



ADN



By

Centre Tamoul d'Enseignements en France
Concours de Culture Général 2014
Epreuve de compréhension

INTRODUCTION

L'article a pour source Wikipédia.

L'**acide désoxyribonucléique** (ADN) est une molécule, présente dans toutes les cellules vivantes, qui renferme l'ensemble des informations nécessaires au développement et au fonctionnement d'un organisme. C'est aussi le support de l'hérédité car il est transmis lors de la reproduction, de manière intégrale ou non. Il porte donc l'information génétique (génotype) et constitue le génome des êtres vivants.

La structure standard de l'ADN est une double-hélice droite, composée de deux brins complémentaires. Chaque brin d'ADN est constitué d'un enchaînement de nucléotides, eux-mêmes composés de bases azotées, d'oses (désoxyribose) et de groupes phosphate. On trouve quatre nucléotides différents dans l'ADN, notés A, G, C et T, du nom des bases correspondantes. Le génotype est inscrit dans l'ordre dans lequel s'enchaînent les quatre nucléotides. Ces nucléotides se regroupent par paires spéciales :

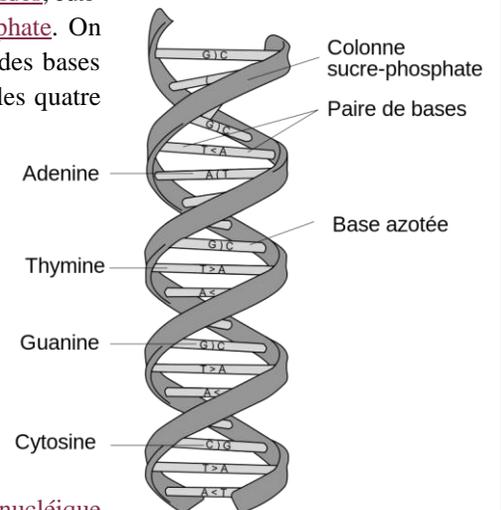
- A avec T ;
- T avec A ;
- C avec G ;
- G avec C.

Aucune autre paire n'est possible (sauf dans le cas de mutations génétiques).

L'ADN détermine la synthèse des protéines, par l'intermédiaire de l'acide ribonucléique (ARN).

Dans les cellules eucaryotes, l'ADN est contenu dans le noyau et une petite partie dans la matrice des mitochondries ainsi que dans les chloroplastes. Dans les cellules procaryotes, l'ADN est contenu dans le cytoplasme. Certains virus possèdent également de l'ADN dans leur capside.

Dans les cellules également, l'ADN est organisé en structures appelées chromosomes. Au cours de la division cellulaire ces chromosomes sont dupliqués dans le processus de réplication de l'ADN, chaque cellule fournissant son propre jeu complet de chromosomes. Les organismes eucaryotes (animaux, plantes, champignons et protistes) emmagasinent une partie de leur ADN dans le noyau de la cellule et une autre partie de celui-ci dans des organites tels que les mitochondries ou les chloroplastes. [1] En revanche, les procaryotes (bactéries et archées) stockent leur ADN seulement dans le cytoplasme. Dans les chromosomes, la chromatine, des protéines, telles que des histones, compactent et organisent l'ADN. Ces structures compactes guident les interactions entre l'ADN et d'autres protéines, en aidant à contrôler quelles parties de l'ADN sont transcrites.



FONCTIONS

L'ADN est une macromolécule, polymère de nucléotides (dAMP, TMP, dGMP, dCMP) dont la structure et les propriétés chimiques lui permettent de remplir les fonctions suivantes :

1. Sa fonction principale est de stocker l'information génétique, information qui détermine le développement et le fonctionnement d'un organisme. Cette information est contenue dans l'enchaînement non-aléatoire de nucléotides.
2. Une autre fonction essentielle de l'ADN est la transmission de cette information de génération en génération. Cela permet l'hérédité.
3. L'information portée par l'ADN peut se modifier au cours du temps. Cela aboutit à une diversité des individus et à une évolution possible des espèces. Cela est dû à des mutations résultant principalement d'erreurs lors de la réplication des séquences de l'ADN (ajout, délétion ou substitution de nucléotides), ou bien à des recombinaisons génétiques. L'ADN est donc le support de l'information génétique mais aussi le support de ses variations. En subissant les effets de la sélection naturelle, l'ADN permet l'évolution biologique des espèces.

HISTORIQUE

La caractérisation et la découverte de la structure chimique de l'ADN se sont faites en plusieurs étapes¹ :

1. En 1869, le Suisse Friedrich Miescher isole une substance riche en phosphore dans le noyau des cellules, qu'il nomme **nucléine** (du latin *nucleus*, le noyau).
2. En 1889, l'Allemand Richard Altmann sépare à partir de la nucléine, des protéines et une substance acide, l'acide nucléique.
3. En 1896, l'Allemand Albrecht Kossel découvre dans l'acide nucléique les quatre bases azotées A, C, T, G.
4. En 1928, Phoebus Levene et Jacob Lunn (États-Unis) identifient le désoxyribose.
5. En 1935, on parle alors d'acide désoxyribonucléique.
6. En 1944, l'Américain Oswald Avery découvre que l'ADN est responsable de la transformation génétique des bactéries et que ce serait bien le support de l'hérédité². Certains scientifiques restent sceptiques et n'abandonnent pas l'idée que les protéines puissent porter l'information génétique, mais en 1952 les expériences de Hershey et Chase invalident définitivement cette dernière hypothèse.

7. En 2014, l'Américain Floyd Romesberg et son équipe ont créé deux bases artificielles ; dNaM et d5SICS insérées dans le génome de la bactérie E. coli sans qu'elle en soit perturbée³.

STRUCTURE

DECOUVERTE

C'est au [laboratoire Cavendish](#) de [Cambridge](#) qu'a été établie la structure en [double hélice](#) de l'ADN, grâce à la technique de [diffraction des rayons X](#) sur des [cristaux](#) de l'ADN^{4,5}, qui est publiée dans [Nature](#), le [25 avril 1953](#). On doit cette découverte à [James Watson](#), alors âgé de 25 ans et à [Francis Crick](#), physicien de formation, qui reçurent tous deux le [prix Nobel de physiologie ou médecine](#), le [31 octobre 1962](#). Confirmée par [Maurice Wilkins](#), cette découverte ne fut rendue possible que par le travail de [Rosalind Elsie Franklin](#) notamment pour son cliché, le numéro 51, élément nécessaire à Watson, Wilkins et Crick pour attester le bien-fondé de la structure de la double hélice de l'ADN. En effet ce cliché obtenu par diffraction aux rayons X met en évidence cette structure en double hélice, ainsi que la distance entre les bases azotées. Rosalind Elsie Franklin mourut avant l'attribution du prix Nobel. Dans les premiers rapports d'études de Watson, Crick et Wilkins, Rosalind Elsie Franklin n'est pas citée, ce n'est qu'après des années qu'elle se trouva ajoutée à cette découverte sur le modèle moléculaire de l'ADN. Il faut dire que *Rosy* (Rosalind Elsie Franklin) comme la surnommaient affectueusement ses collègues, fut jusqu'au dernier moment convaincue que la structure hélicoïdale de l'ADN n'était pas pertinente⁶.

James Watson reconnaît également que les remarques du cristallographe [Jerry Donohue \(en\)](#) furent également déterminantes⁷. Ce dernier signala en effet à James Watson que les [formes tautomériques](#) proposées dans le livre de [J.N. Davidson \(en\)](#) (*The Biochemistry of Nucleic Acids*) n'étaient pas correctement reproduites. Or ce problème n'avait sans doute pas été porté à la connaissance de [Linus Pauling](#) lequel avait fait paraître, sur des bases erronées, un article décrivant la structure de l'ADN quelques semaines avant le papier de Watson et Crick.

James Watson et Francis Crick s'appuyèrent sur un fait déjà établi : pour une espèce donnée les quantités de A et T sont sensiblement égales, ainsi que pour les quantités de C et G. Exemple chez l'homme : A=30,4 % et T=30,1 % ; C=19,6 % et G=19,9 %. Ce sont les [règles d'équivalence](#) de [Chargaff \(1949\)](#). Cela leur a suggéré la complémentarité des bases.

En combinant les données de Rosalind Elsie Franklin, James Watson et Francis Crick ont construit avec des tiges métalliques, le premier modèle en double hélice de l'ADN. En [1959](#), le prix Nobel de physiologie ou médecine est décerné à [Severo Ochoa de Albornoz](#) et à [Arthur Kornberg](#) pour la découverte du mécanisme biologique de la synthèse de l'acide désoxyribonucléique.

ASPECT GENERAL ET LOCALISATION

L'ADN est une molécule allongée, pouvant mesurer plusieurs centimètres de long⁸. L'ADN peut être soit linéaire, soit circulaire :

Chez les procaryotes (organismes unicellulaires sans noyau), tels que les bactéries, l'ADN est en général présent sous la forme d'un seul chromosome circulaire superenroulé (à la manière d'un cordon téléphonique). Cet ADN circulaire peut se compacter encore plus en faisant des super-hélices et ceci donne une structure dite hélicoïdale. En plus du chromosome circulaire principal, certaines bactéries, comme Vibrio cholerae, possèdent parfois une partie de leur génome déportée sur un ou plusieurs mégaplasmides. Enfin, quelques rares bactéries comme les Borrelia ont un chromosome linéaire.

Chez les eucaryotes, l'ADN est présent dans le noyau cellulaire principalement, mais aussi dans le génom mitochondrial et le génom chloroplastique. Dans le noyau, il est linéaire et est scindé en plusieurs ADN formant des chromosomes. Il est plus ou moins compacté et associé à des protéines comme les histones. Dans le génome mitochondrial et le génome chloroplastique, l'ADN peut prendre de nombreuses formes différentes, circulaires, linéaires ou encore ramifiés.

SEQUENCE DE NUCLEOTIDES

L'ADN est composé de séquences de nucléotides ; on parle de polymère de nucléotides ou encore de polynucléotide. Chaque nucléotide est constitué de trois éléments liés entre eux : un groupe phosphate lié à un ose, le désoxyribose, lui-même lié à une base azotée.

Il existe quatre bases azotées différentes dans l'ADN : l'adénine (notée **A**), la thymine (notée **T**), guanine (notée **G**) et la cytosine (notée **C**). Chaque base est fixée à un désoxyribose pour former un nucléoside. Lorsqu'un nucléoside est lié à un ou plusieurs phosphate, on dit qu'il s'agit d'un nucléotide. Dans l'ADN, les nucléotides sont reliés entre eux selon une certaine séquence grâce à des liaisons impliquant un groupe phosphate, qu'on appelle des liaisons 5'-3' phosphodiester. Pour fabriquer un brin d'ADN, il suffit donc d'enchaîner des nucléotides en les reliant par ce type de liaisons, appelées liaisons fortes.

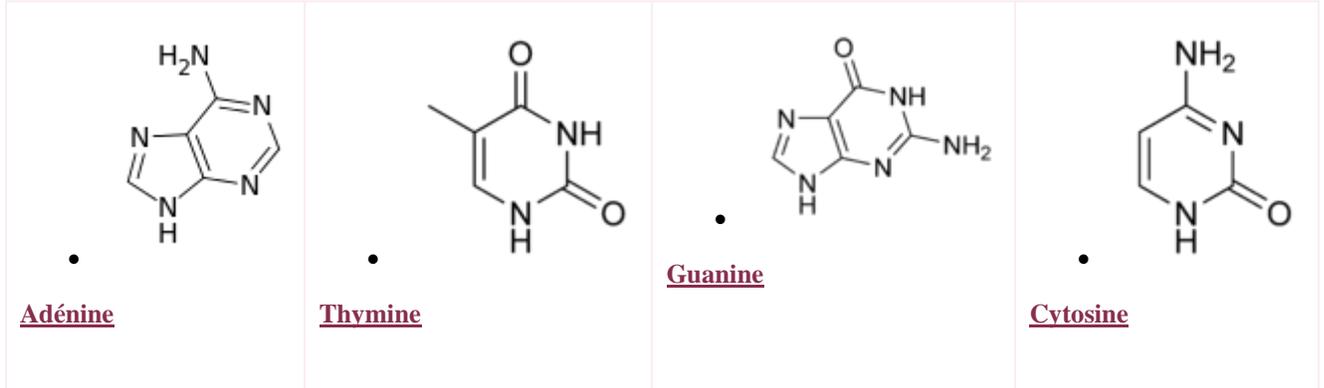
BASE AZOTEES

Ce sont les quatre bases azotées qui assurent la variabilité de la molécule d'ADN, ainsi que la complémentarité des deux brins. En effet, il n'existe que deux types complémentaires de bases : une base pyrimidique sera toujours en face d'une base purique.

- La thymine⁹ (T) et la cytosine¹⁰ (C) sont de la famille des pyrimidines.
- L'adénine¹¹ (A) et la guanine¹² (G) sont de la famille des purines.

Un nucléotide est formé par un groupe phosphate, un résidu désoxyribose et une base azotée. Par conséquent, il existe quatre nucléotides différents dans l'ADN. Un « brin » d'ADN est formé par la répétition ordonnée de ces nucléotides. Les bases azotées sont

complémentaires deux à deux, une base purique s'associant toujours à une base pyrimidique : l'adénine s'associe avec la thymine et la guanine avec la cytosine. Les bases azotées complémentaires sont reliées entre elles par des liaisons hydrogène.



COMPLEMENTARITE DES DEUX BRINS D'ADN

L'ADN est composé de deux brins se faisant face, et formant une double hélice. Ceci est possible car les nucléotides trouvés dans un brin possèdent des nucléotides complémentaires avec lesquels ils peuvent interagir par des liaisons hydrogène (liaisons faibles). Il y a deux liaisons hydrogène entre une adénine (A) et une thymine (T) et trois liaisons hydrogène entre une guanine (G) et une cytosine (C). En face d'une adénine, il y a toujours une thymine ; en face d'une guanine, il y a toujours une cytosine. On a donc les interactions possibles suivantes :

A-T et T-A

G-C et C-G

Pour un brin d'ADN possédant vingt nucléotides comme dans l'exemple suivant, on peut retrouver la séquence du brin complémentaire et reconstituer la double séquence de la double hélice :

5'-ATTGCCGTATGTATTGCGCT-3'

3'-TAACGGCATAACATAACGCGA-5'

Les deux brins antiparallèles d'ADN sont toujours étroitement reliés entre eux par des liaisons hydrogène (également appelées « ponts hydrogène » ou encore simplement « liaisons H » ou « ponts H ») formées entre les bases complémentaires A-T et G-C. Ces deux brins d'ADN sont dits complémentaires car les purines (adénine et guanine) d'un brin font toujours face à des pyrimidines de l'autre brin (thymine et cytosine).

Les brins d'ADN sont *orientés* dans le sens 5' vers 3' (et ceci en raison de notations liées à la géométrie du désoxyribose). Deux brins d'une double hélice sont complémentaires et antiparallèles, c'est-à-dire assemblés tête bêche (l'extrémité 5' de l'un est en contact avec

l'extrémité 3' de l'autre et inversement). Ce caractère antiparallèle des brins explique l'existence de deux sillons (l'un grand, l'autre petit) autorisant l'accès à la séquence des nucléotides sans avoir à "ouvrir" la molécule en séparant les brins entre eux. Ainsi, une représentation structurale comme celle en haut de page s'avère-t-elle inexacte, les deux sillons n'étant pas distincts (deux sillons de même largeur). La représentation animée est donc plus réaliste (deux sillons de largeurs différentes), tout comme celle de la division de l'ADN. Comme une molécule d'ADN est double-brin, on dit qu'elle est bicaténaire.

Grâce à l'alternance des quatre bases azotées A, C, T, G, toutes ces séquences constituent un message codé, portant les informations génétiques. En effet, l'ordre, la nature, et le nombre de nucléotides déterminent l'information génétique. Le lien entre l'information génétique, et les caractères de l'organisme (le phénotype), est gouverné par le code génétique.

La taille d'une molécule d'ADN peut varier de mille paires de bases pour le génome le plus court à plus de six cents milliards pour le génome le plus long jamais observé (en avril 2013), celui de l'amibe *Amoeba dubia*¹³. Le génome humain contient environ 3,2 milliards de paires de base (dans les gamètes)¹³. Il n'y a pas de corrélation directe entre la taille du génome et la complexité de l'organisme correspondant¹³.

HEREDITE PERMISE

Avant chaque division cellulaire, la molécule d'ADN double-brin doit être dupliquée en deux molécules d'ADN filles identiques. Cela assure la transmission de l'information génétique lors de la reproduction, c'est l'hérédité. Chacune de ces nouvelles molécules hérite d'un brin de la molécule d'ADN initiale ou « mère »; l'autre brin est synthétisé à partir de nucléotides libres. Les nouveaux nucléotides se placent par complémentarité A-T et C-G, de manière à reconstituer à l'identique le brin manquant.

Il est question d'une réplication semi-conservative. L'hypothèse d'un tel modèle de réplication fut émise par les découvreurs de la structure de l'ADN dès 1953. Quelques années plus tard, l'expérience de Meselson et Stahl valident ce modèle.

Lors de la réplication, les paires de bases sont tout d'abord désappariées par la rupture des liaisons hydrogènes de l'ADN par une enzyme appelée ADN hélicase. Une fourche de réplication va alors se former donnant 2 brins d'ADN simple-brin distincts. Chacun de ces brins va être copié par l'action des ADN polymérases, pour former 2 nouvelles molécules d'ADN double-brin identiques à la molécule initiale.

Ce mécanisme de réplication nécessite donc deux brins aux séquences complémentaires, tous deux reliés par des liaisons faibles, pour que la séparation (ou dénaturation) et le réassemblage des brins se fassent facilement.

MODIFICATIONS

Malgré les liaisons fortes et la complémentarité des bases azotées qui assurent la stabilité de l'information génétique au cours des réplications, la séquence d'un ADN peut se modifier. Si la modification se fait sur un ou quelques nucléotides il est question de

mutation. Celles-ci sont spontanées, sûrement dues à des erreurs d'appariement au cours de la réplication. Les mutations peuvent être aussi favorisées ou induites par certains agents de l'environnement, appelés facteurs mutagènes (radioactivité, ultra-violet...).

Les modifications peuvent aussi consister en un échange de portion dans la séquence de nucléotides avec un autre ADN. On parle de recombinaison génétique. Ces recombinaisons génétiques peuvent se faire naturellement (transformation génétique des bactéries, reproduction sexuée), mais aussi artificiellement, par les techniques du génie génétique (cela aboutit alors à des OGM).

Ces processus sont à l'origine des différentes variations des ADN dans le monde vivant. C'est ce qui est à l'origine de la diversité actuelle des êtres vivants c'est-à-dire la biodiversité.

ANNEXES EN IMAGES :

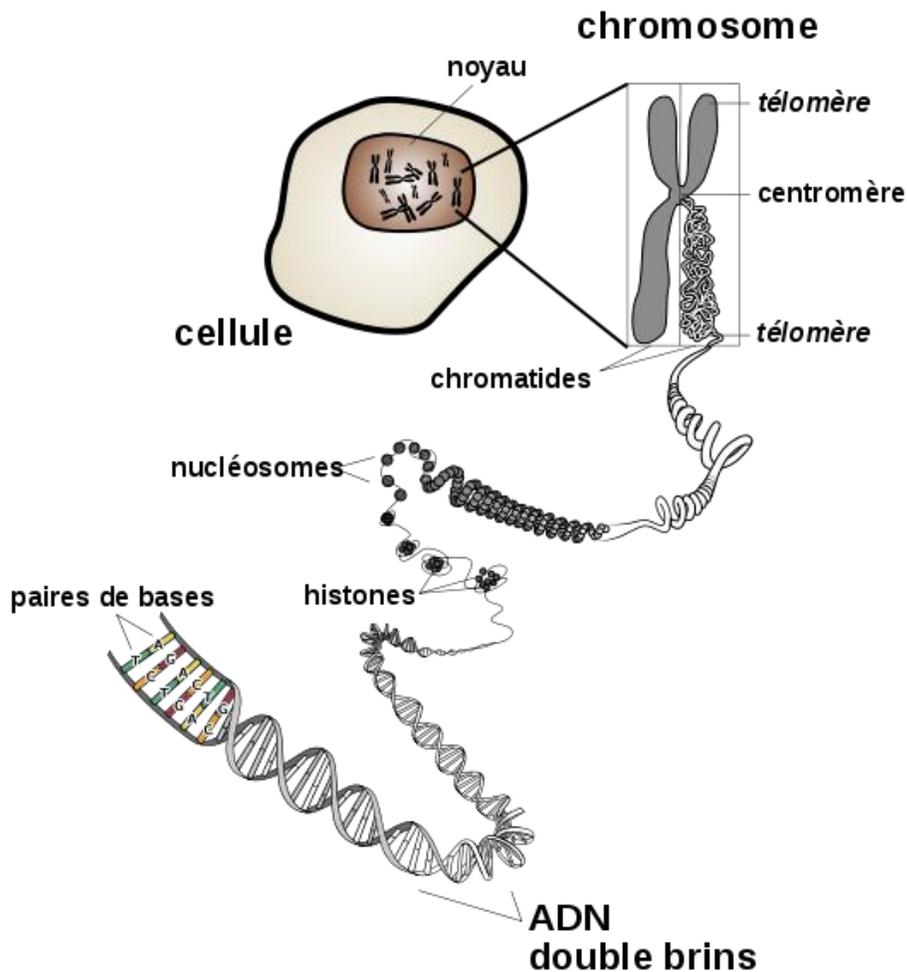


Figure 1 : Chromosomes

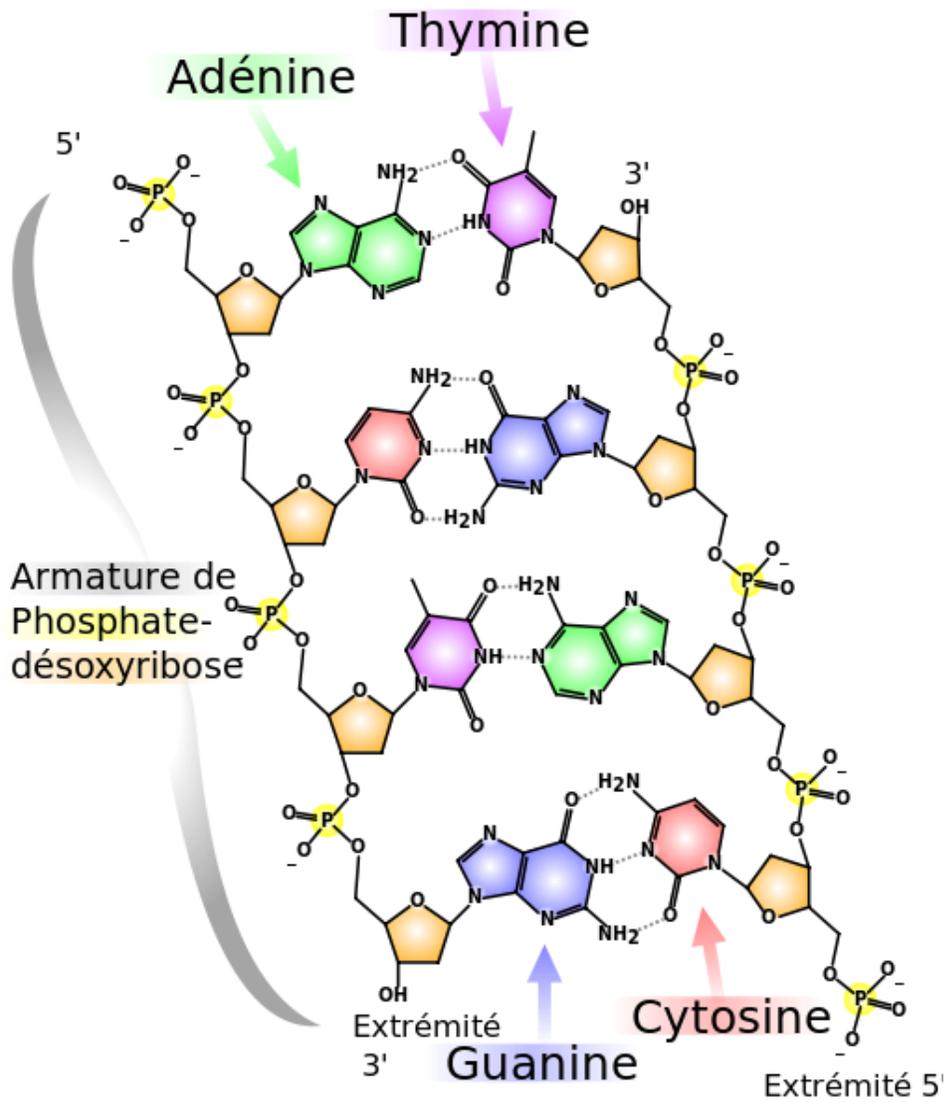


Figure 2 : Structure de l'ADN

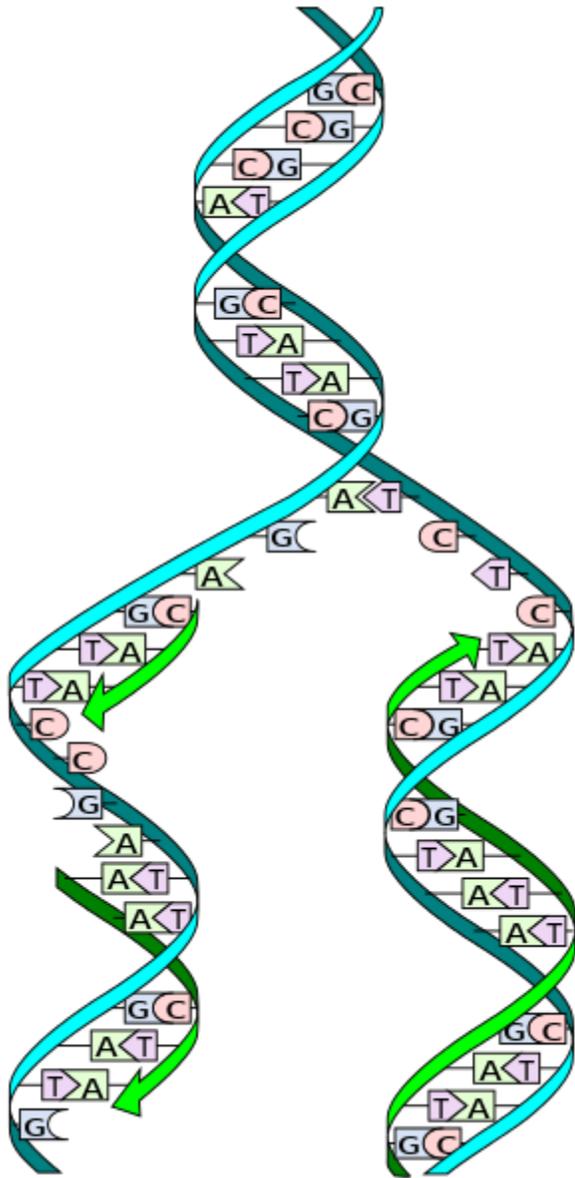


Figure 3 : Replication de l'ADN