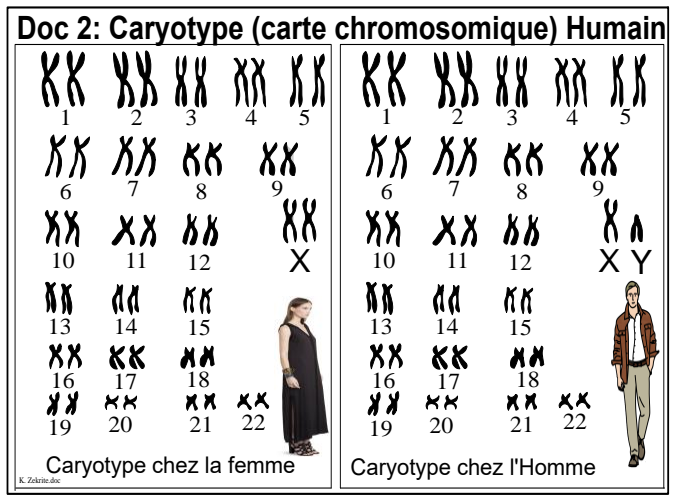
Génétique

La mitose maintient le nombre de chromosomes constant ainsi que l'information génétique.

- Les chromosomes sont-ils le support de l'information génétique ?

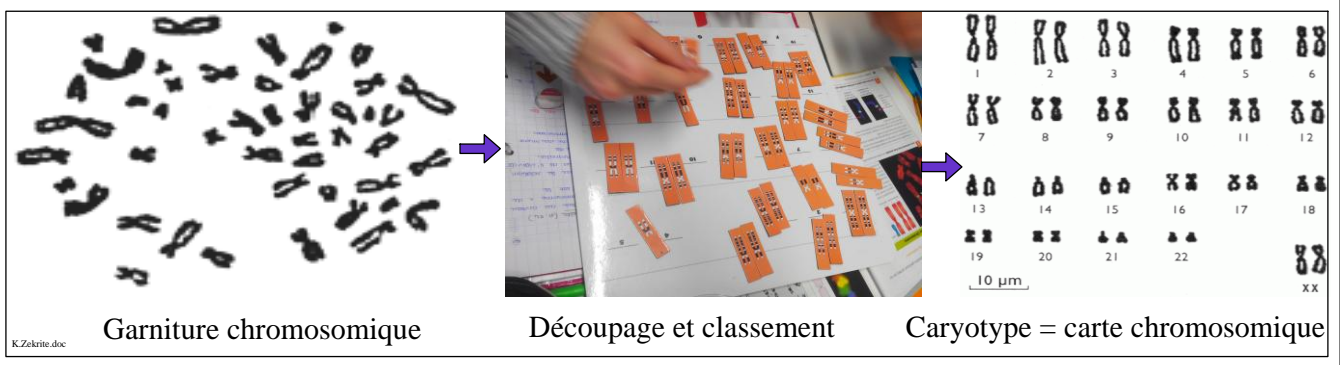
Doc 1 : La formule chromosomique chez quelques animaux et végétaux

Organismes diploïdes			
Animaux		Végétaux	
Homme	2n=46	Pomme de terre	2n=48
Chimpanzé	2n=48	Haricot	2n=22
Souris	2n=40	Pois	2n=14
Cheval	2n=64	Tomate	2n=24
Drosophile	2n=8	Blé	2n=42
Organismes haploïdes			
Animaux		Végétaux	
Faux bourdon	n=16	Neurospora	n=7
Lankesteria	n=6	Penicillium	n=4



Doc 3 : La technique de réalisation d'un caryotype :

- Culture des globules blancs ou toute cellule capable de se diviser en culture.
- Ajouter la colchicine au milieu de culture, pour bloquer les divisions en métaphase.
- placer les cellules dans un milieu hypotonique (de concentration plus petite que celle des cellule) pour les faire éclater, les chromosomes métaphasiques se dispersent.
- Coloration des chromosomes.
- Prise d'une photographie des chromosomes, la photo obtenue est une garniture chromosomique : ensemble des chromosomes de la cellule mais non classés.
- On découpe les contours des chromosomes et on les classe selon leur taille, selon la position du centromère et les bandes colorées. Si la cellule est diploïde on regroupe les chromosomes par paires. On peut faire ce travail grâce à un ordinateur.



- 1 **Décrire** les données du doc 1, **montrer** la différence entre les organismes diploïdes et les organismes haploïdes.
- 2 **Donner** une définition du caryotype, **comparer** le caryotype de l'homme et le caryotype de la femme, écrire la formule chromosomique de chacun des deux sexes Humain (doc 2).
- 3 En conclusion et en utilisant les doc 1 et 2, **justifier** que les chromosomes sont le support de l'information génétique.

Réponses

- ① - Le nombre de chromosomes présents dans chaque cellule constitue la formule chromosomique. La formule chromosomique varie d'une espèce à une autre, c'est une caractéristique de l'espèce.
- Il existe des espèces dites haploïdes et des espèces diploïdes.
 - Un individu diploïde ($2n$ chromosomes) possède deux exemplaires homologues de chaque chromosome.
 - Chez un individu haploïde (n chromosomes) chaque chromosome est représenté par un seul exemplaire.
- ② * Le caryotype ou carte chromosomique, est une représentation ordonnée de tous les chromosomes d'une cellule.
- * Comparaison du caryotype de la femme et celui de l'homme :
- La formule chromosomique est la même chez l'homme et chez la femme, elle est diploïde formé de 23 paires de chromosomes homologues ($2n=46$).
 - Les 22 premières paires de chromosomes sont identiques chez les deux sexes, ce sont **les autosomes (A)**.
 - La paire n°23, fait la différence entre le caryotype de la femme et celui de l'homme, on les appelle **chromosomes sexuels ou gonosomes**. Chez la femme cette paire est constituée de deux chromosomes longs symbolisés par X, chez l'homme, cette paire comporte un chromosome long X et un chromosome court Y.
- * On peut écrire La formule chromosomique développée des deux sexes comme suit :

	Formule chromosomique
La femme	$2n = 46 = 44 A + XX = 22 AA + XX$
L'homme	$2n = 46 = 44 A + XY = 22 AA + XY$

Bilan de l'activité 3

- Chaque espèce animale ou végétale se caractérise par un nombre spécifique de chromosomes, en revanche, chaque espèce possède des caractères qui la distingue des autres espèces.
- Le caryotype de l'homme diffère du caryotype de la femme par une seule paire de chromosomes, parallèlement des différences de caractères héréditaires permettent de distinguer le sexe masculin du féminin.
- Ces constatations confirment que **les chromosomes sont le support de l'information génétique**. Leur constance des cellules mère aux cellules filles pendant la mitose permet un transfert conforme de l'information génétique.

Les chromosomes sont le support de l'information génétique.

- Quelle est la composition chimique des chromosomes ?
- Quelle est la nature chimique de l'information génétique ?

I/ Constituants et structure des chromosomes

Doc 1: Composition chimique de la chromatine et du chromosome

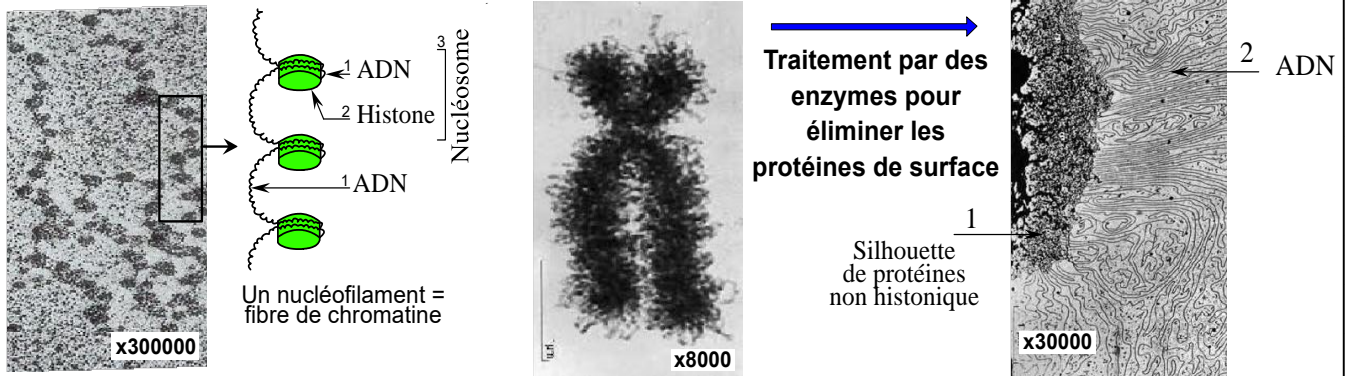


Fig (a) Electronographie de la chromatine en interphase, après un traitement qui la décondense

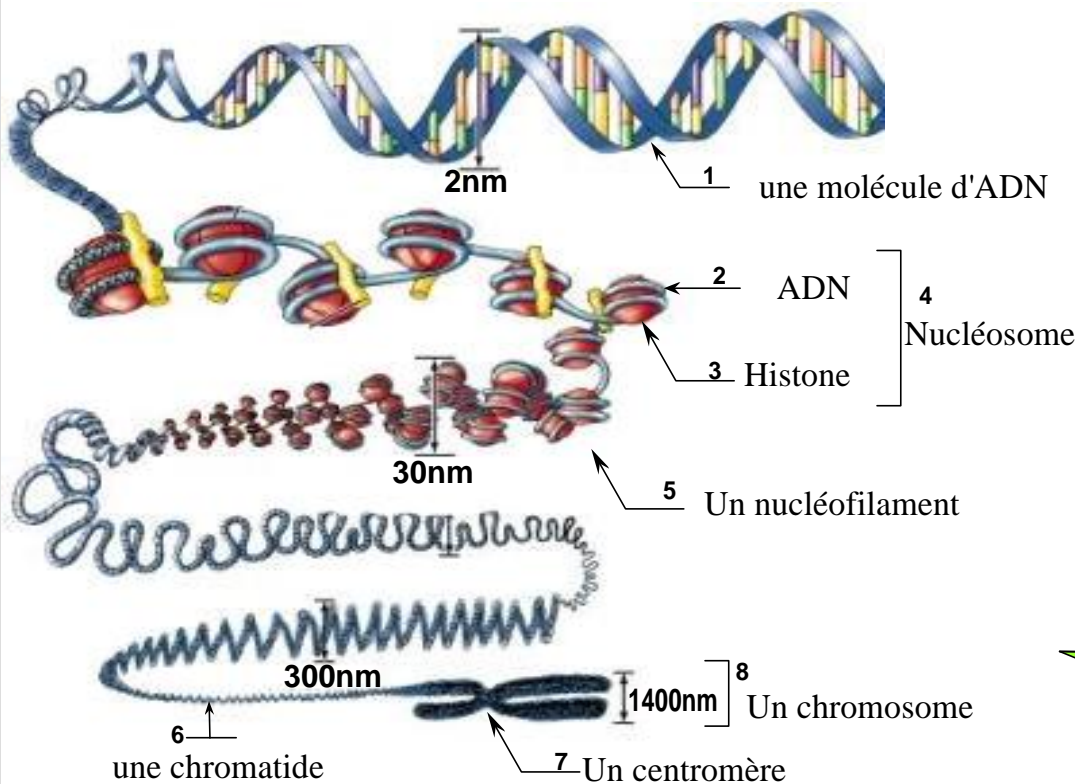
Un chromosome métaphasique

Un bras du chromosome métaphasique débarrassé de ses histones

Fig (b): composition du chromosome métaphasique

ADN: Acide désoxyribonucléique, molécule chimique complexe (voir plus loin la structure).

Doc 2: De l'ADN au chromosome



Une molécule d'ADN interphasique de 8cm de long et 2nm de diamètre passera à 7µm de longueur pour 0,7µm de diamètre.

- 1 Décrire les données du doc 1 et dégager la composition du chromosome et de la chromatine ?
- 2 En exploitant le doc 2, décrire comment l'ADN donne un chromosome en relation avec les phases du cycle cellulaire.
- 3 Proposer une (des) hypothèse (s) à propos de la nature chimique de l'information génétique.

Réponse

① Composition chimique de la chromatine et du chromosome :

- Au cours de l'interphase la chromatine apparaît constituée d'un ensemble de **nucléofilaments** (fibres de chromatine) enchevêtrés.
- Chaque nucléofilament est formé d'une molécule **d'ADN**, qui s'enroule autour de protéines appelées **histones**, ce qui donne au nucléofilament l'aspect d'un collier de perle قلادة لؤلؤ
- Le chromosome métaphasique est constitué de deux chromatides, chaque chromatide est formé d'une molécule d'ADN. Le chromosome métaphasique contient donc deux molécules d'ADN.

② De l'ADN à la chromatine et au chromosome

- La molécule d'ADN s'enroule autour des histones et donne un nucléofilament.
- Les nucléofilaments peu condensés au cours de l'interphase constituent la chromatine.
- Au cours de la prophase et de la métaphase, le nucléofilament dupliqué (constitué de deux nucléofilaments accolés par le centromère), se spiralise fortement et s'organise sous forme de chromosome : bâtonnet court épais, visible au microscope optique et surtout facilement transportable.
- Vers la fin de la mitose, chaque nucléofilament **se dés spiralise**, devient long et fin, non visible au microscope optique. L'ensemble des nucléofilaments s'enchevêtrent et reconstituent la chromatine.

③ Le chromosome et la chromatine ont une constitution identique : **l'acide désoxyribonucléique (ADN)** associé à des protéines (histones). Deux hypothèses s'imposent concernant la nature chimique de l'information génétique :

- **Hypothèse 1** : l'information génétique est de nature protéique.

- **Hypothèse 2** : l'information génétique est contenue dans les molécules d'ADN.

Une chromatide : est un nucléofilament (ADN + histone) associée à des protéines non-histones. Une chromatide a la forme d'un bâtonnet qui peut avoir différents degrés de condensation suivant les moments du cycle cellulaire.

Un chromosome : peut être constitué d'une ou de deux chromatides selon la phase du cycle cellulaire.

II/ Mise en évidence de la nature chimique de l'information génétique :

Doc 1 : Les expérience du biologiste Anglais Griffith (1928)

Les pneumocoques sont des bactéries responsables de la Pneumonie التهاب الرئة.

Les pneumocoques S possèdent une capsule qui les protègent contre le système immunitaire de l'organisme qu'ils parasitent, de ce fait Ils sont pathogènes ممرضة.

Les pneumocoques non virulents (R) sont dépourvus de capsules.

Griffith, a inoculé (injecté) des souris saines par ces Souches de bactéries selon les conditions expérimentales décrite dans la figure (b)

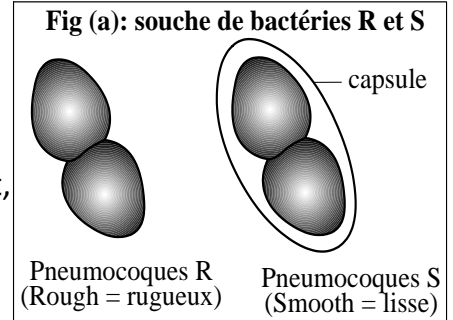
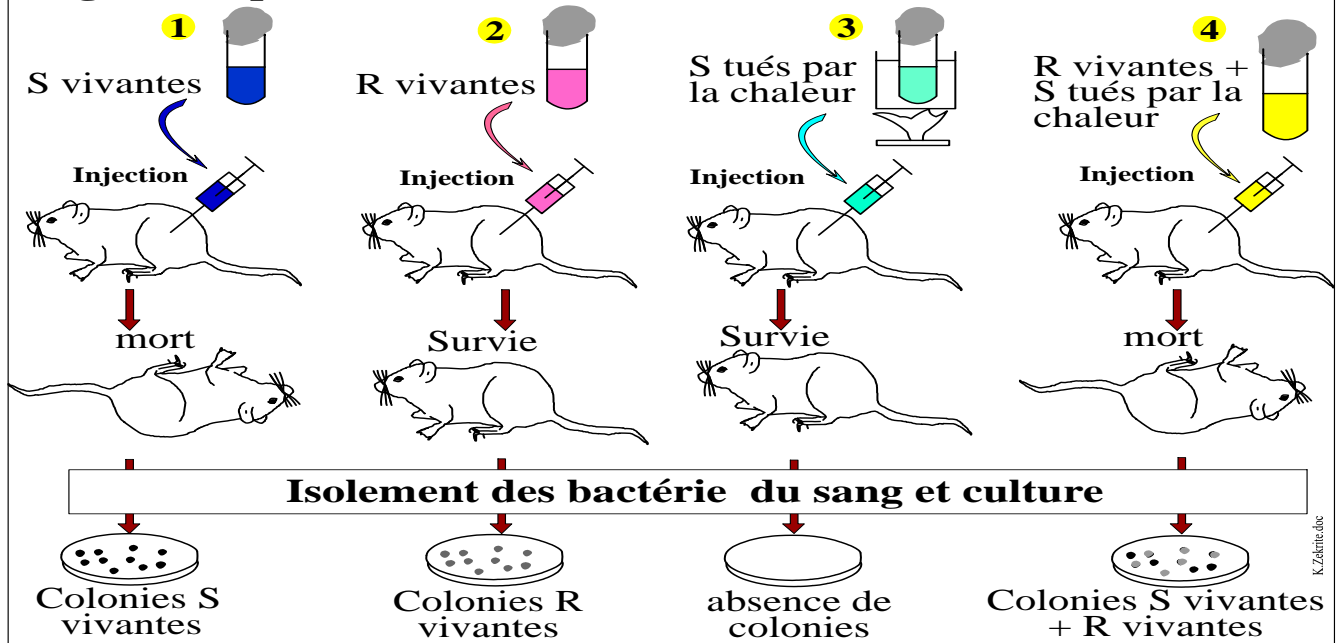


Fig (b): Expérience de Griffith



Une colonie de bactéries est un ensemble de cellules provenant de la multiplication de la même cellule mère, et par suite génétiquement identiques et rassemblés dans un même lieu

❶ **Décrire** les résultats de l'expérience de Griffith (doc 1). **Proposer** une hypothèse qui explique l'apparition des bactéries S dans la 4^{ème} expérience.

Doc 2 : Expérience d'Avery : En 1944, trois chercheurs ; O.Avery, C.MacLeod et M.MacCarty ont repris l'expérience de Griffith en utilisant des bactéries S mortes broyées et traitées avec des enzymes digestives, avant de les mélanger aux bactéries R vivantes. La figure (a) résume cette expérience. La figure (b) interprète le mécanisme de la transformation bactérienne.

fig (a) : Expérience de O Avery, C. MacCeod et M. MacCarty

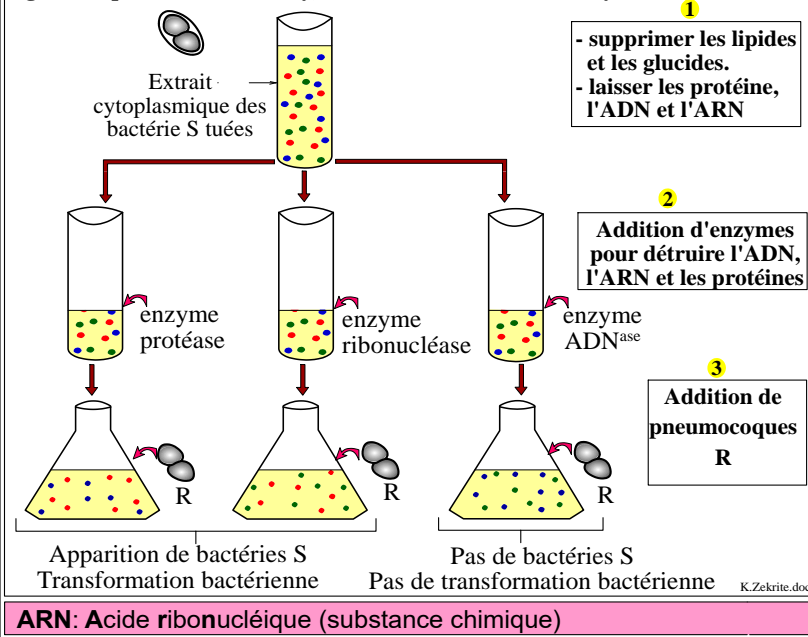
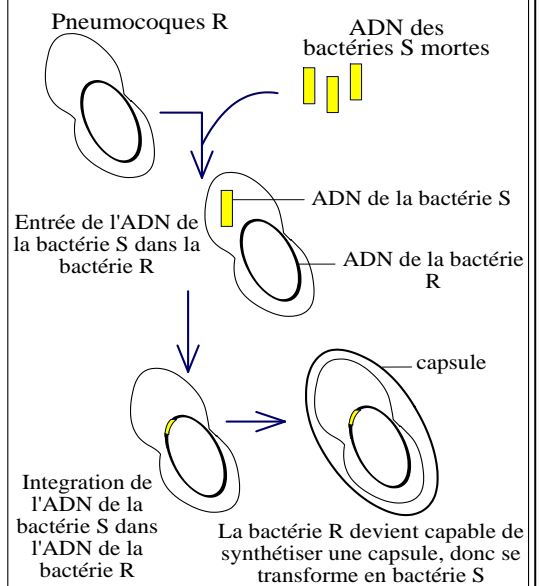


Fig (b) : Mécanisme de la transformation bactérienne



② En utilisant les données du doc 2, **vérifier** votre hypothèse concernant la nature chimique de l'information génétique et

Réponses

① Description des expériences de Griffith :

Expérience 1 : Une souris injectée par des bactéries vivantes S contracte la maladie et meurt.

Expérience 2 et 3 : Une souris injectée soit avec des bactéries R vivantes ou avec des bactéries S tuées par la chaleur (capsule détruite) restent en survie. Donc le facteur pathogène des pneumocoques réside dans la possession de la capsule.

Expérience 4 : la souris injectée par un mélange de bactéries R vivantes et de bactéries S tuées par la chaleur meurt à cause de l'apparition de bactéries S vivantes dans son corps même si les pneumocoques injectés avaient été tués par la chaleur.

On explique ce résultat comme suit :

Les bactéries R vivantes, mélangées par des débris des bactéries S mortes, se transforment en bactéries S. Les bactéries S mortes, transmettent dans les bactéries R un facteur qui transforme ces derniers en bactéries S. Les bactéries S ainsi formées se multiplient en donnant d'autres bactéries S, l'information se transmet donc de façon héréditaire.

A l'époque, le facteur responsable de cette modification a été appelé « **principe actif** » ou principe transformant.

❖ Fig « a » doc 2 : Les pneumocoques R se transforment en bactéries S en présence d'ADN issu des bactéries S. Donc le principe transformant énoncé par Griffith est de nature chimique, il s'agit de molécules d'ADN.

❖ Fig « b » doc 2 : Les pneumocoque R absorbent des fragments d'ADN des bactéries S, ils les intègrent dans leur propre ADN, ainsi la bactérie R devient capable de produire une capsule, elle se transforme alors en pneumocoque S pathogène.

Conclusion : L'ADN a un pouvoir transformant des caractères héréditaires, cette molécule est donc le support de l'information génétique.

Bilan de l'activité 4 II

La nature chimique de l'information génétique chez les êtres vivants est chimique, il s'agit de **la molécule d'acide désoxyribonucléique : ADN**, composante essentielle des chromosomes.

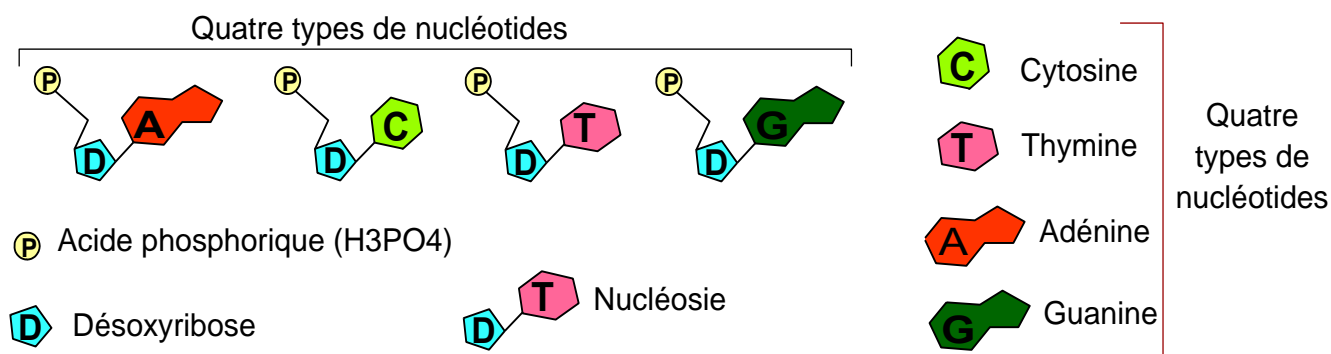
Remarque : Chez certains virus, comme le VIH, agent du sida, le matériel génétique est contenu dans la molécule d'ARN : L'acide ribonucléique.

III/ Structure de la molécule d'ADN :

Doc 1 : Composition chimique de l'ADN : Travaux de Chargaff (1950)

L'hydrolyse et l'analyse chimique révèlent que la molécule d'ADN est un polymère constitué d'unités appelées nucléotides. Chaque nucléotide est constitué par l'assemblage d'un sucre qui est le désoxyribose, d'un groupement phosphate et d'une base azotée. Il existe quatre types de nucléotides, différenciés par quatre types de bases azotées : l'adénine (A), la thymine (T), la cytosine (C) et la guanine (G).

Fig (a) : Les différents constituants de la molécule d'ADN



Source d'ADN ▼	Adénine	Guanine	Cytosine	Thymine
Homme	30,9	19,9	19,8	29,4
Poule	28,8	20,5	21,5	29,3
Blé	27,3	22,7	22,8	27,1
Levure	31,3	18,7	17,1	32,9
Bactérie : E coli	24,7	26,0	25,7	23,6
Virus : Bactériophage T3	32,7	16,8	17,5	33,0

Figure (b) : Composition en bases de l'ADN de différents espèces en (%)

Comparer la proportion des bases azotées dans la molécule d'ADN chez chaque être vivant (Fig b du doc 1). **Déterminer** le rapport A/T et G/C. Que peut-on **déduire** ?

Réponse :

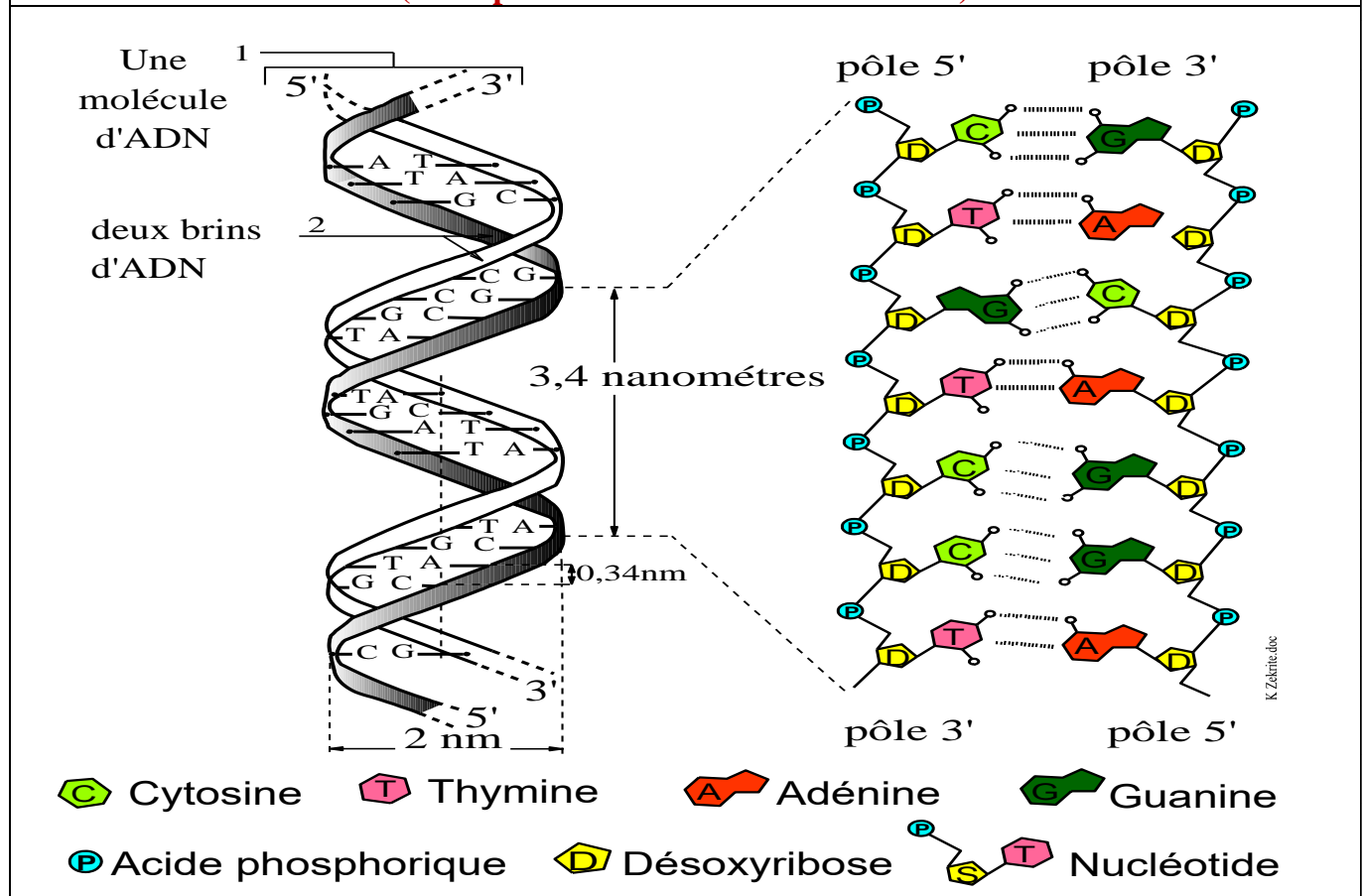
❶ Le doc (1 b) montre que :

- La proportion des différentes bases est variable d'une espèce à l'autre. Chaque organisme possède donc sa propre composition d'ADN (diversité de la molécule d'ADN).
- Pour chaque espèce, il y a toujours autant d'adénine (A) que de thymine (T) et autant de cytosine (C) que de guanine (G). Les rapports A/T et G/C sont quasiment égaux et proches de 1.

$$\frac{A}{T} = \frac{C}{G} = \frac{A+C}{T+G} = 1$$

Cette égalité laisse supposer *qu'il y'a une association obligatoire entre (A et T) et entre (G et C) au sein de la molécule d'ADN.*

Doc 2 : Aspect de la double hélice de la molécule d'ADN (conception de Watson et Crick : 1953)



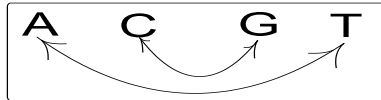
❷ En utilisant le doc 2, **Décrire** la structure de la molécule d'ADN.

❸ **Comment** cette structure permet-elle à l'ADN de contenir des informations ?

Réponses

② Description de la structure d'ADN :

- L'acide désoxyribonucléique (ADN) est une macromolécule hélicoïdale formée de deux brins associés : **double hélice = bicaténaire**
- Chaque brin d'ADN est formé par l'enchaînement de nombreux **nucléotides** : polymère pluri-nucléotidique.
- Chaque nucléotide est constitué de 3 éléments : un **acide phosphorique**, un **désoxyribose** et une **base azotée**.
- Chaque nucléotide se distingue de l'autre par la base azotée qu'il renferme : **l'adénine (A)**, **la guanine (G)**, **la cytosine (C)** et **la thymine (T)**.
- Des liaisons hydrogènes entre les bases complémentaires assurent la structure double hélice : l'adénine se lie à la thymine par deux liaisons hydrogènes, la cytosine se lie à la guanine par trois liaisons hydrogènes.



- Les deux brins d'ADN sont complémentaires de **polarité antagoniste** (l'un $3' \rightarrow 5'$ et l'autre $5' \rightarrow 3'$).

Remarque 1 : Les 5 atomes de carbone du désoxyribose sont par convention, notés : C1', C2', C3', C4', C5'. Sur chaque brin d'ADN, à une extrémité, le C3' a une fonction OH libre, alors qu'à l'autre extrémité, c'est le C5' qui a cette fonction libre. Ainsi le brin a une polarité suivant la direction $3' \rightarrow 5'$. D'autre part les deux brins qui s'assemblent sont de polarité opposée : $3' \rightarrow 5'$ associé à $5' \rightarrow 3'$

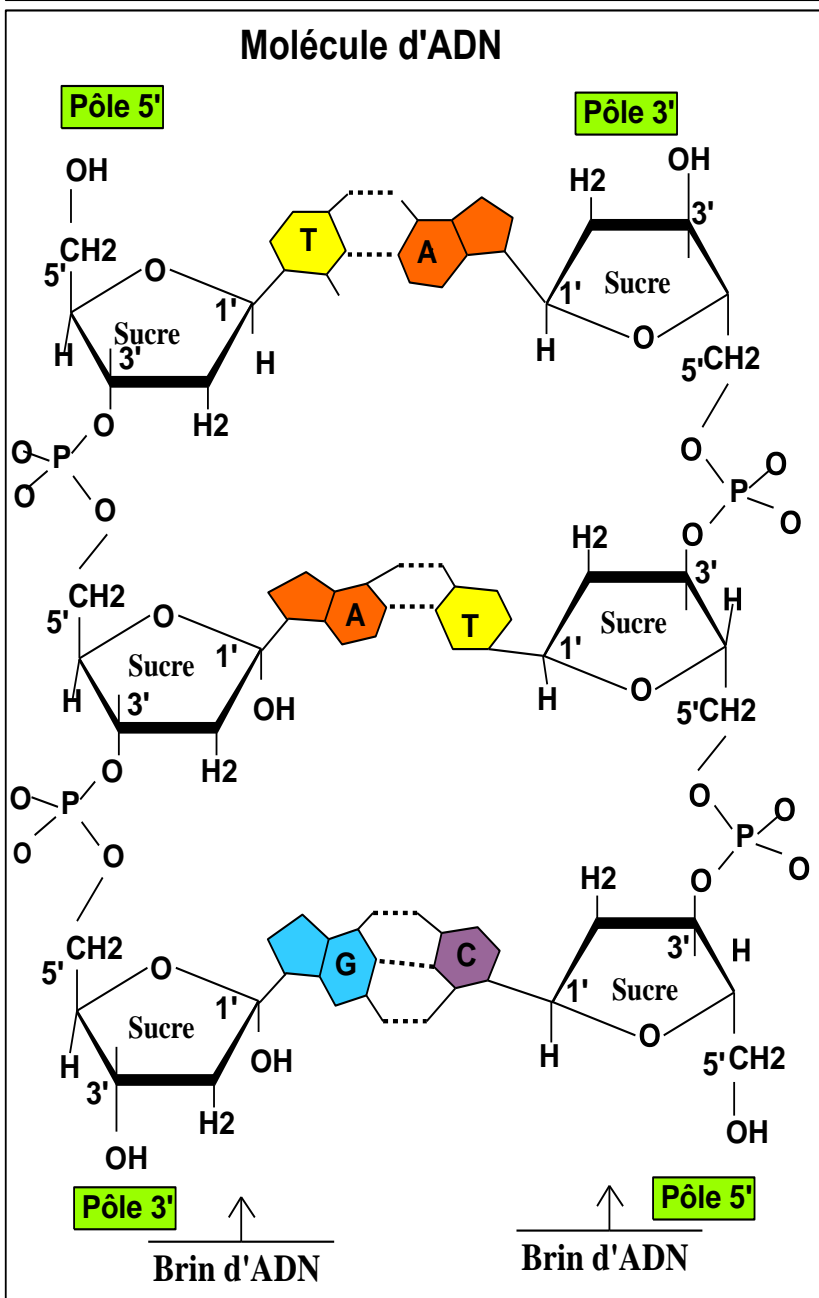
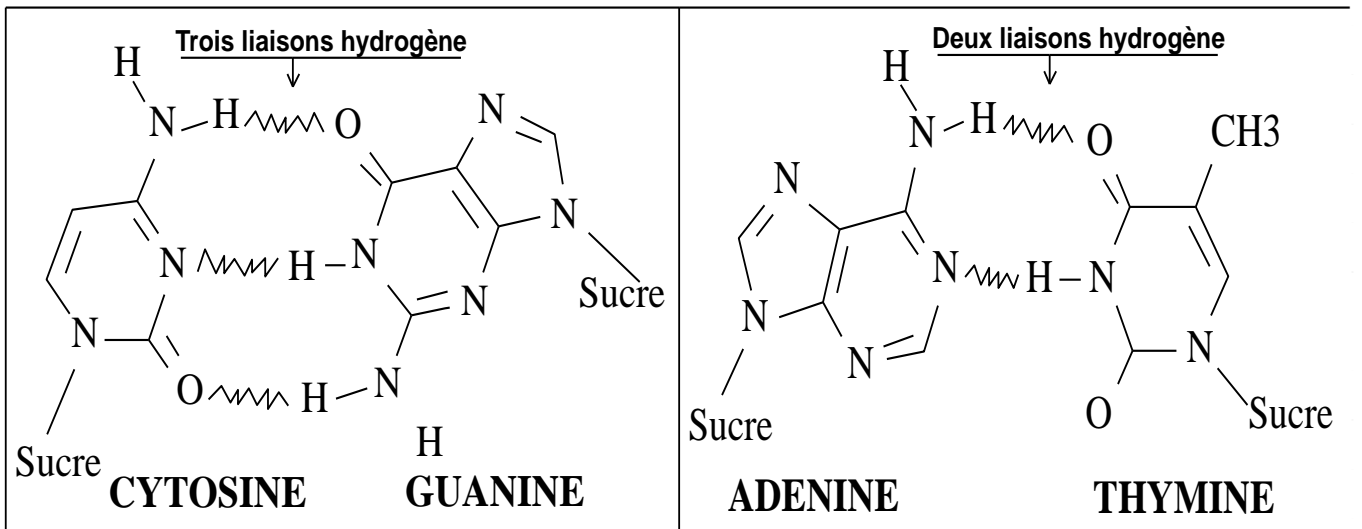
Remarque 2 : Chez quelque virus à ADN, la molécule d'ADN contient un seul brin : **monocaténaire**.

- ③ L'information génétique réside dans **le nombre et l'ordre (succession) des nucléotides**. La molécule d'ADN peut être décrite comme un message écrit dans un code à 4 lettres (A, T, C et G).

Bilan de l'activité 4

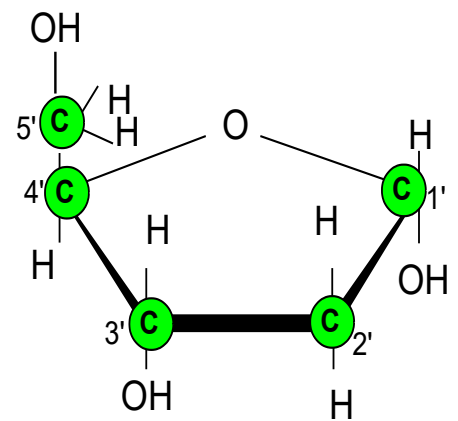
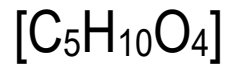
L'information génétique chez les êtres vivants, est contenue dans des séquences de nucléotides : constituants essentiels de la molécule d'ADN.

STRUCTURE D'ADN



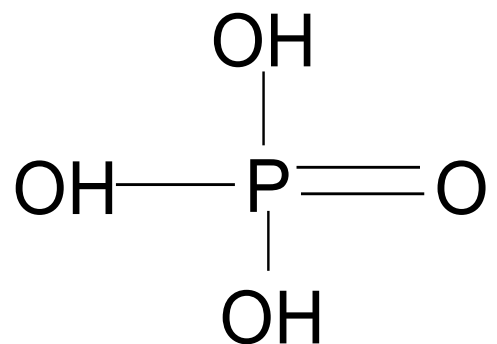
سكر الريد بوز ناقص الأوك سجين

DESOXYRIBOSE



الحمض ال فوسفوري

Acide phosphorique



La réplication de l'ADN

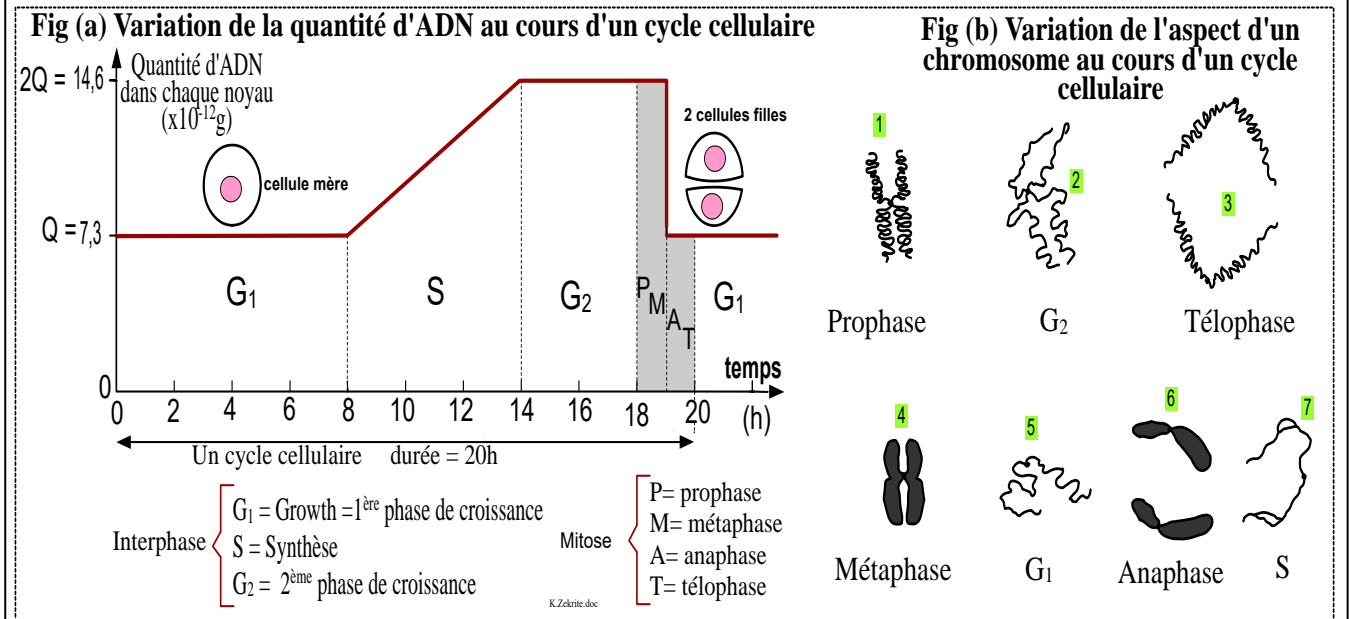
Pendant l'interphase, chaque chromosome se dédouble, et puisque l'ADN est le constituant essentiel de ces chromosomes, il doit y avoir duplication de cette molécule.

- Quel est le mécanisme de duplication de l'ADN ?

I/ Mise en évidence de la réplication d'ADN :

Doc 1 : Evolution de la quantité d'ADN au cours d'un cycle cellulaire.

Une mesure régulière de la quantité d'ADN dans une cellule Humaine a permis d'obtenir les résultats représentés sur le graphe suivant :



❶ **Doc 1 : Annoter** le graphique de la fig (a), **adresser** à chaque aspect du chromosome représenté sur la fig (b) la phase correspondante de la fig (a).

❷ **Doc 1 : Décrire et expliquer** la variation de la quantité d'ADN au cours d'un cycle cellulaire. **déduire** les deux phénomènes assurant la stabilité de la quantité d'ADN d'une cellule mère aux cellules filles

Réponses

❶ voir doc 1

❷ **Description et explication de la variation de la quantité d'ADN :**

La quantité d'ADN, comme l'aspect du chromosome, subie des variations cycliques au cours du cycle cellulaire :

⚙ Pendant l'interphase :

- phase G₁ : la quantité d'ADN est constante et égale à Q.
- phase S : la quantité d'ADN augmente progressivement et atteint le double (2Q), cette évolution est due à une duplication de l'ADN (réplication de l'ADN)
- phase G₂ : la quantité d'ADN est constante et égale à 2Q.

🌀 Pendant la mitose :

- Pendant la prophase et la métaphase, la quantité d'ADN reste constante et égale à $2Q$.
- Pendant l'anaphase : la quantité d'ADN diminue de moitié et revient à sa valeur initiale Q , cette diminution résulte de la migration polaire des chromatides.
- Au cours de la télophase la quantité d'ADN de chaque cellule fille reste stable et égale à Q . En fin de télophase se forme deux cellules filles portant la même quantité d'ADN de la cellule mère, chaque cellule entre en interphase et un nouveau cycle commence.

Explication : Les deux phénomènes qui assurent le maintien de la quantité d'ADN sont :

- La duplication d'ADN pendant la phase S de l'interphase, qui est la cause de la duplication du chromosome.
- La séparation des chromatides pendant l'anaphase de la mitose, qui engendre la diminution de la quantité d'ADN et son retour à la quantité initiale. Ainsi en fin de télophase, les deux cellules filles contiennent la même quantité d'ADN.

Bilan de l'activité 5- I

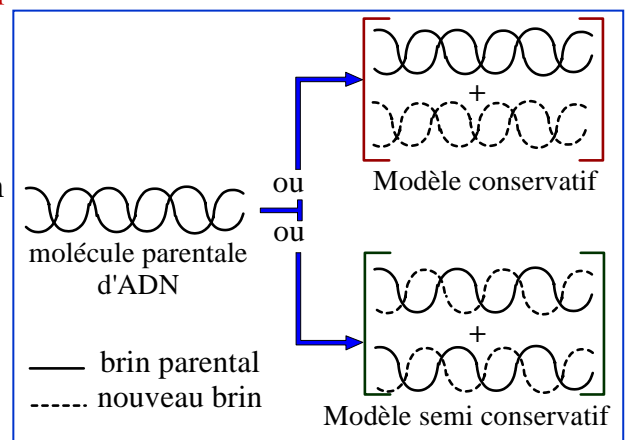
Pendant la phase S de l'interphase la cellule se prépare à la division, elle dédouble son information génétique, en effet, chaque molécule d'ADN se duplique, on parle de réplication d'ADN. (نسخ)

II/ Model de la réplication de l'ADN

Doc 2 : Différents modèles possibles pour la réplication d'ADN

Dès la découverte de la structure de l'ADN, deux hypothèses relatives au mécanisme de la réplication ont été émises.

- **Hypothèse 1** : réplication conservative : la molécule d'ADN parentale s'ouvre et chaque brin est calqué pour former 2 nouveaux brins qui s'associent pour former la nouvelle molécule.
- **Hypothèse 2** : réplication semi conservative : Chaque molécule d'ADN fille comporte un brin provenant de la molécule mère et un brin nouvellement synthétisé.



🕒 **Doc 2 : Mener une discussion** sur les deux modèles proposés pour la réplication d'ADN, **comment** peut-on prouver l'hypothèse juste parmi les deux ?

Réponses

🕒 La détermination du modèle juste parmi les deux, doit être justifiée par des résultats d'expérience : On peut réaliser la duplication d'ADN in vitro en un milieu nutritif contenant un élément radioactif qui entre dans la constitution d'ADN (base azotée, acide phosphorique, désoxyribose). La radioactivité permet de détecter les brins

nouvellement formés. Les bactéries sont constituées d'une seule molécule d'ADN, de ce fait ils constituent un matériel de choix.

Doc 3 : Expérience de Meselson et Stahl (1958)

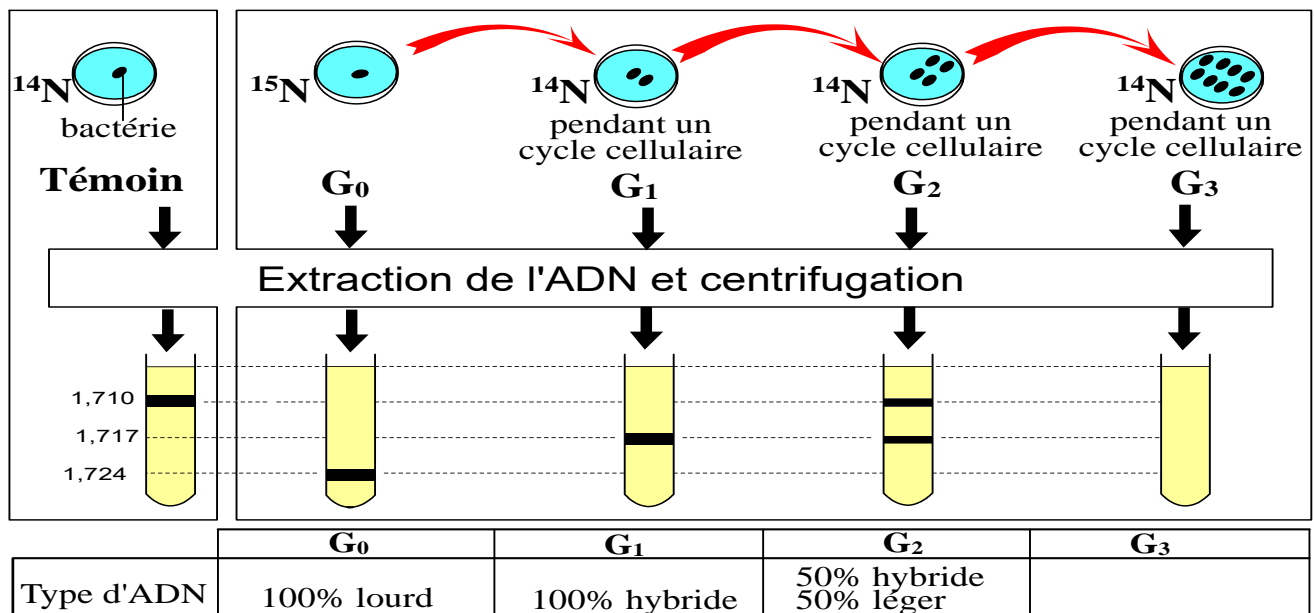
Meselson et Stahl ont cultivé des bactéries sur un milieu contenant l'azote lourd (^{15}N) durant plusieurs générations. L'azote est un des atomes entrant dans la constitution des bases azotées de l'ADN. Au bout d'un certain temps, l'ADN de ces bactéries est devenu lourd (densité= 1,724 au lieu de 1,710 qui est la densité normale) : il a donc incorporé l'azote lourd, cette génération est appelée G_0 .

Ces bactéries G_0 sont ensuite transférées sur un milieu ne contenant que l'azote léger (^{14}N) ou elles se multiplient toutes les 20mn (durée d'un cycle cellulaire) , après une division, G_0 donne G_1 .

G_1 donne une génération G_2 après une autre division.

G_2 , après une division donne une autre génération G_3 .

Meselson et Stahl collectent les échantillons des bactéries issues de chaque division les soumettent à une extraction d'ADN et à une centrifugation en gradient de densité. La figure suivante représente les résultats obtenus.



NB : La bactérie est un être unicellulaire. Elle contient une seule molécule d'ADN, circulaire, qui baigne dans le cytoplasme sans enveloppe nucléaire.

② **Décrire** les résultats de l'expérience de Meselson et Stahl. **Quel modèle** relatif à la réplication d'ADN cité au doc 2 à retenir ?

③ **Dresser un schéma** montrant le transfert d'une molécule d'ADN de G_0 en G_1 en G_2 (utiliser deux couleurs différentes pour l'ADN lourd et l'ADN léger).

④ **Déduire** les résultats (types et proportions d'ADN) prévus dans la génération G_3 .

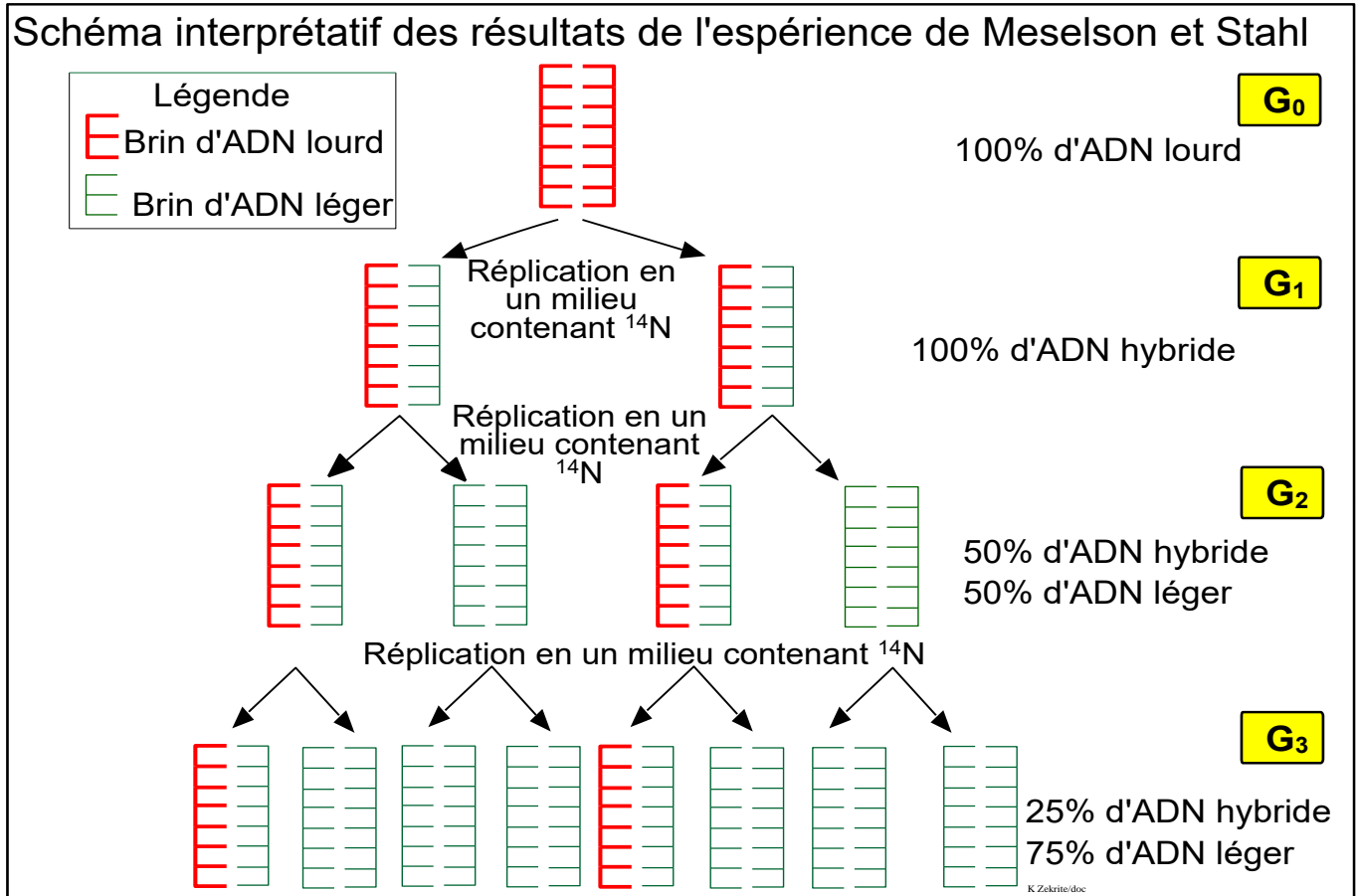
Réponses

② Détermination du modèle de réplication de l'ADN

- L'ADN hybride de la génération G_1 a une densité intermédiaire entre l'ADN lourd et l'ADN léger, ce résultat ne peut être expliqué qu'en considérant que l'un des deux brins est constitué de nucléotides dont l'azote des bases est lourd (^{15}N), alors que l'autre brin est constitué de nucléotides dont l'azote des bases azotées est léger (^{14}N). Ainsi le brin lourd provient obligatoirement des bactéries de la génération G_0 (parentale), alors que le brin léger provient des nucléotides du milieu de culture donc nouvellement formé. Ce résultat valide l'hypothèse **de la réplication semi conservative** : chaque molécule d'ADN fille contient un brin d'ADN parental et un brin nouvellement formé.

- Si la réplication se fait selon le modèle conservatif, on aurait obtenu en G_1 50% d'ADN lourd et 50% d'ADN léger or ce n'est pas le cas, donc cette hypothèse est à réfuter.

③ Schéma interprétatif des résultats de Meselson et Stahl :



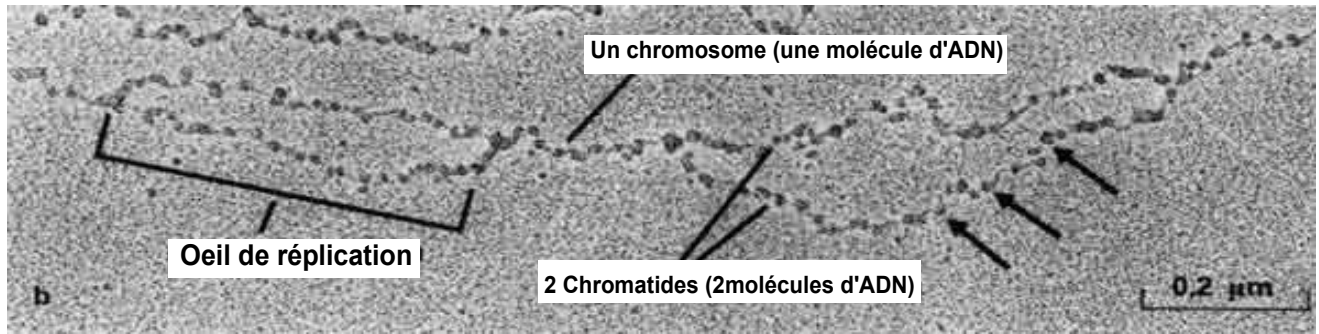
④ En appliquant le modèle semi conservatif de la réplication d'ADN, on obtient dans la génération G_3 : 75% d'ADN léger + 25% d'ADN hybride.

Bilan de l'activité 5 - II

La réplication d'ADN se déroule selon un modèle semi conservatif : Chaque molécule d'ADN fille conserve la moitié (un brin) de la molécule mère ; alors que l'autre moitié est élaboré en utilisant les nucléotides du milieu de vie.

III/ Mécanisme de la réplication de l'ADN

Doc 4: Chromatine observée au microscope électronique pendant la phase S



Doc 5: Réplication de l'ADN selon le modèle semi - conservatif

Fig (a)

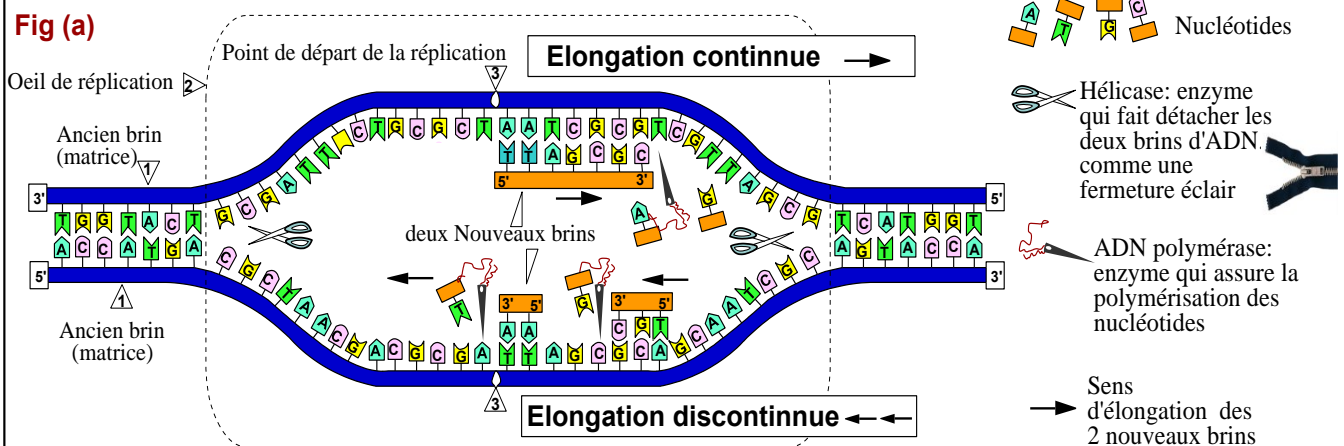
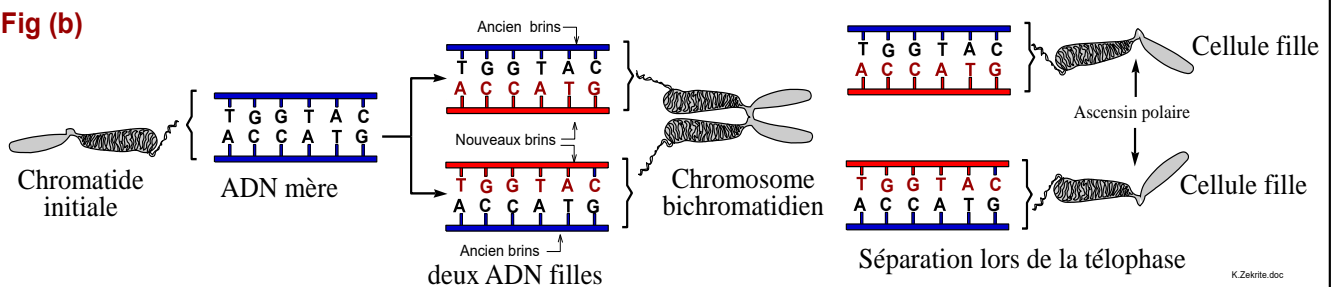


Fig (b)



- 1 **Quelle information** peut – on dégager du doc 1 concernant la réplication d'ADN ?
- 2 En se basant sur le doc 2, **décrire** les étapes de la réplication d'ADN.
- 3 En utilisant les données de la fig b du doc 2, **montrer** le rôle de la réplication de l'ADN et de la mitose dans la conservation de l'information génétique d'une cellule à une autre.

4 **Réaliser un schéma** bilan résumant les informations acquises dans ce chapitre (nature de l'information génétique)

Réponse

1 L'observation de la chromatine en microscopie électronique pendant la phase S de l'interphase, montre des zones où la molécule d'ADN est en deux exemplaires appelées « *yeux de réplication* ».

La réplication se produit à l'extrémité de chaque œil et progresse en sens inverse. Les différents yeux de réplication finissent par se rejoindre et la molécule d'ADN est ainsi dupliquée.

2 Au niveau d'un œil, la réplication se déroule suivant les étapes suivantes :

- Les deux brins de la molécule d'ADN parentale s'écartent par rupture des liaisons hydrogènes qui unissent les bases azotées, Cette ouverture est assurée par une enzyme appelée : **hélicase**.
- Les deux brins parentaux jouent le rôle de matrice (قالب), en effet, Les nucléotides libres fournis par les nutriments se positionnent en face de leurs bases complémentaires : (A devant T et inversement, C devant G et inversement). **L'ADN polymérase** assure la liaison (la polymérisation) de ces nucléotides entre eux pour former un nouveau brin d'ADN.
- L'ADN polymérase ne peut relier les nucléotides que dans le sens $5' \rightarrow 3'$, de ce fait :
 - + l'élongation du brin néo- formé se fait dans le sens $5' \rightarrow 3'$.
 - + Au niveau d'un nœud de réplication, la duplication s'effectue en même temps pour les deux brins, mais suivant deux sens contraires.
- A la fin de la réplication et en absence d'erreur, on obtient deux copies conforme d'ADN, semblables à la molécule mère. Chaque molécule fille est la réplique (نسخة) de la molécule mère (ce qui justifie la désignation : réplication d'ADN), elle est composée d'un brin ancien (parental) et d'un brin néo- synthétisé, c'est la réplication semi conservative.
- Les deux copies d'ADN restent accrochées l'une à l'autre au niveau de la zone qui formera le centromère du chromosome.

Remarque : L'élongation se fait de deux façons :

- élongation continue lorsque le brin matrice d'ADN est orienté de $3' \rightarrow 5'$
- élongation discontinue : lorsque le brin matrice d'ADN est orienté de $5' \rightarrow 3'$. Dans ce cas une enzyme (la ligase) assure les fragments d'ADN formés.

La réplication

Bilan du chapitre 1

L'ADN, constituant essentielle des chromosomes contenu dans le noyau des cellules, constitue le matériel génétique qui dirige les caractères héréditaires des cellules et des individus.

L'information génétique est conservée d'une cellule mère aux cellules filles au cours de la mitose grâce à deux phénomènes du cycle cellulaire :

- Pendant la période S de l'interphase s'effectue la réplication semi conservative de l'ADN, elle aboutit à la formation de deux molécules identiques, portant la même information génétique et constituant les chromatides du même chromosome.
- Pendant l'anaphase, s'effectue la séparation et la migration des deux chromatides de chaque chromosome vers les pôles opposés de la cellule. Ainsi on trouvera dans chaque pôle le même nombre de chromosome et la même quantité et types de molécules d'ADN.
- A la fin du cycle cellulaire, chaque cellule fille contient la même information génétique de la cellule mère : on parle de reproduction conforme **توالد مطابق للأصل**

Chapitre 2 : Expression de l'information génétique

L'ADN est Le support de l'information génétique, il est contenu dans le noyau et représente l'ensemble des instructions codées nécessaires à la manifestation de tous les caractères héréditaires.

↪ Qu'est-ce qu'un caractère héréditaire ?

→ **Activité 1**

↪ Quelle est la relation entre le matériel héréditaire et le caractère héréditaire ?

→ **Activité 2, 3, 4 et 5**

I/ Notion de caractère héréditaire

Doc 1 : Quelques exemples de caractères

La polydactylie se caractérise par la présence à la naissance d'un sixième doigt.



Le système ABO des groupes sanguins chez l'Homme présente 4 phénotypes différents.



Langue en U, capacité ou non d'enrouler la langue



Variation de la couleur des pétales chez la belle de nuit



L'exposition au soleil modifie la couleur de la peau: Bronzage



Les résultats du culturisme
كمال الأجسام

- ① Parmi les caractères cités dans ce document, **désigner par une croix** ceux qui sont héréditaires.
Définir : caractère héréditaire et caractère non héréditaire. **Donner** d'autres exemples de caractères.
 ② **Montrer** que chaque caractère se manifeste par deux ou plusieurs phénotypes.

Exploitation du doc 1

① Définitions

- Un caractère est une particularité externe ou interne, qualitative ou quantitative, morphologique ou physiologique (ou même comportementale) qui permet de caractériser un individu des individus de son espèce.
- Certains caractères sont héréditaires : se transmettent de génération en génération, ils sont donc programmés au niveau de l'ADN. Ex : Couleur des yeux, nombre de doigts de la main, groupes sanguins, couleur des pétales d'une fleur, forme du petit pois, quelques maladies ...
- D'autres caractères sont modifiés par l'environnement, ces modifications ne sont pas héréditaires : bronzage, musculature, blessure, la contamination par le sida ...

② La couleur des pétales par exemple chez la belle de nuit, existe sous divers caractères observables : rose, ou rouge ou blanc ou bien jaune. Chaque caractère observable est appelé **phénotype**.

Phénotype : *caractère observable d'un individu, Il s'exprime à l'échelle moléculaire (groupes sanguins), cellulaire (pneumocoques R et S) et macroscopique ou individuel (Couleur des pétales, forme de la langue...).*

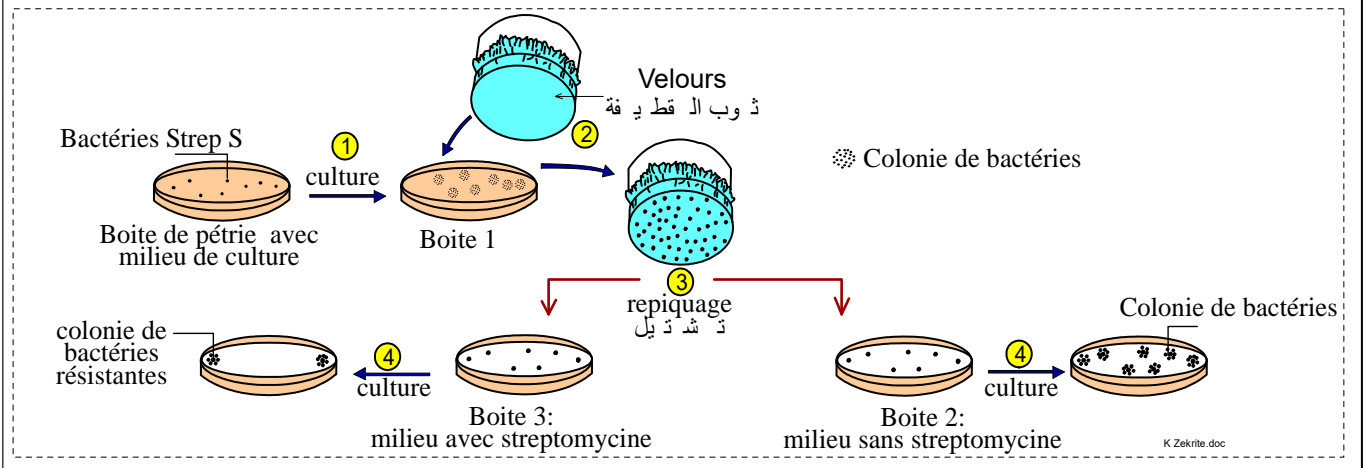
II/ Notion de mutation, Gène et allèle :

Doc 2 : Mise en évidence d'une mutation chez la bactérie *Escherichia coli*,

Des bactéries sensibles à un antibiotique : la streptomycine (désignées par « Strep S ») sont cultivées sur une boîte de pétrie contenant un milieu nutritif (boîte 1). Un morceau de velours est posé sur cette boîte afin que les clones y adhèrent. On fait le repiquage des colonies adhérentes au velours sur deux autres boîtes :

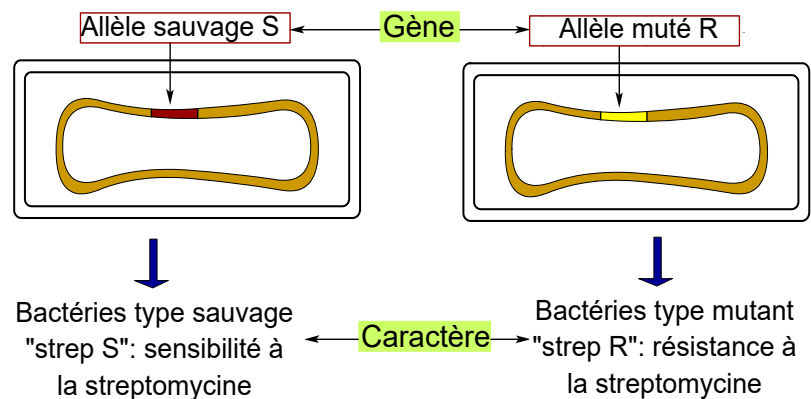
- Boîte 2 : milieu nutritif sans streptomycine.
- Boîte 3 : milieu nutritif avec streptomycine.

Les résultats de cette expérience sont illustrés dans la figure ci-dessous.

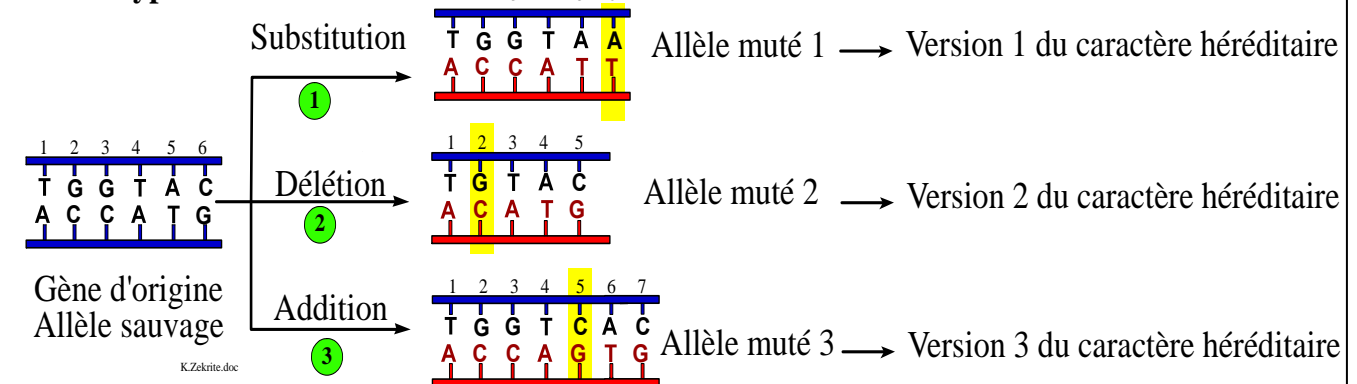


Doc 3 : Allèle sauvage et allèle muté

Le caractère de la sensibilité ou de résistance est gouverné par un morceau d'ADN appelé **gène**. Ce gène existe sous deux formes appelées **allèles** : un **allèle sauvage** qui gouverne la sensibilité à la streptomycine et qui existe chez les bactéries « strep S » et un **allèle muté** responsable de la résistance à la streptomycine et qui existe chez les bactéries « strep R ».



Doc 4 : Types de mutations :



❶ **Proposer** une explication aux résultats de l'expérience du doc 2.

❷ **Identifier** les types de mutations citées dans le doc 4.

❸ A partir de l'analyse des données du doc 3 et 4, **définir** les notions suivantes : gène, allèle et mutation. **Conclure** l'importance des mutations dans le polymorphisme des phénotypes.

① Explication des résultats de l'expérience du doc 1.

- Les bactéries qui se sont développées sur un milieu contenant la streptomycine sont devenues résistantes à cet antibiotique, on les désigne par « *Strep R* ».
- Puisque ce caractère n'existait pas chez les bactéries d'origine, on peut dire, alors qu'à un moment donné au cours de la multiplication des bactéries, une modification brusque s'est produite dans la transmission du caractère de sensibilité à la streptomycine. Cette modification se transmet aux descendants, elle est donc héréditaire et correspond à un changement au niveau de l'ADN.
- Ce changement brusque dans la transmission d'un caractère héréditaire est appelé **mutation**.
- Le caractère « *Strep S* » est un **caractère sauvage**, alors que le caractère « *strep R* » est un **caractère muté**.

② Voir le document

③ Définition des notions : gène, allèle et mutation.

☼ **Un gène** : est une portion de chromosome (donc d'ADN) qui gouverne un caractère héréditaire. L'emplacement de chaque gène sur un chromosome s'appelle **locus**, cet emplacement reste fixe chez les individus de la même espèce, exemple, chez l'Homme : le gène qui détermine le groupe rhésus est porté par le chromosome n° 1, le gène qui détermine le groupe sanguin (ABO) est porté par le chromosome n° 9 (voir la figure de la couverture). Sur un même chromosome on trouve plusieurs gènes, par exemple, chez l'Homme : le chromosome n° 1 contient 2281 gènes, le chromosome Y comporte 104 gènes.

L'ensemble des gènes d'un individu est appelé : **le génome**.

L'ensemble des gènes (allèles) concernant les caractères étudiés est appelé : **le génotype**.

☼ **Une mutation** : est une modification brusque de la séquence nucléotidique d'un gène (l'ADN), ce qui entraîne, la plupart du temps, un changement du caractère correspondant.

Une mutation est :

- Spontanée ou provoquée.
- Rare : une probabilité d'environ $1/10^8$.
- Réversible : (le caractère sauvage \leftrightarrow le caractère muté)
- Généralement les mutations sont indépendantes l'une de l'autre.

On peut citer trois types de mutations :

- **Mutation par substitution** : remplacement d'un ou de plusieurs nucléotides par un autre (d'autres).
- **Mutation par délétion** : perte d'un ou de plusieurs nucléotides.
- **Mutation par insertion** : addition d'un ou de plusieurs nucléotides.

☼ **Un allèle** : est une version d'un même gène occupant un même locus, qui peut varier d'un individu à l'autre. Au sein d'une même espèce, le génome d'un individu est différent de celui d'un autre individu, c'est le polymorphisme génétique. Ce polymorphisme est dû aux mutations. Exemple: l'un des gènes du chromosome 9 chez l'humain détermine le groupe sanguin, il peut exister sous trois versions différents: l'allèle A, l'allèle B et l'allèle O.

Bilan de l'activité 5-I

Le gène, portion d'ADN gouvernant un caractère, peut subir une ou plusieurs mutations qui conduisent à de nouvelles versions du gène, appelées allèles mutants. La présence au sein d'une espèce, d'individus présentant des phénotypes différents pour un même caractère héréditaire est dû au fait qu'un même gène présente plusieurs formes alléliques.

Relation gène protéine caractère

Un gène s'exprime par l'apparition d'un phénotype caractéristique d'un individu au sein de son espèce.

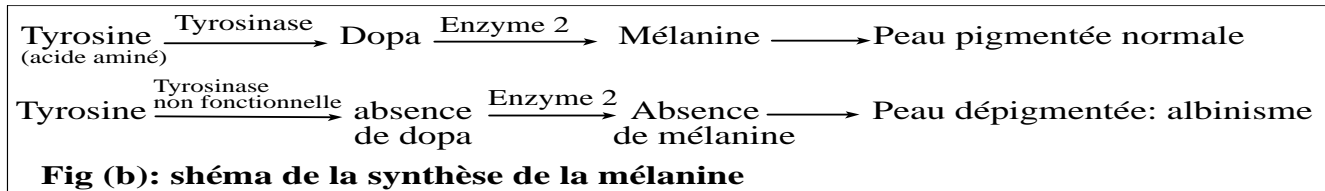
- Quel est le lien fonctionnel entre un gène et un caractère (phénotype)?

Doc 1 : La mélanine, une protéine responsable de la couleur de la peau chez l'Homme.

La couleur de la peau Humaine normale s'étend du blanc au marron foncé presque noir. Elle résulte principalement de la quantité d'un pigment de couleur foncée : **la mélanine**, produite par les mélanocytes cutanés. Plus la peau contient de la mélanine, plus elle est foncée (fig a). L'absence de la mélanine entraîne une dépigmentation de la peau et des cheveux, cette anomalie est appelée **albinisme**.

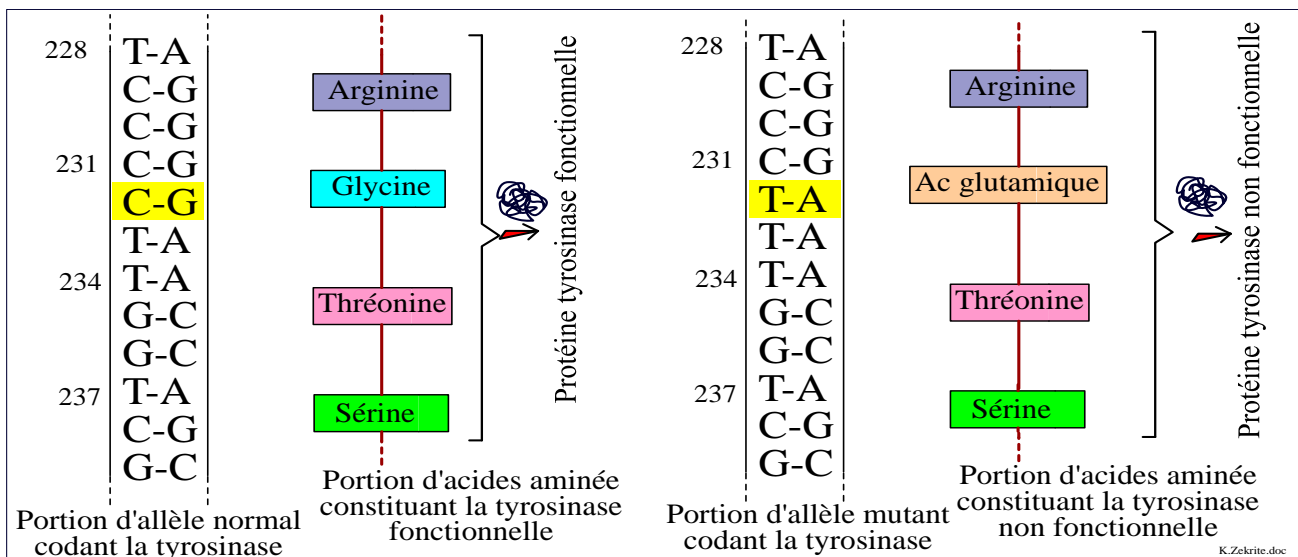


La mélanine protège les cellules de la peau des radiations ultraviolettes du soleil. Sa synthèse au niveau des mélanocytes de la peau se déroule en une série de réactions chimiques catalysée par une enzyme : la tyrosinase (fig b)



Doc 2 : L'origine génétique et moléculaire de l'albinisme

Le gène gouvernant la synthèse de la tyrosinase (enzyme nécessaire à la fabrication de la mélanine) a été isolés chez un individu à peau normale (pigmenté) et chez un individu albinos. La figure suivante représente un fragment de ce gène et la portion protéique (tyrosinase) correspondante.



Les protéines sont formées d'une ou de plusieurs chaînes polypeptidiques, chacune de ces chaînes est une séquence d'acides aminés. La propriété d'une protéine est déterminée par sa séquence en acides aminés, si la structure d'une protéine est modifiée, la protéine devient non fonctionnelle.

- ❶ A partir de l'**analyse** des données du doc 1 concernant le caractère : « couleur de la peau », **justifier** l'expression suivante : « l'aspect externe de l'organisme est en relation avec les protéines »
- ❷ En se basant sur les données du doc 2, et après **comparaison** des deux parties du gène (normale et muté) et des deux parties de la protéine tyrosinase (fonctionnelle et non fonctionnelle), **justifier** la relation gène protéine.
- ❸ A partir des données précédentes, **expliquer** le lien fonctionnel entre un gène et un caractère (phénotype).

Réponses

❶ Analyse des données du doc 1:

- L'enzyme tyrosinase inactive bloque la cascade des réactions chimiques aboutissant à la formation de la mélanine, ainsi les cellules de la peau deviennent dépigmentées, il y'a donc changement du caractère sauvage (peau pigmentée) par un caractère muté : l'albinisme.
- Donc tout changement de la protéine entraîne un changement du caractère.
- On déduit de cet exemple que chaque phénotype est le résultat de la fonction d'une protéine particulière.

❷ Comparaison des deux parties du gène de protéines tyrosinase et justification de la relation gène protéine.

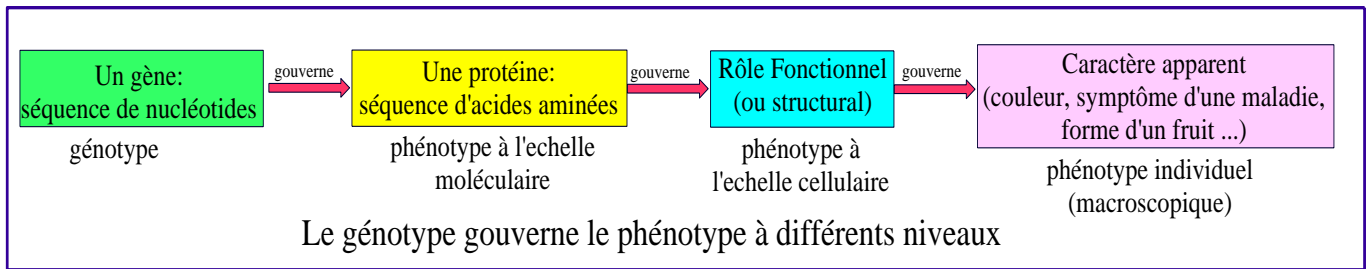
- Les deux portions du gène normal et du gène muté sont semblables sauf au niveau du nucléotide n° 232, il y'a substitution de T par C dans l'un des brins et substitution de G par A dans l'autre brin : mutation par substitution.
- Les deux portions de la protéine fonctionnelle et de la protéine non fonctionnelle sont semblables sauf pour un seul acide aminé : il y'a substitution de la glycine par l'acide glutamique.
- Donc chaque changement au niveau de la séquence nucléotidique du gène entraîne une variation de la séquence des acides aminés de la protéine correspondante. Ceci prouve qu'il y'a une relation gène → protéine :

❸ Explication du lien fonctionnel entre un gène et un phénotype.

Cette étude a permis de dégager les relations suivantes :

- Une relation gène → caractère: Un gène détermine un caractère observable (phénotype).
 - Une relation protéine → caractère: Une protéine donnée détermine un phénotype correspondant.
 - Une relation gène → protéine: Un gène gouverne la synthèse d'une protéine.
- On en déduit qu'il y'a une relation : gène → protéine → caractère.

Schéma Bilan de l'activité 2



Génotype : ensemble de gènes (d'allèles) des caractères héréditaires étudiés. Le génotype maîtrise le phénotype.

Expression de l'information génétique : L'ARNm intermédiaire entre les gènes et les protéines

Les gènes sont localisés dans le noyau, La molécule d'ADN ne peut pas traverser la membrane nucléaire, alors que la synthèse des protéines se fait dans le cytoplasme, ceci nécessite le transfert de l'information génétique du noyau vers le cytoplasme.

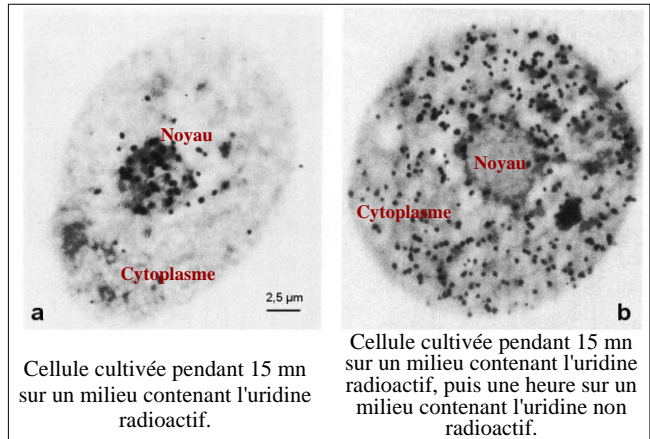
- Quel est l'intermédiaire entre le noyau et le cytoplasme et quelle est sa nature ?

Doc 1 : Mise en évidence d'un intermédiaire entre l'ADN et la synthèse des protéines : l'ARN.

Expérience 1 : Des cellules animales sont cultivées sur un milieu contenant de l'uridine radioactif pendant 15mn, puis transférés sur un milieu de culture non radioactif. La technique d'autoradiographie permet de suivre les niveaux d'intégration de la radioactivité (Fig « a » et « b »).

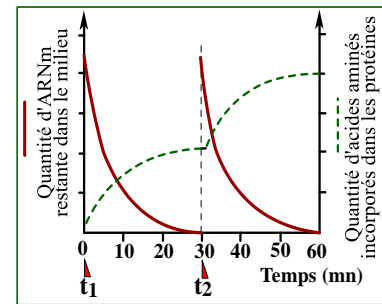
L'uridine est un nucléotide contenant une base azotée appelée l'uracile et qu'on rencontre seulement dans les molécules d'ARN.

Expérience 2 : Si on traite la cellule par une ribonucléase (enzyme qui dégrade l'ARN), la synthèse des protéines s'interrompte.



Doc 2 : Expérience de la synthèse des protéines in vitro.

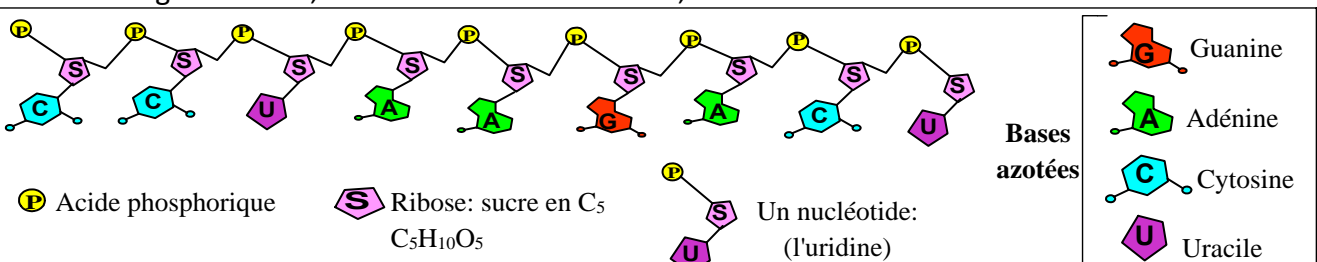
Un système de synthèse des protéines peut être réalisé in vitro à partir d'extraits bactériens. Le milieu utilisé contient tous les éléments cytoplasmiques bactériens, mais pas d'ADN. On ajoute au milieu de culture à deux prises (pendant t_1 et t_2) des acides aminés et des ARNm radioactifs. On évalue la quantité d'acides aminés incorporés dans les protéines et la quantité d'ARNm restante dans le milieu. Le graphique ci-contre résume les résultats obtenus.



Doc 3 : Structure de la molécule d'ARN : Acide ribonucléique.

La molécule d'ARN est plus courte que celle de l'ADN, et par conséquent, sa masse moléculaire est inférieure à celle de l'ADN. Sa durée de vie est courte, elle est rapidement dégradée juste après la synthèse de la protéine. Il existe trois types d'ARN dans la cellule :

ARN messenger : ARNm ; ARN de transfert : ARNt ; ARN ribosomal : ARNr.



Une portion de l'ARN messenger responsable de la synthèse de l'insuline

- 1 Décrire et expliquer les résultats de l'expérience 1 et 2 du document 1. Formuler une hypothèse à propos du rôle de l'ARN dans la synthèse des protéines.
- 2 En utilisant les résultats de l'expérience du doc 2, vérifier la validité de votre hypothèse.
- 3 Annoter le schéma du doc 3, Comparer sous forme d'un tableau la structure de l'ADN et de l'ARN, puis démontrer que la molécule d'ARN peut également porter une information.

Réponses

① Description des expériences du doc 1 et hypothèse :

- **Expérience 1** : Après 15 mn de culture dans un milieu contenant l'uridine radioactive, la radioactivité se localise dans le noyau. Après le transfert de ces mêmes cellules dans un milieu non radioactif, le cytoplasme devient radioactif.

Explication : l'uridine radioactive pénètre dans le noyau elle entre dans la synthèse de l'ARN, LARN synthétisé dans le noyau puis est transféré vers le cytoplasme.

- **Expérience 2** : puisque la synthèse des protéines s'arrête en absence d'ARN, on déduit que cette molécule participe dans la synthèse protéique.

- **Hypothèse** : En rassemblant les données des deux expériences ; on peut dire que les molécules d'ARN sont des substances intermédiaires entre le noyau (l'ADN) et la synthèse des protéines qui se fait dans le cytoplasme, Cet ARN sera désigné par **ARNm (messenger)**.

② Analyse des résultats de l'expérience du doc 2 et conclusion.

Après chaque ajout d'ARNm et d'acides aminés au milieu, on constate que la quantité d'acides aminés incorporés dans les protéines augmente et l'ARNm qui reste dans le milieu diminue. Lorsqu'il n'y'a plus d'ARNm dans le milieu, l'incorporation des acides aminés dans les protéines s'interrompt.

Conclusion : L'ARNm favorise la synthèse des protéines, ce qui est en accord avec l'hypothèse citée dans la réponse précédente, en effet l'ARNm assure l'incorporation des acides aminés pour former une protéine.

③ Comparaison de la molécule d'ADN et d'ARN

- La molécule d'ADN et la molécule d'ARN sont toutes les deux constituées d'une séquence de nucléotide, les différences entre les deux sont citées dans le tableau suivant :

	L'ADN	L'ARN
Le sucre	Désoxyribose : $C_5H_{10}O_4$	Ribose : $C_5H_{10}O_5$
Nombre de brins	Deux brins en double hélice Bicaténaire	Un seul brin Monocaténaire
Les bases azotées	A ; C ; G ; T	A ; C ; G ; U : U remplace T de l'ADN

- L'ARNm comme l'ADN est une succession de 4 nucléotides différents, le nombre l'agencement et les types de nucléotides dans un fragment donné d'ADN ou d'ARN, définissent des informations génétiques.

Bilan de l'activité 3

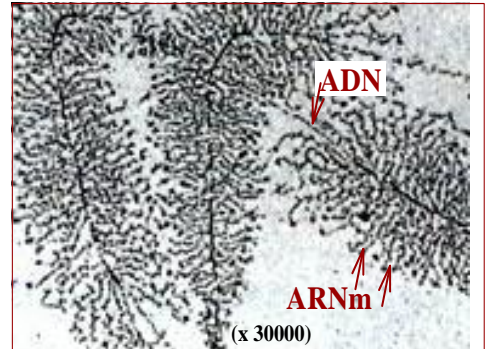
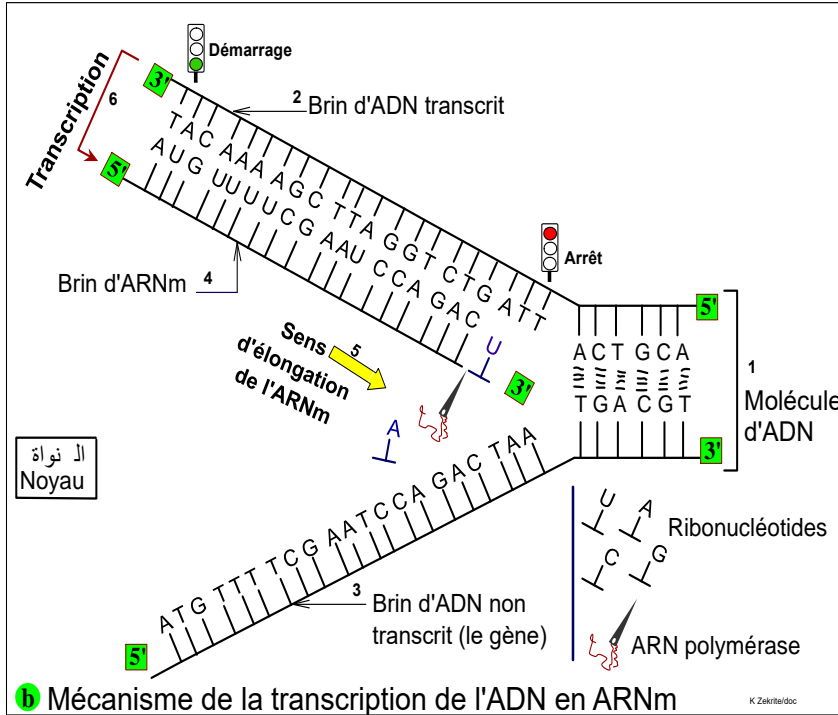
L'ARN messenger (ARNm) est un intermédiaire portant les informations génétiques de l'ADN au cytoplasme. Il est synthétisé dans le noyau au cours d'un processus appelé **transcription** et assure, au niveau du cytoplasme, l'assemblage des acides aminés pour donner une protéine par un processus appelé **Traduction = Lecture**.

Synthèse de l'ARNm : la transcription

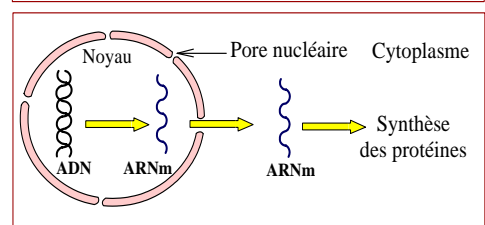
L'expression d'un gène commence par la synthèse de l'ARNm, élément intermédiaire entre l'ADN et la synthèse protéique.

- Comment l'ARNm est-il synthétisé ?

Doc 1 : Synthèse de l'ARNm à partir de l'ADN : La transcription الاستساخ



a Electronographie montrant des molécules d'ARNm en cours de synthèse



c Migration de l'ARNm du noyau vers le cytoplasme

- ❶ **Décrire** les étapes de la synthèse de l'ARNm à partir de l'ADN.
- ❷ **Evaluation** : déterminer la séquence d'ARNm correspondants aux deux brins d'ADN suivants :
 - a) Brin d'ADN transcrit : AAG TCG GCA
 - b) Brin d'ADN non transcrit : GGT TCC AAT

Réponses

La synthèse de l'ARNm se déroule dans le noyau de la cellule suivant les étapes suivantes :

- Séparation des deux brins d'ADN.
- Des nucléotides viennent s'apparier (تطابق) aux nucléotides du brin d'ADN transcrit.
- L'ARNm est synthétisé par polymérisation des nucléotides sous l'action de **l'ARN polymérase**: L'ARN polymérase permet l'établissement des liaisons chimiques entre les nucléotides.
- L'appariement des nucléotides respecte la complémentarité des bases azotées : la cytosine se place devant la guanine et inversement. L'adénine se place devant la thymine et l'uracile se place devant l'adénine.

- On appelle ce mécanisme de copiage : **la transcription**, le brin servant de modèle à l'ARNm est appelé **brin transcrit**.
- L'ARNm s'allonge dans **le sens 5' → 3'**, qui est le sens d'avancement de l'ARN polymérase. Cette enzyme se détache lorsqu'elle rencontre un code qui indique la fin du gène, ainsi la transcription prend fin.
- Le brin d'ARNm ainsi synthétisé est complémentaire du brin d'ADN non transcrit. L'information contenue dans l'ARNm est identique à celle du brin non transcrit, le nucléotide uracile (U) occupe dans l'ARNm la place du nucléotide thymine (T) de l'ADN.
- La transcription de l'ADN n'est pas totale ; elle est discontinue et produit des molécules d'ARNm plus courtes que celles d'ADN. Seules les séquences portant les gènes sont transcrites.
- Après sa transcription, l'ARNm formé, **quitte** le noyau vers le cytoplasme à travers les pores nucléaires pour jouer le rôle d'**intermédiaire** entre l'ADN et la synthèse des protéines.

② Evaluation : détermination de la séquence d'ARNm correspondants aux deux brins d'ADN :

a) Brin d'ADN transcrit : AAG TCG GCA
 Brin d'ARNm UUC AGC CGU

Notez bien: La molécule d'ARNm est une copie complémentaire du brin d'ADN transcrit : à la place de A on a U et à la place de T on a A, à la place de C on a G et vis versa.

b) Brin d'ADN non transcrit : GGT TCC AAT
 Brin d'ARNm GGU UCC AAU

Notez bien: La molécule d'ARNm est une copie conforme du brin d'ADN non transcrit sauf il y'a substitution de la base T par U

Bilan de l'activité 4

La transcription est le mécanisme par lequel l'ARNm est synthétisé dans le noyau. Cette synthèse se réalise à partir de l'un des deux brins d'ADN appelé brin transcrit, l'autre brin d'ADN non transcrit correspond au gène. La transcription est assurée par l'ARN polymérase. Elle donne naissance à une molécule d'ARNm monocaténaire qui sera l'intermédiaire transportant l'information génétique au cytoplasme pour la synthèse des protéines.

La traduction de l'ARNm en protéine

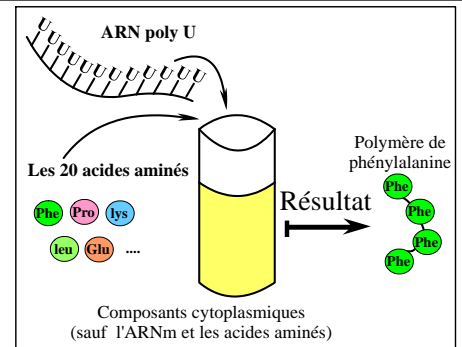
L'ARN et les protéines sont des molécules séquencées, mais ces séquences sont composées d'éléments différents.

- Quelle est la correspondance entre la séquence des nucléotides de l'ARNm et la séquence des acides aminés des protéines ?
- Comment se réalise la synthèse des protéines à partir des informations codées dans l'ARNm ?

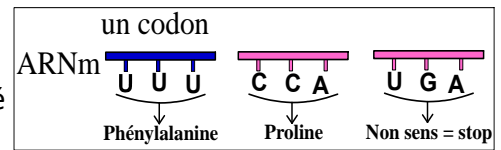
I/ La découverte du code génétique

Doc 1 : Travaux de Nirenberg et Matthaei (1961)

Ces chercheurs ajoutent à un milieu contenant des acides aminés (les 20 différents acides aminés existants) des ARN de synthèse. En utilisant un ARN de synthèse poly U, poly A, ou poly C, ils obtiennent respectivement un polymère de phénylalanine, de lysine ou de proline. La figure ci-contre représente le résultat obtenu avec l'uracile.



Doc 2 : L'ordre des nucléotides d'un gène détermine l'ordre des acides aminés d'une protéine, Cependant il existe 20 acides aminés différents alors que l'ARNm (et aussi l'ADN) est constitué de quatre types de nucléotides seulement. Il est impossible de désigner chaque acide aminé par un seul nucléotide (4 possibilité seulement), ou même par une association de deux nucléotides (16 possibilités). En revanche, on peut constituer 64 associations différentes formées de trois nucléotides. Des expériences ont permis de vérifier que c'est ce système de codage qui est utilisé par les cellules vivantes, On l'a désigné de code génétique.



1 **Que peut-on conclure** de l'expérience du doc 1 ?

2 Doc 2 : **Définir** le terme codon, code génétique.

3 **Analyser** les données du tableau du code génétique (doc 3).

4 **Exercice d'évaluation :** En utilisant le tableau du code génétique, déterminer la séquence d'acides aminés correspondante à la séquence de nucléotides suivante (brin transcrit):
GTC TCC CCT TGG TCG

Doc 3 : Tableau du code génétique

Après les premiers travaux de Nirenberg, d'autres expériences furent réalisées par différents laboratoires, de telle sorte qu'en 1966 le code génétique était entièrement décrypté : le tableau du code génétique.

		2 ^{ème} lettre				
		U	C	A	G	
1 ^{ère} lettre	U	UUU] phénylalanine UUC] UUA] leucine UUG]	UCU] sérine UCC] UCA] UCG]	UAU] tyrosine UAC] UAA] non sens UAG]	UGU] cysteine UGC] UGA] non sens UGG] tryptophane	U C A G
	C	CUU] leucine CUC] CUA] CUG]	CCU] proline CCC] CCA] CCG]	CAU] histidine CAC] CAA] glutamine CAG]	CGU] arginine CGC] CGA] CGG]	U C A G
	A	AUU] isoleucine AUC] AUA] AUG] méthionine	ACU] thréonine ACC] ACA] ACG]	AAU] asparagine AAC] AAA] lysine AAG]	AGU] sérine AGC] AGA] arginine AGG]	U C A G
	G	GUU] valine GUC] GUA] GUG]	GCU] alanine GCC] GCA] GCG]	GAU] acide GAC] aspartique GAA] acide GAG] glutamique	GGU] glycine GGC] GGA] GGG]	U C A G

Réponses

① Il y'a donc une correspondance entre les nucléotides formant l'ADN et les acides aminés incorporés dans la protéine ; ce qui impose que la succession de nucléotides de l'ARNm se traduit (traduction = lecture) en une séquence d'acide aminé tout en respectant un code génétique.

② Définition des termes :

Codon : Séquence de trois nucléotides portés par l'ARNm correspondant à un acide aminé ou à un codon stop.

Le code génétique repose sur la correspondance entre, d'une part, des codons portés par l'ARN messager et, d'autre part, les acides aminés incorporés dans les protéines synthétisées. Le code génétique est universel, il est le même quelle que soit la cellule vivante considérée. N'importe quelle cellule est capable de « lire » un gène provenant de n'importe quelle autre espèce et de produire la protéine correspondante.

③ Analyser du tableau du code génétique :

- Le code génétique comporte 64 triplets ou codons. A trois exceptions près, chaque codon sur l'ARNm correspond un acide aminé donné.
- Un même acide aminé peut être codé par plusieurs codons différents. En revanche, un même codon, code toujours, le même acide aminé.
- Trois codons ne désignent aucun acide aminé (codons stop), ils correspondent à un signal de ponctuation, qui marque la fin de la synthèse de la protéine.

④ Exercice d'évaluation :

ADN	→	GTC	TCC	CCT	TGG	TCG	}	Transcription
ARNm	→	CAG	AGG	GGA	ACC	AGC		
séquence des acides aminés		Glu	Arg	Gly	Thr	Ser		

II/ Les éléments nécessaires à la traduction :

Doc 4 : Les acteurs de la traduction

La traduction fait intervenir les éléments suivants :

- L'ARNm en provenance du noyau porte le message du gène et les acides aminés, éléments de base des protéines.
- Les ribosomes : organites cellulaires formés d'ARN ribosomique et de protéines. Ils sont constitués de deux sous unités une plus petite qui « lit » l'ARN messager et une plus grosse qui se charge de la polymérisation des acides aminés pour former la protéine correspondante. Ils sont les sites d'incorporation des acides aminés.
- L'ARN de transfert (ARNt) qui a pour rôle de transporter les acides aminés vers les ribosomes.

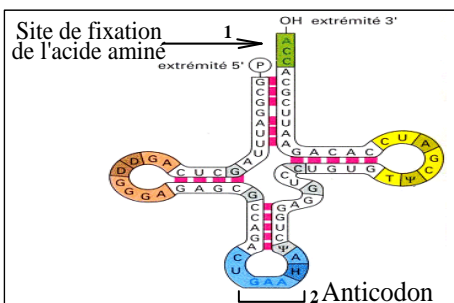


Fig (a): Structure de l'ARNt

↪ Annoter le schéma.

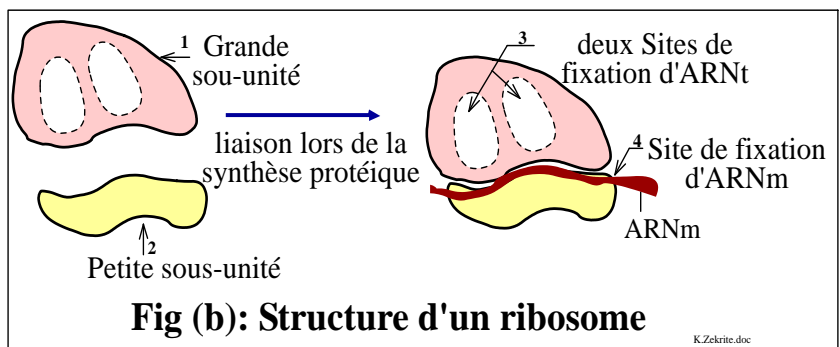
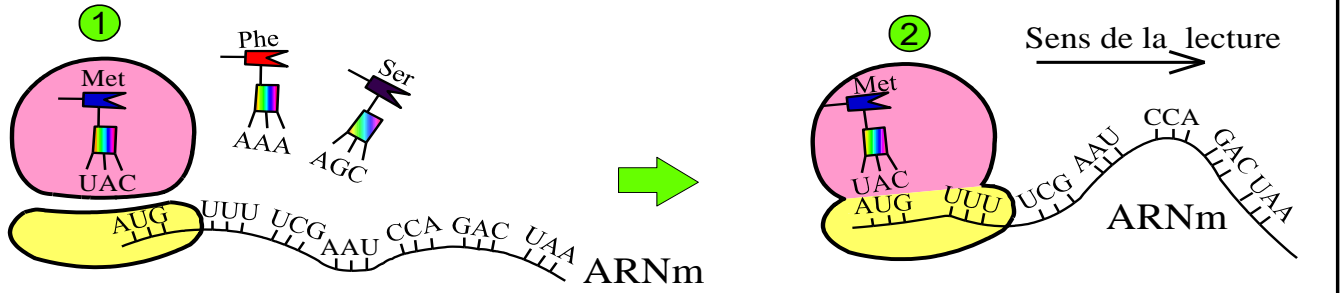


Fig (b): Structure d'un ribosome

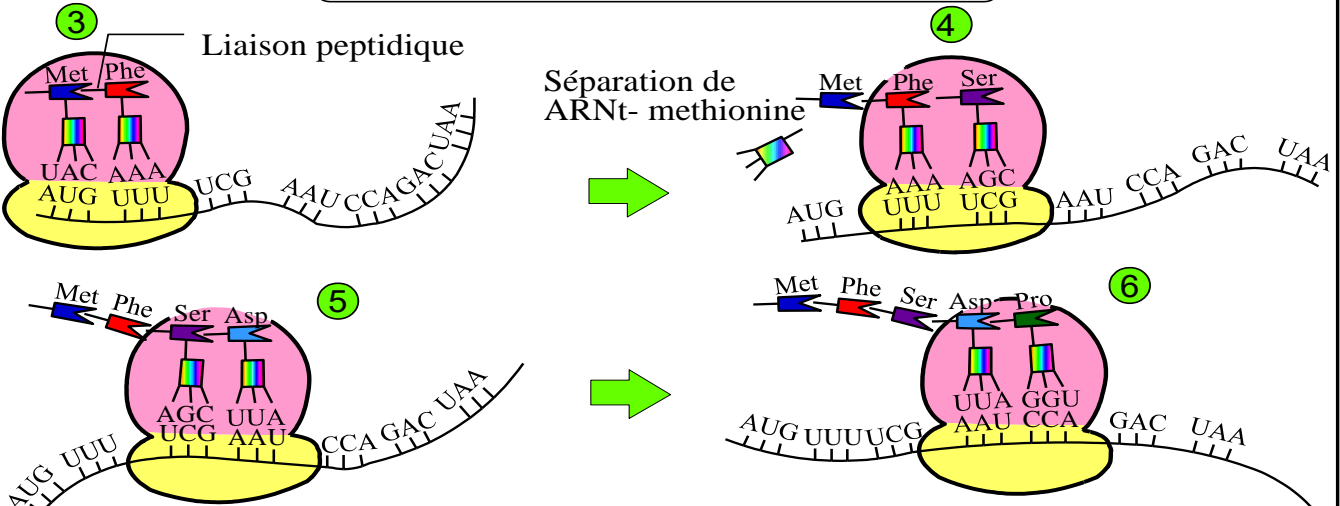
K.Zekrite.doc

III/ Les étapes de la traduction

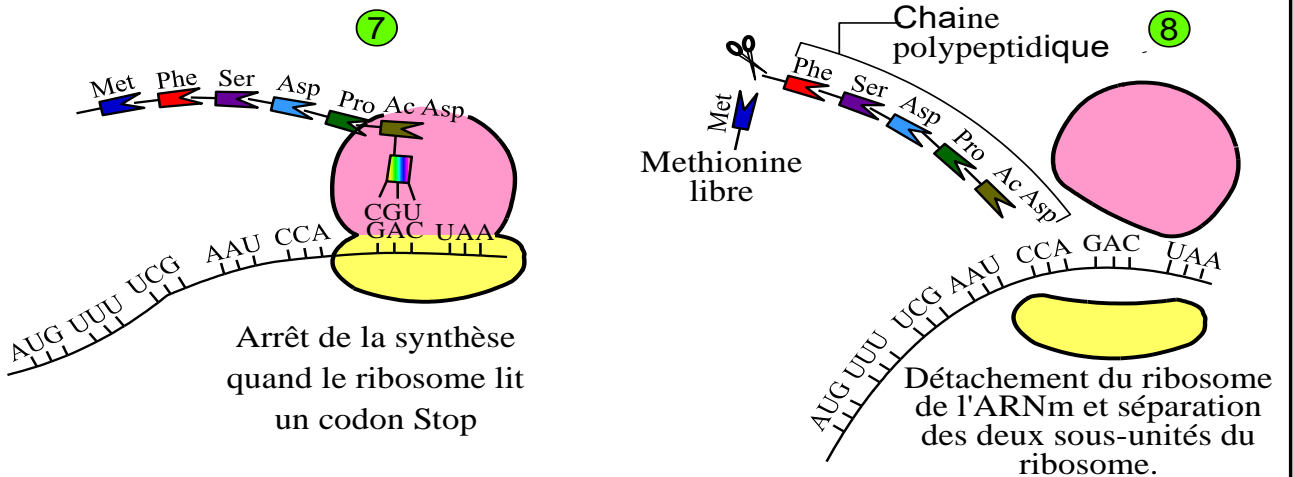
Doc 5: Les trois étapes de la traduction



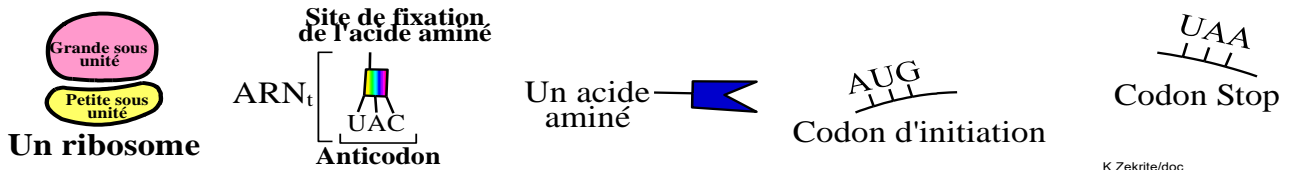
Initiation = ةي ادبلا



Elongation = الا سد تطالة



Terminaison = ةي اهنلا



K Zekrite/doc

En exploitant les données du doc 5, **décrire**, sous forme d'un texte, les étapes de la traduction.

Réponses

La traduction est le décodage de l'information génétique portée par l'ARNm en une protéine (succession d'acides aminés). Elle a lieu dans le cytoplasme et se déroule en trois étapes :

① **L'initiation** : au cours de laquelle la petite sous unité du ribosome se fixe au niveau d'un triplet de l'ARNm. Ce triplet est toujours le codon AUG qui code pour la méthionine. C'est le codon d'initiation. Il y'a lecture de ce codon par le ribosome ce qui entraîne l'appel d'un ARNt à anticodon complémentaire (UAC), et porteur de l'acide aminé correspondant : la méthionine. La grande sous unité s'installe, ainsi le ribosome devient fonctionnel.

② **L'élongation** :

- La lecture du 2^{ème} codon de l'ARNm fait venir un 2^{ème} ARNt à anticodon complémentaire et porteur d'un 2^{ème} acide aminé bien déterminé par le code génétique.
- Une *liaison peptidique* s'établit entre le 1^{er} et le 2^{ème} acide aminé.
- Le 1^{er} ARNt est libéré dans le cytoplasme.
- Le ribosome se déplace alors sur l'ARNm au niveau d'un 3^{ème} codon.
- La lecture de l'ARNm recommence : il y'a appel d'un 3^{ème} ARNt et mise en place d'un 3^{ème} acide aminé. Le polypeptide à trois acides aminés ainsi formé peut continuer à s'allonger par la mise en place d'autres acides aminés grâce à la succession des mêmes événements (association codon- anticodon → formation de liaison peptidique entre deux acides aminés → déplacement du ribosome).

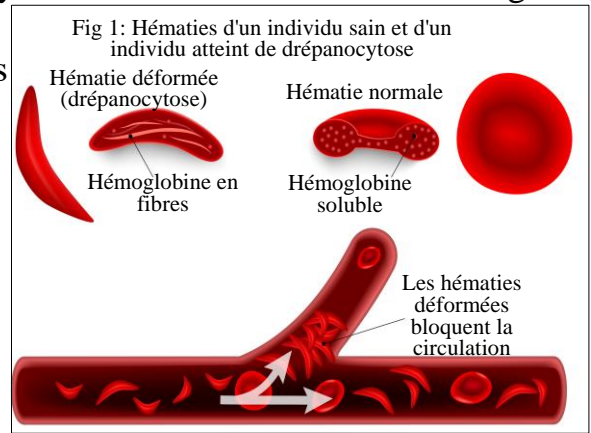
③ **La terminaison** : Lorsque le ribosome arrive à un *codon Stop* (UGA ou UAG ou UAA), la traduction s'arrête car aucun ARNt ne contient l'anticodon correspondant à l'un de ces trois codons. Il y'a dissociation des deux sous-unités du ribosome et libération du polypeptide dans le cytoplasme.

Remarque :

Sur une même molécule d'ARNm, se placent plusieurs ribosomes les uns à la suite des autres, cela forme une structure sous forme d'un collier appelée **polysome** ou **polyribosome**.

Exercice d'évaluation

La drépanocytose ou anémie falciforme est une maladie héréditaire caractérisée à l'échelle de l'organisme par des palpitations (خفقان), des difficultés respiratoires chez les individus atteints. Chez un individu non malade les hématies (globules rouges) sont souples et circulent normalement. Chez un individu drépanocytaire les hématies déformées et rigides, peuvent bloquer la circulation et former des caillots (Fig 1). L'apport du dioxygène aux organes est réalisé par une protéine contenue dans les hématies : l'hémoglobine. Chez les personnes saines, l'hémoglobine est de type HbA reste soluble dans les hématies, alors que chez les personnes atteintes de drépanocytose l'hémoglobine est de type HbS se sédimente en fibres déformant ainsi la cellule qui la contient.



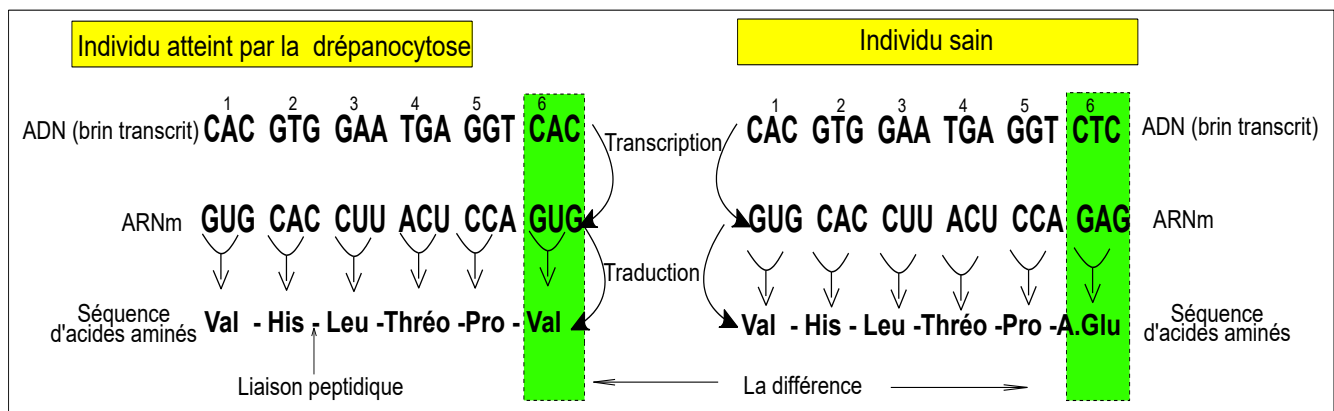
La figure 2 montre une portion du gène (brin transcrit) qui contrôle la synthèse de l'hémoglobine HbA et HbS

Fig 2	Portion du gène HbA (brin transcrit)	1	2	3	4	5	6
		CAC	GTG	GAA	TGA	GGT	CTC
	Portion du gène HbS (brin transcrit)	1	2	3	4	5	6
		CAC	GTG	GAA	TGA	GGT	CAC

- 1/ En utilisant le tableau du code génétique, **déterminer** la succession des acides aminés de l'hémoglobine HbA et HbS et **déduire** l'origine de la drépanocytose
- 2/ **montrer** comment la mutation entraîne la variation du phénotype au niveau moléculaire, cellulaire et **individuel**.

Solutions

1/ 🌸 la succession des acides aminés de l'hémoglobine HbA et HbS.



🌸 Origine de la drépanocytose :

Chez le malade : Le nucléotide T est substitué par le nucléotide A dans le triplet n°6 du brin transcrit (mutation par substitution) → substitution de l'acide aminé « acide glutamique » par un autre : « valine » → synthèse d'une protéine (hémoglobine) de

type HbS assurant un mauvais apport en O_2 , de structure fibreuse (au lieu de l'état soluble sauvage) → déformation et rigidité des globules rouges → peuvent bloquer la circulation → difficultés respiratoires et des palpitations.

2/ La mutation au niveau de la séquence nucléotidique du gène (origine génétique) entraîne une variation de la séquence des acides aminés et formation d'une protéine de structure modifiée (niveau moléculaire). Il en résulte une déformation des globules rouges (niveau cellulaire) et par conséquent l'apparition de symptômes telles les palpitations et des problèmes respiratoires (niveau individuel macromoléculaire)

Chapitre 3 : Le génie génétique et les organismes génétiquement modifiés: OGM

La galle du collet : tumeur due à une modification génétique naturelle



Fruit du maïs naturel endommagé par les chenilles de la pyrale et fruit du maïs modifié génétiquement



Le génie génétique repose sur la modification génétique des êtres vivants, Il fait intervenir un ensemble de techniques ayant pour objet l'exploitation des gènes pour faire acquérir de nouvelles propriétés aux cellules vivantes en modifiant leur matériel génétique.

Ces modifications sont rendues possibles grâce à l'universalité du code génétique chez la majorité des êtres vivants.

L'exploitation des gènes suppose que l'on puisse les isoler, déterminer leur structure et les introduire dans des cellules ou des organismes entiers afin de les modifier.



Questions posées

- Comment se produit la modification génétique naturelle de l'organisme ?
↳ Activité 1
- Quels sont les outils et les techniques et les étapes du génie génétique ?
↳ Activité 2
- Quels sont les domaines d'application du génie génétique ?
↳ Activité 3



Insuline Humaine industrielle produite par des bactéries E. coli modifiées génétiquement



Saumon OGM (taille 61cm, poids 3Kg) et saumon d'élevage (taille 33cm, poids 1,3Kg). Les deux poissons ont 18 mois

Le transfert naturel des gènes de l'agrobacterium Tumefaciens à une plante

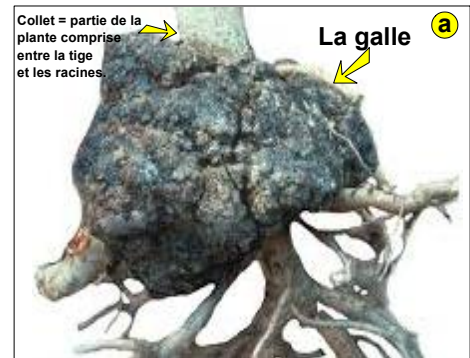
Dans la nature, il se peut qu'un gène soit transféré d'un être vivant pour s'incorporer dans le programme génétique d'un autre produisant une modification génétique de ce dernier.

- Comment se produit le transfert naturel des gènes ?
- Comment détourner le mécanisme de transfert naturel des gènes au profit de l'Homme ?

I/ Mise en évidence de la modification génétique : la galle du collet

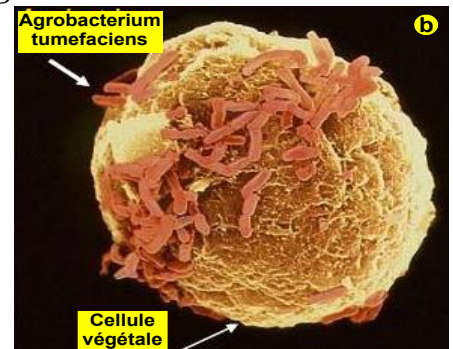
Doc 1 : La galle جرب du collet, une tumeur des plantes

La galle du collet (fig a) est une tumeur végétale dû à la prolifération anarchique des cellules au site infecté. Cette maladie atteint de nombreuses plantes cultivées (pommier, abricotier, amandier...), suite à des lésions dues aux pratiques culturales ou aux facteurs climatiques (gel, grêle) et provoque des ravages énormes des cultures atteintes.

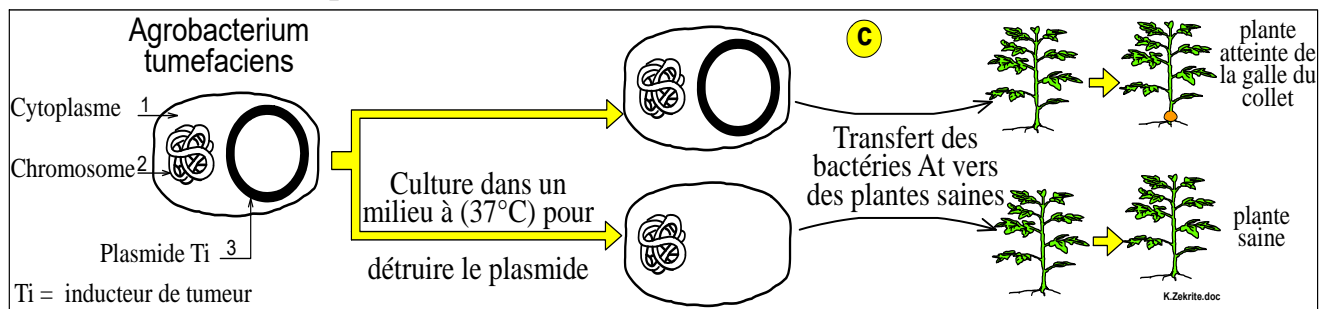


Doc 2 : Mise en évidence du facteur responsable de la galle du collet

En 1907, on a isolé d'un fragment de galle une bactérie (fig b) : *Agrobacterium tumefaciens* (A.t), qui se développe normalement dans le sol et elle est attirée par des composés phénoliques libérés par les plantes lorsqu'elles sont blessées. Au niveau de cette blessure, *Agrobacterium* est capable de se fixer sur les cellules végétales.

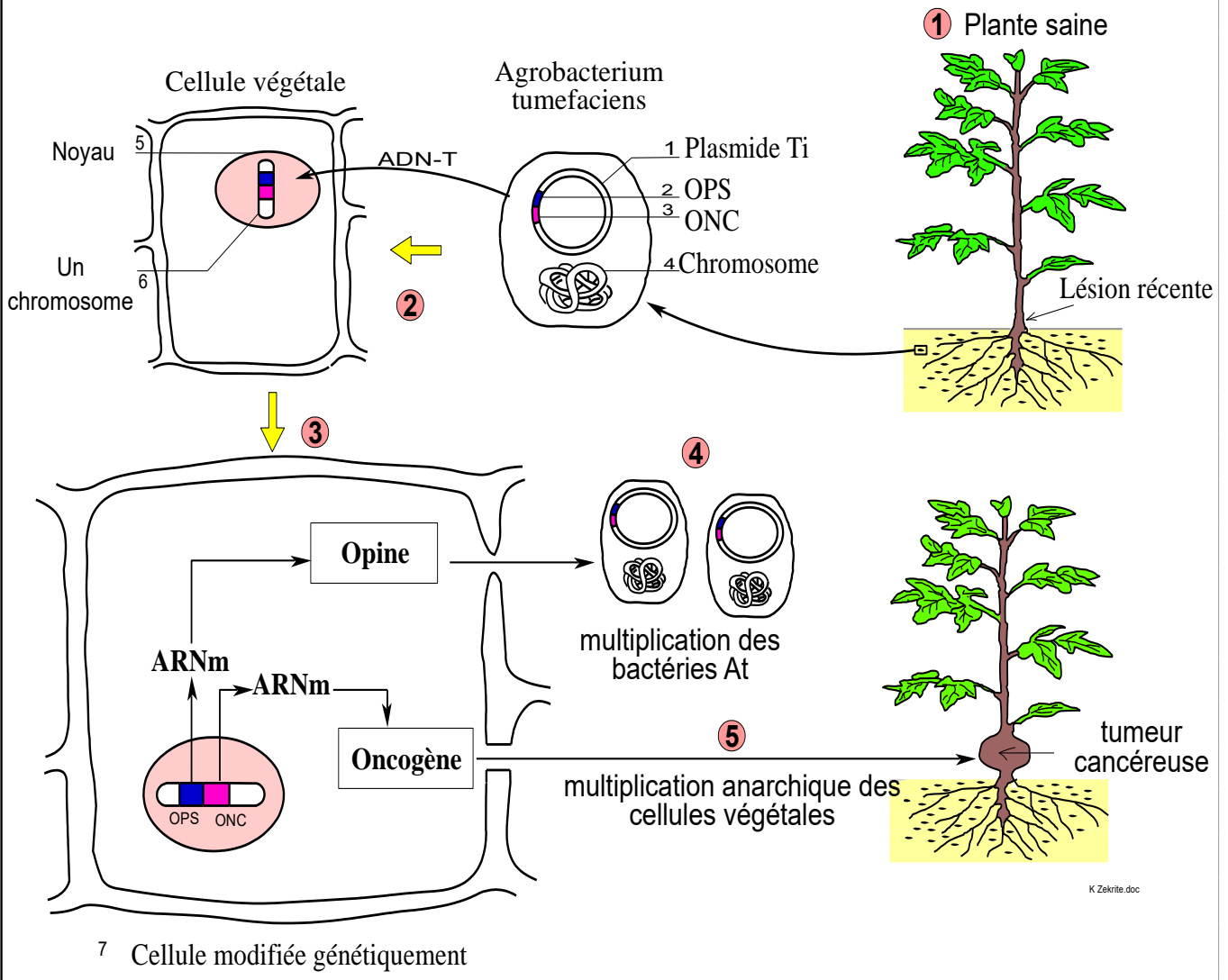


Cette observation a conduit les chercheurs à supposer que cette bactérie serait la cause de la galle du collet. Ainsi, plusieurs expériences, ont été mené notamment l'expérience suivante :



Les cellules de la galle libèrent des composés chimiques particuliers dans le milieu : les opines. Les bactéries *Agrobacterium* présentes près de la galle, dans le sol, sont capables d'utiliser alors ces opines comme source d'azote et de carbone et d'énergie.

Doc 4: Schéma montrant le transfert des gènes (At) dans la cellule végétale



❶ **Décrire** les étapes du transfert naturel du gène ADNT de la bactérie à la plante et les répercussions de ce transfert sur le végétal.

❷ **Quel est à votre avis** la perspective d'utilisation du plasmide de la bactérie (At) dans le domaine de génie génétique ?

Exploitation du doc 4

❶ Les étapes du transfert naturel du gène ADNT de la bactérie à la plante et les répercussions de ce transfert sur le végétal :

🌀 Au niveau d'une blessure, la bactérie *Agrobacterium tumefaciens* se fixe sur les cellules végétales.

🌀 Le plasmide Ti de la bactérie transfère son ADNT dans les cellules végétales. L'ADNT s'intègre au génome nucléaire de la cellule hôte.

🌀 L'expression des deux gènes d'ADNT permet à la cellule végétale d'acquérir deux caractères nouveaux :

- La tuméfaction, due à une multiplication cellulaire continue et désordonnée, entraînant la formation d'une tumeur cancéreuse.
- La synthèse en grande quantité d'opines, substances protéiques nécessaires à la croissance des bactéries et à leur multiplication.

② Le plasmide a la capacité de transmettre une partie de ses gènes (ADNt) dans une cellule hôte, ayant cette propriété, on peut l'utiliser comme vecteur ناقل dans un but de transgénèse, il suffit de remplacer l'ADNt par un autre gène d'intérêt, ainsi le plasmide peut réaliser le transfert du gène désiré à une cellule hôte.

Bilan de l'activité 1

La bactérie *Agrobacterium tumefaciens* transmet, naturellement, une partie de ses gènes dans la cellule végétale et détourne à son profit l'activité métabolique de la plante. Cette modification génétique des cellules hôtes au profit de la bactérie est rendue possible grâce à la possession de la bactérie d'un vecteur naturel : le plasmide.

Ayant ces propriétés, les bactéries et les plasmides seraient potentiellement utilisés dans le génie génétique afin de détourner la modification génétique au profit de l'Homme.

Les Outils, les techniques et les étapes du génie génétique

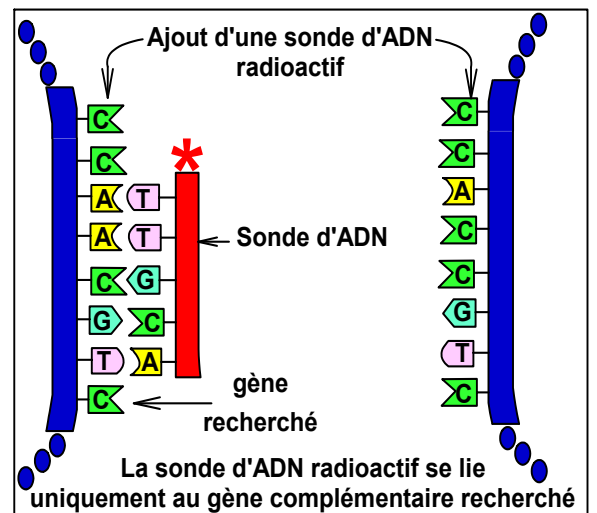
L'étude des modifications génétiques naturelles a fourni des renseignements de base pour le transfert d'un gène d'intérêt d'un organisme à un autre. Le développement des biotechnologies a permis la manipulation des gènes. La réussite d'une modification génétique nécessite la combinaison des techniques et des outils de pointe selon des étapes bien adaptées

- Quels sont les outils et les techniques utilisés en génie génétique ?
- Quelles sont les étapes de la transgénèse ?

I/ Les outils du génie génétique :

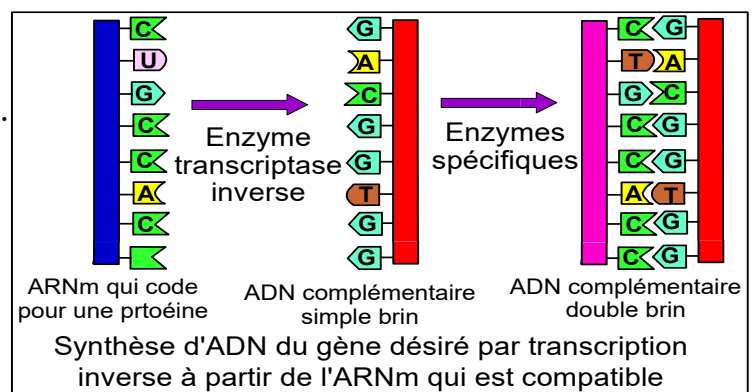
Doc 1 : Les sondes d'ADN

Il est possible de trouver un gène particulier à l'aide d'une sonde d'ADN, molécule d'ADN courte à un seul brin qui est complémentaire de la séquence sur le gène recherché. La sonde est conçue de façon à être radioactive de telle sorte qu'elle puisse être détectée facilement.



Doc 2 : L'enzyme transcriptase inverse = reverse

C'est une enzyme qui permet de convertir l'ARN en ADN simple brin. Celui-ci est transcrit, à son tour, en ADN complémentaire double hélice par d'autres enzymes spécifiques.



Doc 3 : La cellule hôte: خلية مضييفة

Les bactéries, et notamment E coli, présentent plusieurs caractéristiques qui permettent leur utilisation comme cellules hôtes en génie génétique :

- Elles sont unicellulaires et se multiplient rapidement.
- Leur culture in vitro est facile sur milieu minimum.
- Elles possèdent des plasmides.

Doc 4 : Les vecteurs النواقل

Les vecteurs sont des dérivés d'ADN virale ou de plasmides utilisés pour le transfert d'un gène vers une cellule hôte. Le plasmide est une molécule d'ADN circulaire double brin présente chez certaines bactéries et levures. Les plasmides sont des outils de choix en génie génétique pour plusieurs raisons :

- Ils ont une petite taille.
- Ils sont capables de la réplication autonome : se multiplient rapidement dans les cellules (10 à 200 par cellule).

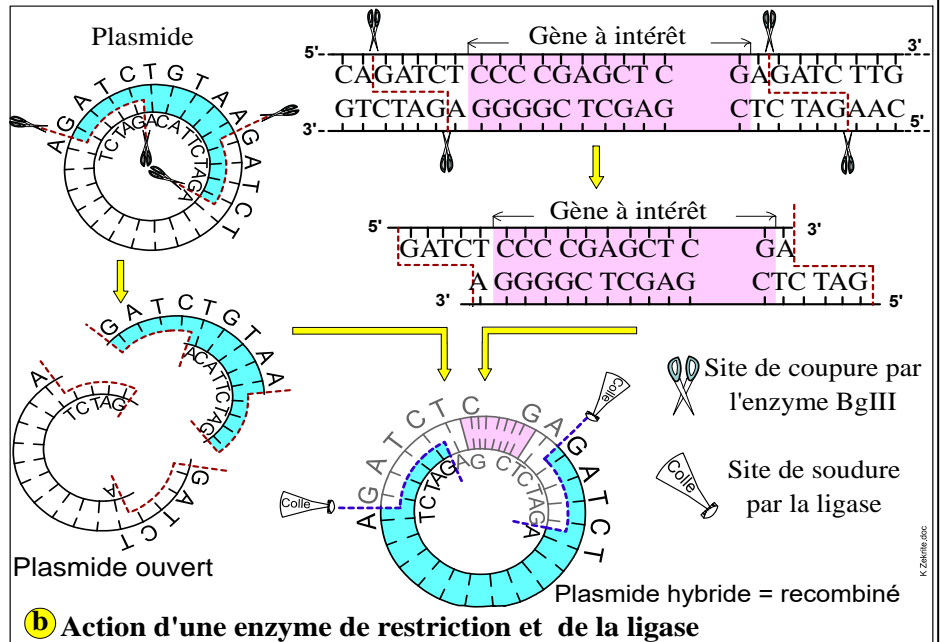
Doc 5 : Les enzymes de restriction et les ligases. أنزيمات الفصل وأنزيمات الربط

Les enzymes de restriction sont produites par des bactéries et on les nomme par le nom de la bactérie dont elles proviennent. Elles jouent le rôle de ciseaux moléculaires servant à couper l'ADN en des sites bien précis (fig a et b). Ainsi elles sont utilisées pour fragmenter et isoler des gènes désirés.

L'ADN ligase est une enzyme capable de faire l'appariement (مطابقة) des bases nucléotidiques complémentaires et d'effectuer aussi la soudure entre deux brins d'ADN quelle qu'en soit l'origine.

Enzymes de restriction	Séquence et site de coupure
E Cori	G AATTC
Bg III	A GATCT
Pst I	C TGCAG
Sac I	G AGCTC

a Quelques enzymes et leurs sites de restriction



Piste d'exploitation des documents

- 1 Doc 1 et 2 : **déterminer** le rôle de la sonde d'ADN et de l'enzyme transcriptase inverse en génie génétique.
- 2 Doc 3 et 4 : **Souligner** les caractéristiques qui font des bactéries et des plasmides des outils de choix en génie génétique.
- 3 Doc 5 : **Identifier**, parmi les enzymes citées dans la figure (a) celle utilisé pour l'isolement du gène à intérêt et le plasmide (fig b). Quel est la caractéristique de la coupure par les enzymes de restriction ? Quel est l'intérêt de l'utilisation de la même enzyme pour la coupure du gène et l'ouverture du plasmide.

Exploitation des doc de l'activité 2- I

① - Les sondes à ADN permettent d'identifier le gène d'intérêt, elles sont utilisées pour détecter les cellules (les colonies) génétiquement modifiées.

- La transcriptase inverse est utilisée pour synthétiser le gène désiré à partir de la transcription inverse de l'ARNm correspondant à la protéine d'intérêt

② Voir le texte

③ * La séquence d'ADN contenant le gène peut être coupée par :

- L'enzyme Sac I : mais celui-ci coupe le gène en son milieu, ce qui va altérer la fonction du gène si on l'isole par cette enzyme.

- L'enzyme BgIII : c'est l'enzyme spécifique qui coupe aussi bien le plasmide et le gène, et les coupures se font dans les extrémités du gène, ce qui permet de l'isoler d'une façon complète.

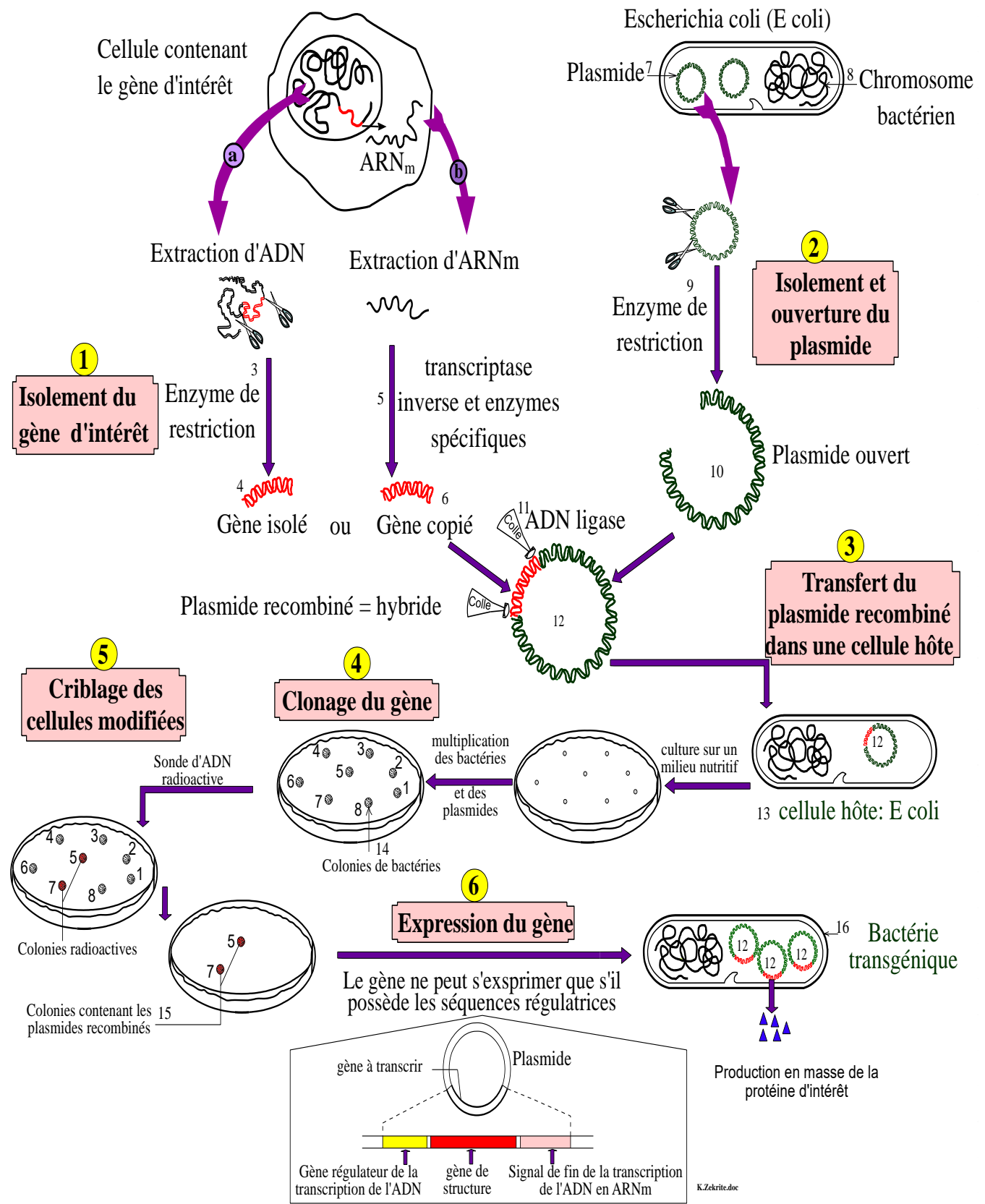
* Les enzymes de restriction reconnaissent et coupent la séquence d'ADN cible sur les deux brins à deux endroits légèrement décalés. La coupure donne alors des extrémités simples brins en zig-zag.

Ces extrémités simples brins peuvent s'unir par complémentarité des bases azotées avec une autre partie d'ADN (plasmide par exemple) résultant de la coupure par la même enzyme. La soudure est assurée par une ADN ligase.

II/ Les étapes de la transgénèse مراحل التعديل الوراثي :

Voir le document 6

Doc 6: Les étapes de transfert d'un gène



Doc 6 : **Décrire** sous forme d'un texte les principales étapes de la transgénèse en associant à chacune des étapes les outils et les techniques utilisés.

Le transfert d'un gène d'une cellule à une autre peut être résumé dans les étapes suivantes :

✿ Isoler et sélectionner le gène d'intérêt, on peut effectuer cette étape par deux techniques différentes :

- 1^{ère} technique : On extrait l'ADN de la cellule donneuse du gène (cellule animale, végétale ou une bactérie), on découpe le gène par une enzyme de restriction spécifique. L'identification du gène désirée est effectuée par la sonde d'ADN.

- 2^{ème} technique : on utilise l'ARNm compatible au polypeptide qu'on veut produire. Cet ARNm est transcrit par la transcriptase inverse, en ADN complémentaire simple brin, celui-ci est transcrit à son tour, en ADN complémentaire double hélice qui correspond au gène d'intérêt.

✿ Isolement du plasmide, puis son ouverture par une enzyme de restriction.

✿ Intégration du gène d'intérêt dans le plasmide ouvert, la liaison des deux fragments d'ADN est assurée par l'enzyme : l'ADN ligase. Ce qui donne une nouvelle molécule nommée ADN recombiné ou hybride.

✿ Introduction des plasmides recombinés dans des cellule hôtes = vecteurs d'expression (les bactéries sont souvent utilisées pour ce but). Pour réaliser cette étapes plusieurs plasmides recombinés sont mis en contact avec des millions de bactéries hôtes, car ils y pénètrent difficilement à raison d'un seul par bactérie. Un fois entré, le plasmide commence à se multiplier de façon autonome.

✿ Clonage du gène : Mise en culture de ces bactéries hôtes dans un milieu nutritif pour les inciter à se multiplier, et amplifier d'avantage le nombre de gènes d'intérêt dans les cellules hôtes.

✿ Criblage et sélection des colonies modifiées : cette étape consiste à détecter les colonies qui ont effectivement intégré le gène d'intérêt dans leur génome. On peut utiliser la technique d'addition de sonde à ADN (gène) radioactif : les colonies génétiquement modifiées et donc contenant le gène désiré sont détectées par leur fixation de l'élément radioactif.

✿ L'expression du gène : La transcription du gène intégré dans le plasmide, ne peut se faire dans la cellule hôte, que s'il y'a intervention d'un système de contrôle. Ce dernier est constitué de séquences de gènes régulateurs et de gènes de structure appartenant à cette cellule hôte, et lui permettant de connaitre les signaux d'initiation de la transcription de l'ADN du gène (par un

codon d'initiation), suivie de l'élongation et de la terminaison de l'ARNm.

Remarque : Le criblage des clones modifiées peut être effectuer par des antibiotiques. Les cellules modifiées à qui on a intégré à l'avance un gène de résistance à un antibiotique donné, montrent une résistance à l'antibiotique, alors que les colonies non transformées sont détruites sous l'effet de l'antibiotique.

Bilan de l'activité 2

Le génie génétique est l'ensemble des techniques utilisées pour isoler et transmettre un gène (des gènes) d'un être vivant à un autre, et ce dont le but de créer une modification bénéfique chez l'être vivant receveur de ce gène et qu'on nomme *organisme génétiquement modifié*.

Les principales étapes utilisées en génie génétique sont :

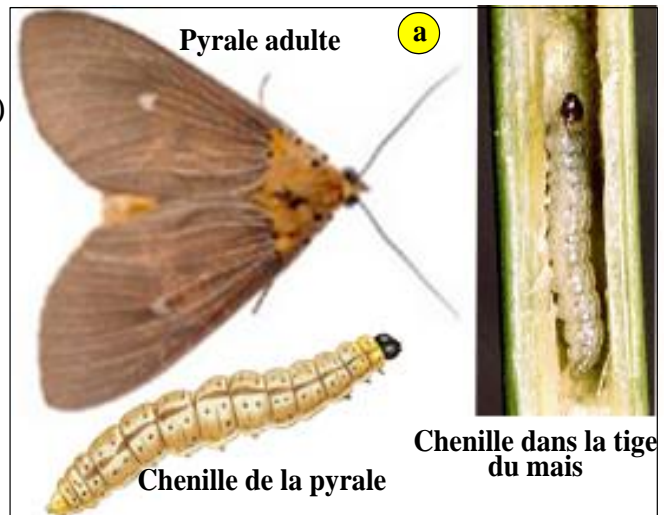
- *Isolement du gène d'intérêt par des enzymes de restriction, ou sa transcription sous forme d'ADN complémentaire, à partir de l'ARNm, qui lui est compatible, par la transcriptase inverse.*
- *Intégration du gène isolé, à l'aide de ligases dans le plasmide qui devient recombiné.*
- *Clonage du gène porté par le plasmide recombiné dans des bactéries hôtes, dans un milieu de culture et obtention de clones de bactéries.*
- *Détection et sélection des clones bactériens portant le plasmide recombinés et doc modifiées génétiquement en utilisant des sondes d'ADN ou des antibiotiques.*
- *Expression du gène intégré en protéine*

Le génie génétique permet, actuellement de produire en quantité suffisante, des substances indispensables (hormones, médicaments ...) et de créer aussi des organismes génétiquement modifiés par transgénèse pour améliorer le rendement agricole, augmenter la production des animaux de ferme ...

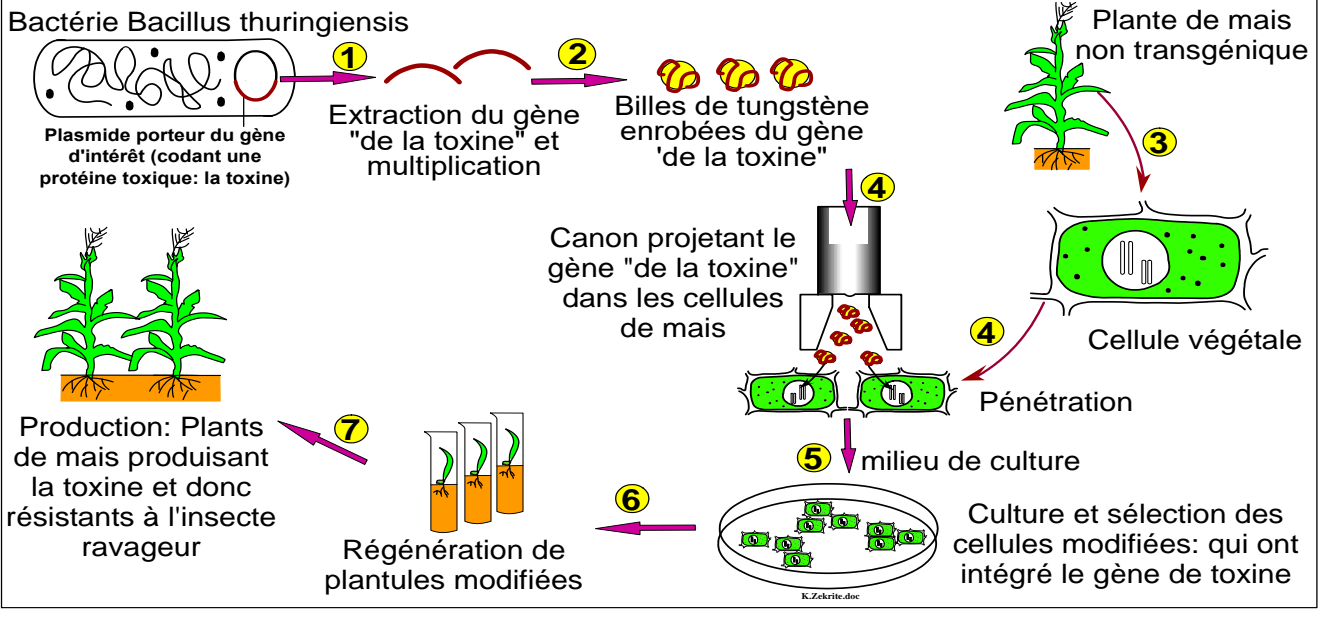
- Quels sont les étapes de production de certaines substances utiles par génie génétique ?

Doc 1 : Exemple de plantes génétiquement modifié : le maïs transgénique produisant un insecticide :

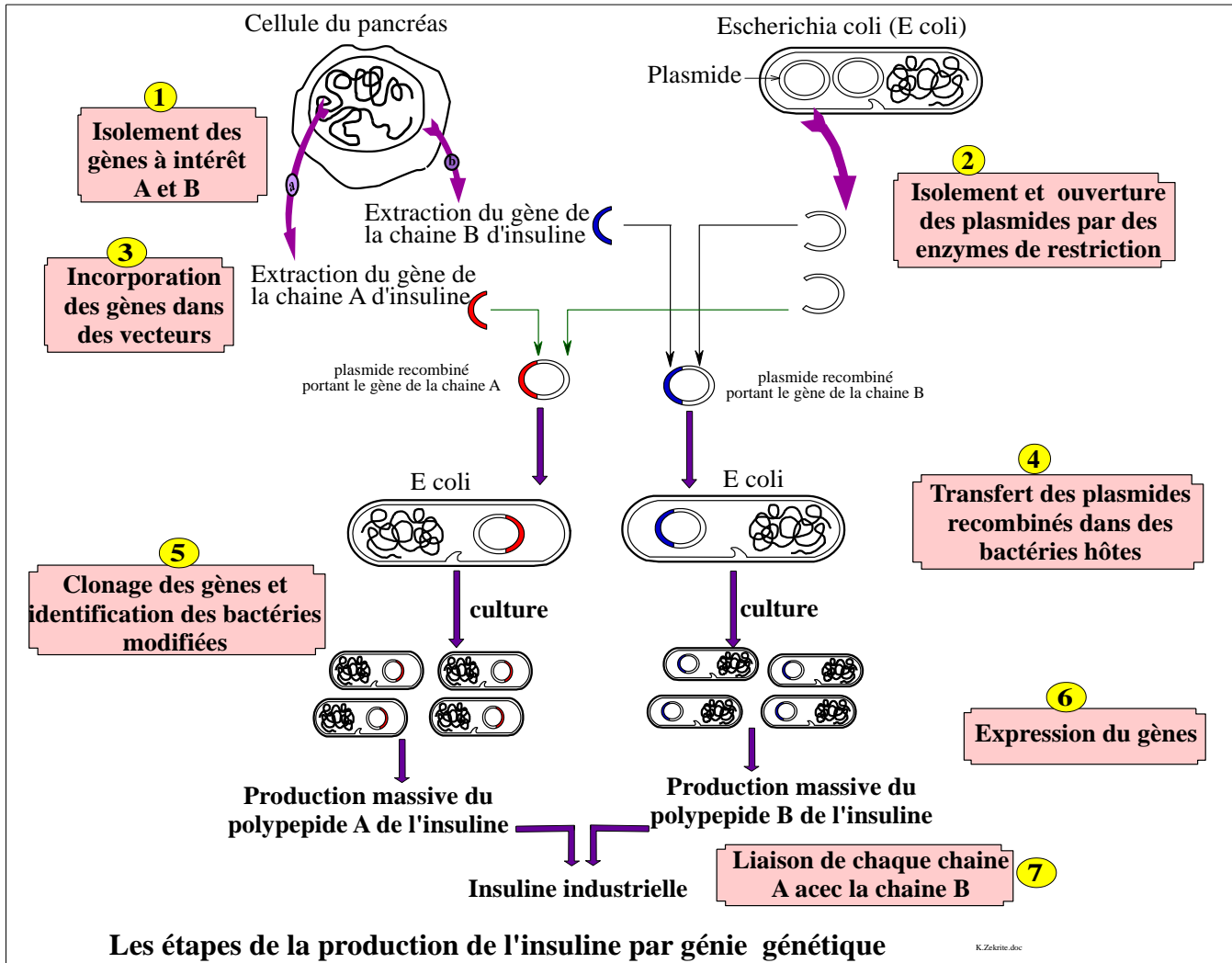
Les chenilles de la pyrale s'attaquent aux parties aériennes des plantes de maïs (Fig a) La bactérie *Bacillus thuringiensis* produit une toxine Bt qui détruit un certain nombre d'espèces de ces insectes. Afin de lutter contre la pyrale, on a créé une variété de maïs transgénique par ajout du gène qui gouverne la synthèse de la toxine isolé de la bactérie *Bacillus thuringiensis*. La figure (b) résume les étapes de la modification du maïs.



b Les étapes de la modification génétique du maïs



2 Les étapes de la transgénèse d'une bactérie pour la production de l'insuline :



3 D'autres applications du génies génétique (discussion orale seulement):

- Il est possible d'obtenir des plantes de maïs, colza, soja à teneurs élevées en acides aminés, notamment en méthionine et lysine, et des maïs enrichis en huile.
- sur le melon, sur la tomate, on a pu obtenir des variétés transgéniques à maturation retardée. Ces fruits peuvent être récoltés à un stade de maturation plus avancé, donc être plus savoureux. D'autre part, il en résulte une meilleure conservation et une aptitude au transport améliorée, réduisant les pertes.
- Un exemple original est l'obtention de cotons transgéniques de couleur grâce à l'introduction d'un gène bactérien ou végétal codant pour un pigment. Ceci évitera l'utilisation de teintures chimiques difficilement recyclables.
- Production de protéines virales dont le but de produire des vaccins...

Bilan de l'activité 3

Les applications du génie génétique sont justifiées par les besoins de l'Homme dans différents domaines :

- Dans le domaine agricole le recours au génie génétique a pour objectif l'amélioration de la productivité des plantes (production de tomates à maturation retardée pour une meilleure conservation et une aptitude au transport améliorée, réduisant les pertes), l'amélioration de la qualité nutritionnelle des aliments (production du riz riche en vitamine A ou en fer par exemple), la résistance aux insectes ravageurs des récoltes...
- Dans le domaine médical/ industriel, la production d'hormones, de vaccins a pour objectif l'amélioration de la santé Humaine.

رجاء لا تنسوني من صالح دعائكم



Quelques définitions : Information génétique, nature, mécanisme de son expression

Information génétique : est un programme héréditaire codé, contenu dans le noyau de la cellule porté par les molécules d'ADN, composante essentielle des chromosomes. L'information génétique détermine les caractéristiques spécifiques et individuels de chaque être vivant. L'information génétique se transmet d'une façon conforme (sans changement) de la cellule mère vers les deux cellules filles lors de la mitose.

Acide désoxyribonucléique (ADN) est une macromolécule hélicoïdale formée de deux brins associés : double hélice. Chaque brin d'ADN est formé par l'enchaînement de nombreux nucléotides : polymère pluri-nucléotidique. Des liaisons hydrogènes entre les bases complémentaires assurent la structure double hélice : l'adénine se lie à la thymine par deux liaisons hydrogènes, la cytosine se lie à la guanine par trois liaisons hydrogènes. Les deux brins d'ADN sont complémentaires de polarité antagoniste (l'un 3' → 5') et l'autre 5' → 3'). L'ADN est la matière portant l'information génétique, ces informations résident dans le nombre et l'ordre des nucléotides. La molécule d'ADN peut être décrite comme un message écrit dans un code à 4 lettres (A, T, C et G).

Acide ribonucléique ARN : est un acide nucléique présent chez pratiquement tous les êtres vivants, et aussi chez certains virus. L'ARN est très proche chimiquement de l'ADN et il est d'ailleurs en général synthétisé dans les cellules à partir d'une matrice d'ADN dont il est une copie, la molécule d'ARN est plus courte que celle de l'ADN, sa masse moléculaire est inférieure à celle de l'ADN, sa durée de vie est courte, la thymine de l'ADN est remplacée par l'uracile dans l'ARN et le sucre désoxyribose est remplacé par le ribose. Il existe trois types d'ARN dans la cellule : ARN messager (ARNm), ARN de transfert (ARNt) et l'ARN ribosomial (ARNr). L'ARNm est un intermédiaire portant les informations génétiques de l'ADN au cytoplasme. Il est synthétisé dans le noyau au cours d'un processus appelé transcription et assure, au niveau du cytoplasme, l'assemblage des acides aminés pour donner une protéine par un processus appelé traduction = lecture.

Nucléotide est un groupement constitué de 3 éléments : un acide phosphorique, un désoxyribose pour l'ADN et un ribose pour l'ARN et une base azotée. Chaque nucléotide se distingue de l'autre par la base azotée qu'il renferme. Les bases azotées qui entrent dans la constitution des nucléotides de l'ADN sont : l'adénine (A), la guanine (G), la cytosine (C) et la thymine (T). Les bases azotées qui entrent dans la constitution des nucléotides de l'ARN sont : l'adénine (A), la guanine (G), la cytosine (C) et l'uracile (U).

Mitose : est un phénomène de division cellulaire qui assure la croissance des tissus et le renouvellement des cellules. La mitose comporte 4 phases (la prophase, la métaphase, l'anaphase et la télophase). Elle donne naissance à deux cellules filles identiques et semblables à la cellule mère (même nombre de chromosomes et même information génétique). On dit que la mitose est une reproduction asexuée conforme. Toutes les cellules d'un organisme, proviennent de la multiplication d'une cellule œuf par mitose, raison pour laquelle toutes nos cellules sont semblables génétiquement et possèdent le même nombre de chromosomes.

Interphase : est une phase du cycle cellulaire qui précède la division cellulaire (la mitose ou la méiose). Pendant cette phase la cellule possède un noyau entier avec sa membrane, sa chromatine (nucléofilaments enchevêtré) et son nucléole. L'interphase comporte trois phases : la phase G1 (Croissance de la cellule) puis la phase S (dédoublage des chromosomes par réplication de l'ADN) et finalement la phase G2 (la cellule achève sa croissance et se prépare à la division).

Prophase mitotique : Premier stade de la mitose, elle se caractérise par un gonflement du noyau et la disparition de l'enveloppe nucléaire et du nucléole, une condensation de la chromatine en chromosomes qui deviennent visibles et fissurée longitudinalement en *deux chromatides* homologues, réunies par un *centromère* et le début de l'apparition du fuseau achromatique.

Métaphase mitotique : Deuxième stade de la mitose Elle se caractérise par : l'achèvement de la formation du fuseau achromatique, une condensation maximale des chromosomes clivés, un regroupement des chromosomes dans le plan équatorial de la cellule formant une *plaque équatoriale*, chaque chromosome métaphasique constitué de 2 chromatides est lié par son centromères aux fibres du fuseau achromatique

Anaphase mitotique : Troisième stade de la mitose. Elle se caractérise par un clivage du centromère et la séparation des chromatides homologues, les chromatides de chacun des chromosomes migrent vers les pôles opposés de la cellule (ascension polaire). Ainsi, il se forme deux lots identiques de chromosomes dans chacun des deux pôles de la cellule

Télophase mitotique : dernière phase de la mitose, Elle se caractérise par un regroupement et une décondensation des chromosomes en chromatine, l'enveloppe nucléaire entoure chacun des deux lots de chromatine, donnant naissance à deux noyaux fils, une disparition du fuseau achromatique, la division du cytoplasme (cytotodièrese) par formation d'une nouvelle membrane, la séparation des deux cellules filles.

Cycle cellulaire : la période pendant laquelle se succèdent l'interphase et la mitose qui la suit avec toutes les modifications que connaît la cellule. L'alternance de l'interphase (duplication des chromosomes) et de la mitose (séparations des chromatides homologues) assure le maintien du nombre du chromosome chez les cellules filles et donc le maintien de l'information génétique.

Fuseau achromatique = mitotique : est un ensemble de fibres constituées de protéines qui, au cours d'une mitose ou d'une méiose, joignent les pôles opposés d'une cellule et sur lesquelles se trouvent les chromosomes. Il assure la migration des chromosomes vers les pôles et donc une bonne répartition de ces supports d'information génétique dans les cellules filles.

Nucléofilament : est un filament nucléaire de chromatine. il est formé d'une molécule d'ADN, qui s'enroule autour de protéines appelées histones, ce qui donne au nucléofilaments l'aspect d'un collier de perle. Le nucléofilament change de condensation (spiralisation) au cours du cycle cellulaire ce qui explique son degré de visibilité (légèrement condensé pendant l'interphase et par suite moins visible, très condensé pendant la mitose et la méiose et par ailleurs plus épais et plus visible).

Chromatide : est un nucléofilament (ADN + histone) associée à des protéines non-histones. Une chromatide a la forme d'un bâtonnet qui peut avoir différents degrés de condensation suivant les moments du cycle cellulaire. Cette unité structurale n'apparaît en tant que chromosome que durant les divisions cellulaires (mitose ou méiose). Le reste du temps, l'ensemble des chromatides forme la chromatine.

Chromosomes : des structures cellulaires microscopiques permanentes mais qui n'apparaissent qu'au cours de la mitose ou la méiose à partir de la condensation de la chromatine. Chaque chromosome est constitué d'un ou de deux nucléo- filaments (une molécule d'ADN enroulées sur des histones) associé à des protéines non histones. Les chromosomes sont le support de l'information génétique. Dans les cellules eucaryotes, les chromosomes se trouvent dans le noyau. Dans les cellules procaryotes, qui ne contiennent qu'un seul chromosome circulaire, ce dernier se trouve dans le cytoplasme.

Chromosome non sexuel = autosome : est un chromosome non sexuel (par opposition au gonosome qui lui en est un). Les autosomes sont formés de paires dont les membres ont la même forme, mais diffèrent des autres paires dans une cellule diploïde. La plupart des chromosomes d'un génome sont autosomes.

Chromosomes sexuels = gonosomes : sont des chromosomes qui déterminent le sexe d'un individu. Les chromosomes sexuels sont de deux types X et Y et ne sont pas homologues. Pour la majorité des organismes, le sexe femelle est du type XX et ne produit de ce fait qu'un type de gamètes : il est homogamétique ; le mâle est du type XY et hétérogamétique. Mais, il existe des exceptions, chez les Oiseaux, ainsi que chez beaucoup d'Amphibiens et de papillons, le sexe mâle est homogamétique et le sexe femelle, hétérogamétique. Chez les poulets, le mâle est homogamétique (XX) et la femelle (poule) est porteuse de X0 (absence d'un chromosome sexuel).

Formule chromosomique : c'est le nombre de chromosomes présents dans chaque cellule. La formule chromosomique varie d'une espèce à une autre. Ce nombre, sauf dans le cas des anomalies, est constant chez tous les individus de la même espèce c'est une caractéristique de l'espèce.

Caryotype ou carte chromosomique, est une représentation de l'ensemble des chromosomes de la cellule, classés par leur taille, emplacement du centromère et l'alternance des bandes claires et sombres et par paires si la cellule est diploïde. La réalisation du caryotype se déroule en plusieurs étapes dont les plus essentielles sont : culture des cellules capables de se diviser/ blocage de la mitose en métaphase/ dispersion des chromosomes métaphasiques en éclatant les cellules/ Coloration des chromosomes / Prise d'une photographie des chromosomes (garniture chromosomique) / classement des chromosomes.

Cellule haploïde : est une cellule qui ne comporte qu'un seul exemplaire de chaque chromosome. On symbolise sa formule chromosomique par la lettre n (n est un nombre entier naturel qui peut être paire ou impair). Exemple chez *Penicillium* : $n=4$.

Cellule diploïde : est une cellule qui contient deux exemplaires homologues de chaque chromosome. On symbolise sa formule chromosomique par $2n$ (n étant le nombre de paires homologues) exemple chez l'espèce Humaine $2n = 46$ (23 paires de chromosomes homologues).

Centrosome est un organite propre à la cellule animale, il est constitué de deux centrioles. Au cours de la prophase cet organite se divise en deux centrioles et chaque centriole formera par la suite un astère qui migre vers un pôle de la cellule.

Astère : désigne la formation étoilée de microtubules autour du centriole, et bien visibles au cours de la division cellulaire. Il dérive du centrosome.

Ribosomes : organites cellulaires formés d'ARN ribosomique et de protéines. Ils sont constitués de deux sous unités une plus petite qui « lit » l'ARN messager et une plus grosse qui se charge de la polymérisation des acides aminés pour former la protéine correspondante. Ils sont les sites d'incorporation des acides aminés.

Modèle de réplication semi conservative : Selon ce modèle, chaque molécule d'ADN mère se réplique (se duplique) pour donner deux molécules filles identiques à l'ancienne, chacune des deux molécules d'ADN filles est formée d'un brin matrice issu de la molécule de départ (mère) et d'un brin néoformé provenant de l'assemblage des nucléotides initialement dispersés dans le milieu cellulaire.

Réplication d'ADN, appelée aussi duplication de l'ADN, est le processus au cours duquel l'ADN est synthétisé grâce à l'ADN polymérase. La réplication de l'ADN s'effectue pendant la phase S de l'interphase selon le modèle semi conservatif. Au niveau d'un œil de réplication, la synthèse se déroule suivant les étapes suivantes : les deux brins de la molécule d'ADN parentale s'écartent par rupture des liaisons hydrogènes qui unissent les bases azotées, Cette ouverture est assurée par une enzyme appelée : hélicase.

Les deux brins parentaux ainsi écartés, jouent le rôle de matrice (قالب), en effet, Les nucléotides libres fournis par les nutriments se positionnent en face de leurs bases complémentaires : (A devant T et inversement, C devant G et inversement). L'ADN polymérase assure la liaison (la polymérisation) de ces nucléotides entre eux pour former un nouveau brin d'ADN dans le sens $5' \rightarrow 3'$. Au niveau d'un nœud de réplication, la duplication s'effectue de façon synchrone pour les deux brins, mais suivant deux sens contraires. A la fin de la réplication et en absence d'erreur, on obtient deux copies conformes d'ADN, semblables à la molécule mère. Chaque molécule fille est la réplique de la molécule mère (ce qui justifie la désignation : réplication d'ADN), elle est composée d'un brin ancien (parental) et d'un brin néo-synthétisé, c'est la réplication semi conservative.

Transcription : Phénomène cellulaire se déroulant dans le noyau, se traduit par la synthèse d'ARN à partir de l'ADN au niveau d'un gène. La transcription se déroule suivant les étapes suivantes : Séparation des deux brins d'ADN, des nucléotides viennent s'apparier (تطابق) aux nucléotides de l'un

des brins d'ADN. L'ARNm est synthétisé par polymérisation des nucléotides sous l'action de l'ARN polymérase. L'appariement des nucléotides respecte la complémentarité des bases azotées : la cytosine se place devant la guanine et inversement. L'adénine se place devant la thymine et l'uracile se place devant l'adénine. L'ARN s'allonge dans *le sens* $5' \rightarrow 3'$, qui est le sens d'avancement de l'ARN polymérase. Cette enzyme se détache lorsqu'elle rencontre un code qui indique la fin du gène, ainsi la transcription prend fin. Le brin d'ARNm ainsi synthétisé est complémentaire du brin d'ADN non transcrit. L'information contenue dans l'ARNm est identique à celle du brin non transcrit, le nucléotide uracile (U) occupe dans l'ARNm la place du nucléotide thymine (T) de l'ADN.

Traduction = lecture : Phénomène cellulaire se déroulant dans le cytoplasme, se traduit par le décodage de l'information génétique portée par l'ARNm en une séquence d'acides aminés (protéine). La traduction fait intervenir les éléments suivants : l'ARNm, les ribosomes, les ARNt et les acides aminés. La traduction se déroule dans trois étapes : l'initiation, l'élongation et la terminaison.

ADN polymérase est un complexe enzymatique intervenant dans la réplication de l'ADN. Les ADN polymérases utilisent des nucléotides libres pour la synthèse d'un brin d'ADN nouveau, en utilisant un autre brin d'ADN comme matrice. Ce processus répliatif utilise la complémentarité des bases nucléiques pour guider la synthèse du nouveau brin à partir du brin matrice. L'ADN polymérase ne peut relier les nucléotides que dans le sens $5' \rightarrow 3'$, de ce fait : l'élongation du brin néo- formé se fait dans le sens $5' \rightarrow 3'$, aussi au niveau d'un nœud de réplication, la duplication s'effectue de façon synchrone pour les deux brins, mais suivant deux sens contraires.

ARN polymérase : est un complexe enzymatique responsable de la synthèse de l'ARN, à partir d'une matrice d'ADN au cours de la transcription. L'avancement de l'ARN polymérase se fait dans *le sens* $5' \rightarrow 3'$, raison pour laquelle l'élongation de l'ARN se déroule dans ce sens.

Reproduction asexuée consiste en une formation d'un nouvel être vivant sans fécondation par un seul être vivant.

Fécondation événement central de la reproduction sexuée, consiste en une fusion d'un gamète mâle et d'un gamète femelle. La fécondation permet de rétablir la diploïdie et le regroupement d'un allèle maternel et d'un allèle paternel pour chaque gène à travers l'union de deux gamètes haploïdes, elle amplifie le brassage génétique à travers la rencontre au hasard des gamètes. Ainsi la fécondation assure la diversité des œufs bases du polymorphisme constaté au niveau de la descendance.

Cellules somatiques : toutes les cellules du corps à l'exception des cellules à l'origine des gamètes. Elles ne se divisent que par mitoses.

Cellules germinales = cellules héréditaires : ce sont les cellules à l'origine des gamètes : cellules qui subissent la méiose.

Caractère héréditaire : est un signe, une particularité externe ou interne, qualitative ou quantitative, morphologique ou physiologique qui permet de caractériser un individu des individus de son espèce et qui se transmet d'une génération à une autre. Les caractères héréditaires sont codés au niveau de l'ADN, chaque caractère est gouverné par un gène.

Phénotype : caractère observable d'un individu, Il s'exprime à l'échelle moléculaire (groupes sanguins), cellulaire (pneumocoques R et S) et macroscopique ou individuel (Couleur des pétales, forme de la langue...).

Génotype : ensemble de gènes (d'allèles) des caractères héréditaires étudiés. Le génotype dirige le phénotype.

Gène : est une portion de chromosome (donc d'ADN) qui gouverne un caractère héréditaire. Sur un même chromosome on trouve plusieurs gènes, par exemple, chez l'Homme : le chromosome n° 1 contient 2281 gènes, le chromosome Y comporte 104 gènes.

Locus (pluriel loci) : c'est l'emplacement d'un gène sur un chromosome, cet emplacement reste fixe chez les individus de la même espèce, exemple, chez l'Homme : le locus du gène qui détermine le groupe rhésus est porté par le chromosome n° 1, le locus du gène qui détermine le groupe sanguin (ABO) est porté par le chromosome n° 9.

Génome : l'ensemble des gènes d'un individu.

Allèle : est une version d'un même gène occupant un même locus, qui peut varier d'un individu à l'autre. Au sein d'une même espèce. Le génome d'un individu est différent de celui d'un autre individu, c'est le polymorphisme génétique. Ce polymorphisme est dû aux mutations. Exemple: l'un des gènes du chromosome 9 chez l'humain détermine le groupe sanguin, il peut exister sous trois versions différentes: l'allèle A, l'allèle B et l'allèle O.

Mutation : est une modification brusque de la séquence nucléotidique d'un gène (l'ADN), ce qui entraîne, la plupart du temps, un changement du caractère correspondant. Une mutation est spontanée ou provoquée, rare, réversible : (le caractère sauvage ↔ le caractère muté) et généralement les mutations sont indépendantes l'une de l'autre. On peut citer trois types de mutations :

- *Mutation par substitution* : remplacement d'un ou de plusieurs nucléotides par un autre (d'autres).
- *Mutation par délétion* : perte d'un ou de plusieurs nucléotides.
- *Mutation par insertion* : addition d'un ou de plusieurs nucléotides.

Codon : Séquence de trois nucléotides portés par l'ARNm correspondant à un acide aminé ou à un codon stop.

Code génétique repose sur la correspondance entre, d'une part, des codons portés par l'ARN messager et, d'autre part, les acides aminés incorporés dans les protéines synthétisées. Le code génétique est universel, il est le même quelle que soit la cellule vivante considérée. N'importe quelle cellule est capable de « lire » un gène provenant de n'importe quelle autre espèce et de produire la protéine correspondante.

Codon stop = non-sens : il s'agit de trois triplets dans l'ARNm (UAA, UAG et UGA) ne désignent aucun acide aminé, ils correspondent à un signal de ponctuation, qui marque la fin de la synthèse de la protéine.

Anticodon : est un groupe de trois nucléotides localisé dans la structure des ARN de transfert, qui joue un rôle important dans la traduction de l'ARNm lors de la biosynthèse des protéines. Ce triplet de nucléotides peut s'apparier spécifiquement à la séquence complémentaire du codon présent sur le brin d'ARNm. Cette complémentarité spécifique des codons et anticodons permet de faire correspondre un acide aminé à un codon. En effet, l'ARNt porte aussi à son extrémité l'acide aminé correspondant à son anticodon. Lorsque l'appariement codon-anticodon se fait dans le ribosome, ce dernier peut ajouter l'acide aminé requis à la protéine en cours de synthèse.