CELLULE – EGG

Le magazine scientifique de
l'école Georges Gusdorf

Deuxième numéro :

La recherche, entre expériences et enjeux économiques



Sommaire



01 Decoding DNA: From Replication to PCR and Sequencing

Understanding the molecular foundations of genetic information and modern analysis techniques

p. 5



02 Dividing Life: Understanding the Cell Cycle, Mitosis and Meiosis

Exploring how cells grow, duplicate and transmit genetic material

p. 10



03 Expressing Genes: From Transcription and Translation to Protein Analysis

From DNA to proteins: mechanisms and laboratory techniques

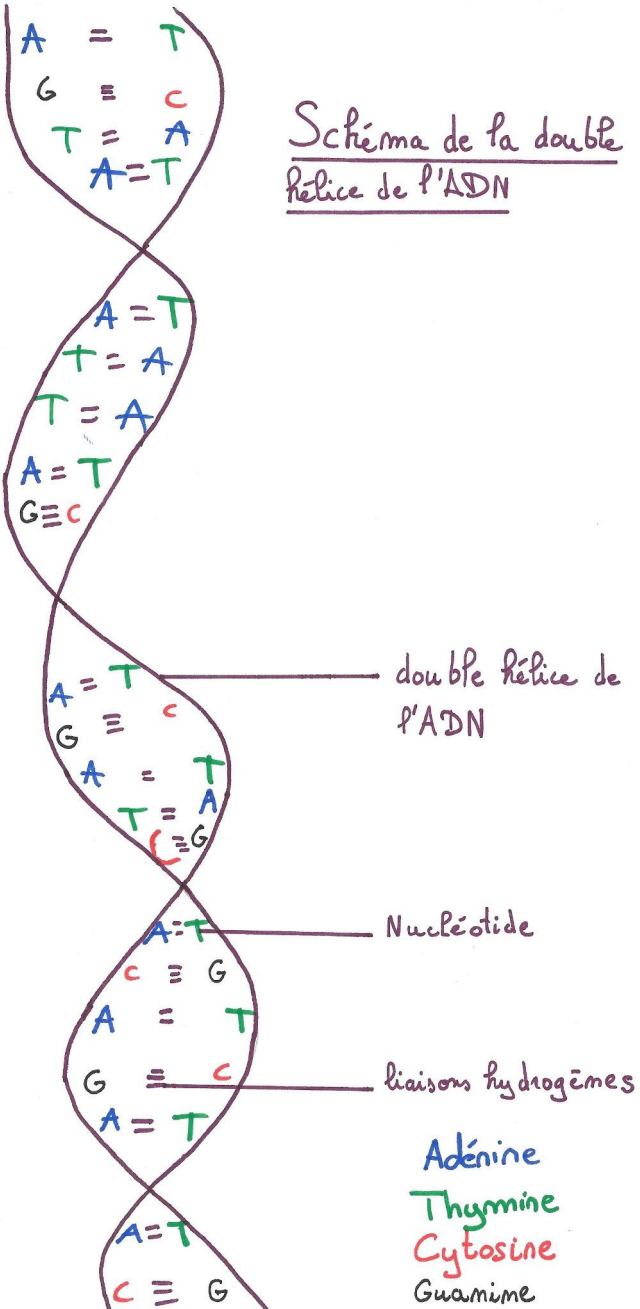
p. 13



04 Dossier spécial – L'économie de la recherche

Innovation, investment and global scientific competition

p. 21


Schéma de la double hélice de l'ADN
double hélice de l'ADN
Nucléotide
liaisons hydrogènes
Adénine
Thymine
Cytosine
Guanine

Decoding DNA: From Replication to PCR and Sequencing

DNA is the molecule that carries genetic information in all living organisms. In order to transmit this information, cells must be able to copy their DNA accurately. This process, called DNA replication, is essential before cell division and is also the basis of several laboratory techniques such as PCR.

DNA replication and PCR

Before explaining what PCR is, we must first understand replication and DNA structure.

DNA is composed of a sequence of nucleotides, each consisting of a nitrogenous base, a sugar molecule and a phosphate group. There are 4 types of nucleotides: A (adenine), T (thymine), C (cytosine) and G (guanine). DNA is double-stranded, where A pairs with T and C pairs with G.

Replication is a biological process that produces two identical copies of double-stranded DNA from a single molecule. It allows the transmission of genetic information from the parent cell to the two daughter cells before cell division (mitosis or meiosis). This process takes place during the S phase of the cell cycle.

PCR is a method used to amplify, multiply or copy a specific DNA sequence. It is therefore an in vitro technique that allows the production of large quantities of a DNA fragment of defined length from a very small sample. It is mainly used in research and medicine, for example in molecular cloning or in the diagnosis of diseases.

In practice, PCR is used to detect the presence of specific DNA or RNA sequences from an infectious agent. When the infectious agent has RNA, it must first be converted into complementary DNA. Specific primers are then designed to recognize the target sequence. PCR does not directly determine the sequence of DNA, but it allows the amplification of a known or targeted sequence, which can then be analyzed by other techniques such as sequencing.

PCR became a major molecular biology technique in the 1990s and is widely used in diagnostics. It was notably used in the study and detection of viruses such as HIV, which contributed to its development and widespread use.

***

Once DNA can be amplified using PCR, scientists may want to analyze its exact composition. This leads to sequencing techniques, which allow the precise determination of the order of nucleotides in a DNA fragment. Among these methods, Sanger sequencing has played a major role in the development of molecular biology.

Sanger sequencing

Sanger sequencing is a method developed in 1977 by Frederick Sanger and his colleagues. The objective of this method is to determine the exact nucleotide sequence of a specific fragment of DNA.

This method is based on the use of dideoxynucleotides, which interrupt DNA synthesis because they do not have the chemical group required to continue elongation. As a result, DNA fragments of different lengths are produced, which allows the DNA sequence to be read.

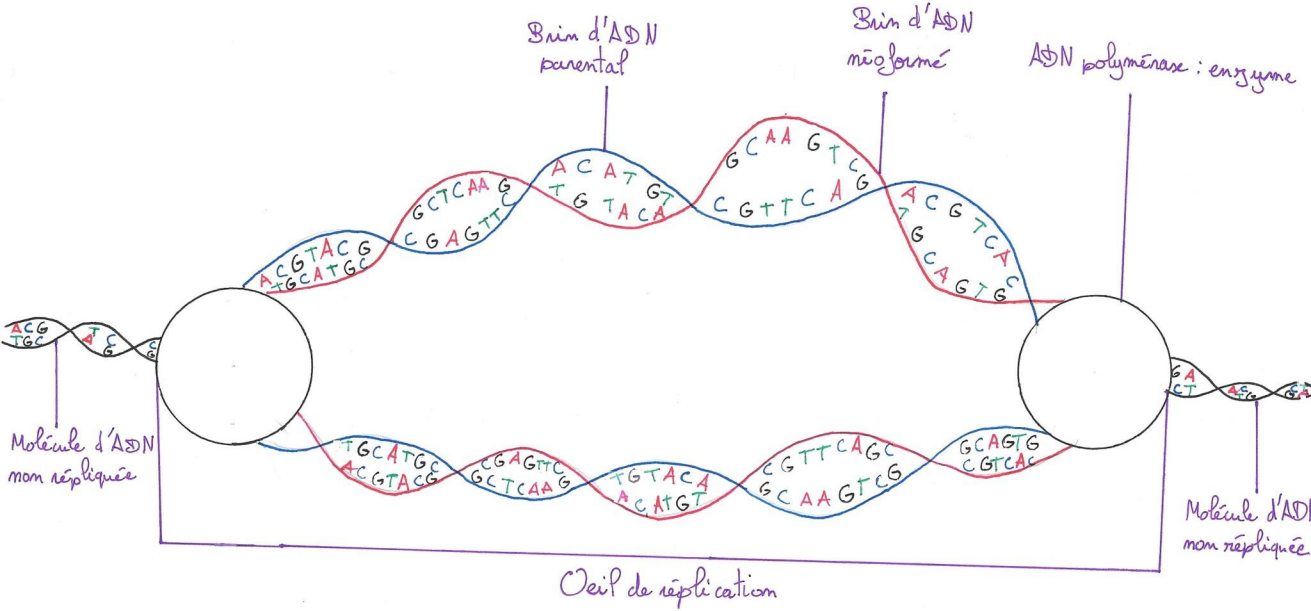
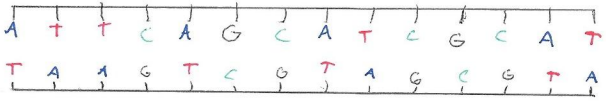


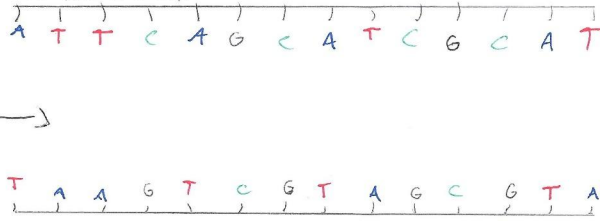
Schéma de la réplication de l'ADN

Clonage de l'ADN (PCR)

0)

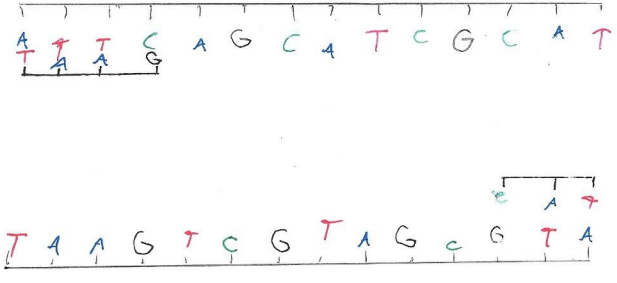


1) Dénaturation



Hybridation des :

2) Amorces



3) Elongation

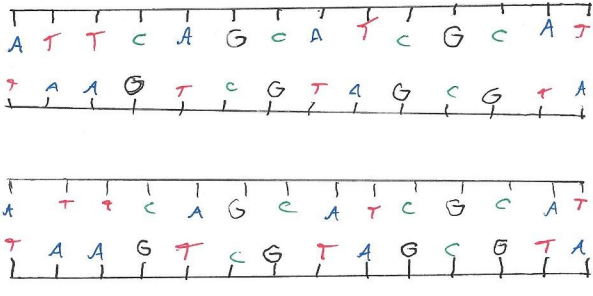
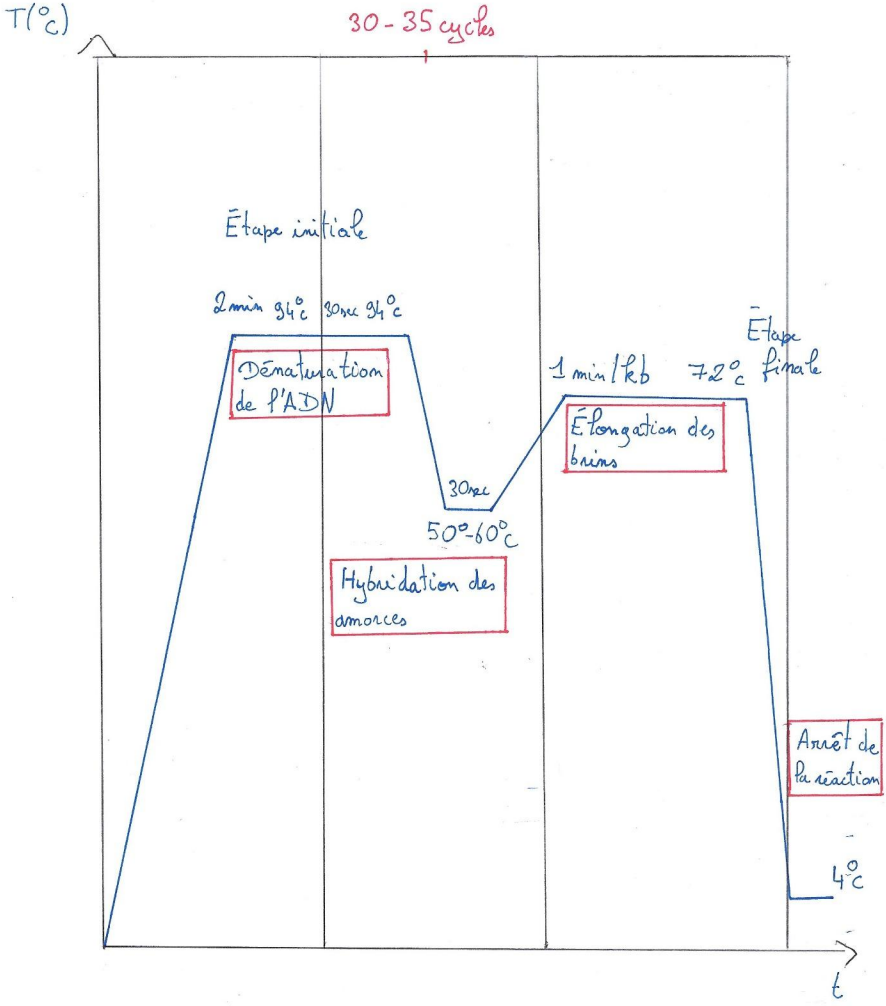


Schéma de la variation de température lors des cycles de PCR



Shema du séquençage de l'ADN

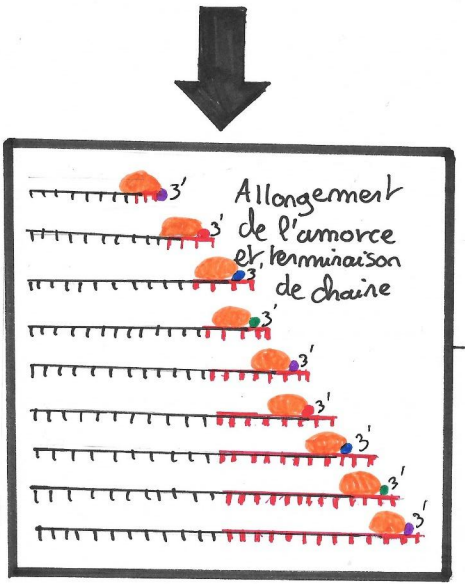
Mélange Réactif

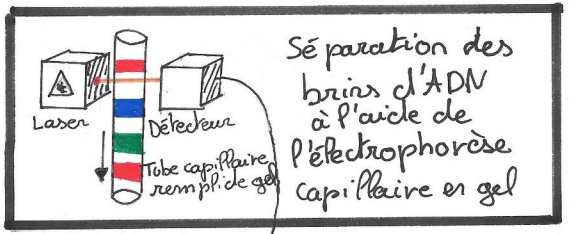
Amorce

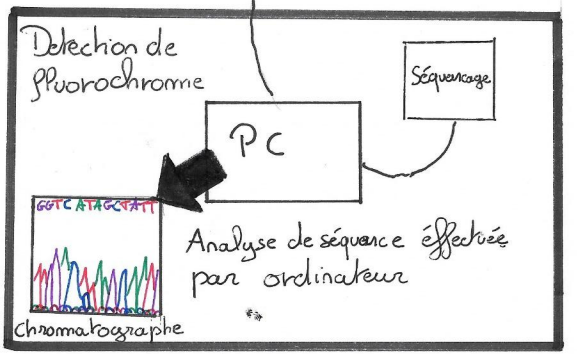
Matrice

ddTTP ddCTP ADN Polymérase

ddATP ddGTP







The first step consists of preparing a mixture of reagents containing the DNA to be sequenced, a primer, DNA polymerase, normal nucleotides and modified nucleotides. The second step is the elongation of the primer during which DNA synthesis occurs and is randomly stopped by the incorporation of a dideoxynucleotide. The third step is the separation of DNA fragments according to their size using capillary electrophoresis. The final step is the analysis of the sequence by a computer, which detects the fluorescent signals associated with each nucleotide.

Sanger sequencing can be automated, which has made the technique faster and more efficient.

Dividing Life: Understanding the Cell Cycle, Mitosis and Meiosis

DNA replication does not occur randomly but is tightly controlled within the cell cycle. The cell cycle organizes the different stages of a cell's life, including growth, DNA synthesis and division. Understanding this cycle is essential to understand how cells function and reproduce.

Cell Cycle

The cell cycle is the set of stages that a cell goes through from its formation to its division into two daughter cells. It allows the cell to grow, replicate its DNA and divide, ensuring the continuity of genetic information.

The cell cycle is divided into two main parts: interphase and the division phase. Interphase is the longest part of the cycle and is composed of three stages called G1, S and G2. During the G1 phase, the cell grows and carries out its normal functions. During the S phase, the DNA is replicated, which means that each chromosome is duplicated. During the G2 phase, the cell continues to grow and prepares for division.

After interphase, the cell enters the division phase, called the M phase, which includes mitosis and cytokinesis. During mitosis, the duplicated chromosomes are separated into two identical sets, which will form the nuclei of the daughter cells. This process is divided into several stages, including prophase, metaphase, anaphase and telophase. At the end of mitosis, cytokinesis occurs, which is the division of the cytoplasm and leads to the formation of two daughter cells.

The cell cycle is tightly regulated to ensure that DNA is correctly replicated and distributed. If errors occur, the cycle can be stopped to prevent the formation of abnormal cells. This regulation is essential for the proper functioning of organisms and for preventing diseases such as cancer.

The cell cycle therefore plays a fundamental role in growth, development and tissue renewal in living organisms.

***

At the end of the cell cycle, cells divide through processes such as mitosis or meiosis. These mechanisms ensure the distribution of genetic material between daughter cells. While mitosis produces identical cells, meiosis introduces genetic diversity.

Mitosis

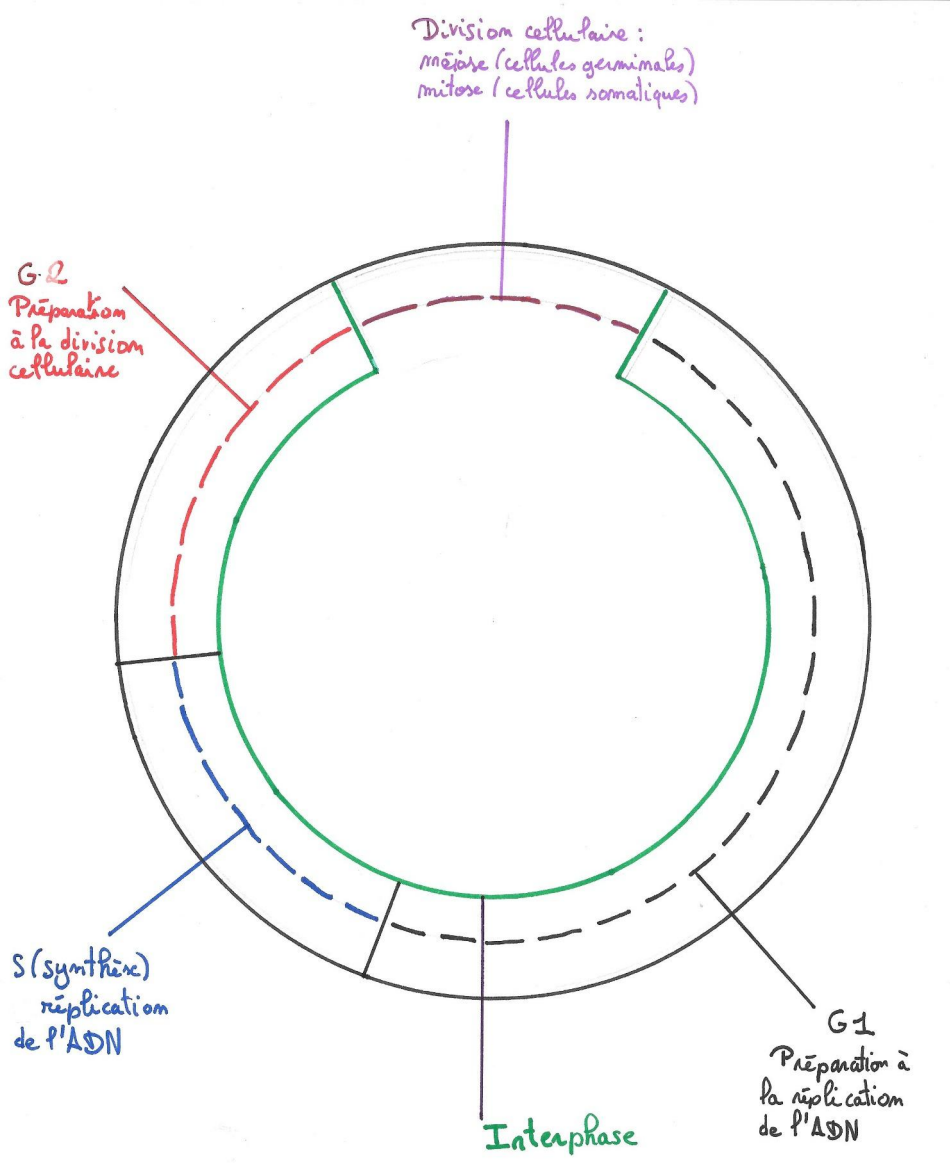
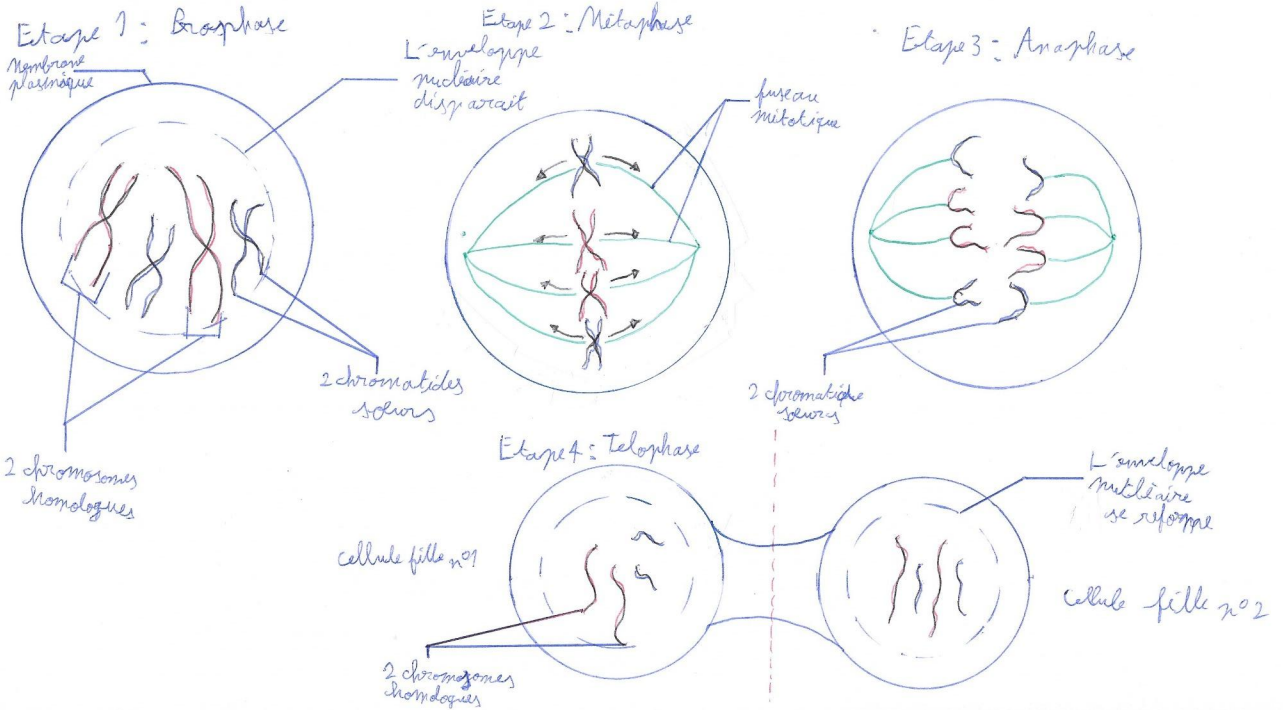


Schéma du cycle cellulaire

La Mitose


Etape 1 : Prophase
Membrane plasmique
L'enveloppe nucléaire disparait
2 chromatides soeurs
2 chromosomes homologues
Etape 2 : Métaphase
fuseau mitotique
Etape 3 : Anaphase
2 chromatide soeurs
Etape 4 : Telophase
L'enveloppe nucléaire se reforme
cellule fille n°1
cellule fille n°2
2 chromosomes homologues

Mitosis is a process of cell division specific to eukaryotic cells, which allows the production of two daughter cells genetically identical to the parent cell. It concerns somatic cells, as opposed to meiosis which produces reproductive cells.

Mitosis only occurs in eukaryotic organisms, because prokaryotic cells, such as bacteria, divide by a simpler mechanism called binary fission.

Successive mitoses allow cell multiplication, both in unicellular and multicellular organisms. In multicellular organisms, they ensure embryonic development, growth and the renewal of cells throughout life.

Thanks to mitosis, the number of chromosomes remains constant from one cell to another. The cytoplasm may be distributed unevenly, but the genetic material is normally distributed identically.

Mitosis corresponds to the M phase of the cell cycle and occurs after interphase, which is composed of the G1, S and G2 phases.

Mitosis includes four phases: prophase, metaphase, anaphase and telophase.

During prophase, DNA condenses into visible chromosomes, each consisting of two sister chromatids linked by a centromere. The mitotic spindle forms and the nuclear envelope gradually disappears.

During metaphase, chromosomes align at the center of the cell on the equatorial plate. Spindle microtubules attach to the chromosomes at the kinetochores.

During anaphase, sister chromatids separate and migrate toward opposite poles of the cell.

Finally, during telophase, chromosomes decondense and two new nuclei reform. The division of the cytoplasm, called cytokinesis, results in two daughter cells.

***

Meiosis

Meiosis is a double cell division that reduces the number of chromosomes by half and leads to the formation of gametes.

It consists of two successive divisions, each including the phases prophase, metaphase, anaphase and telophase.

During prophase I, chromosomes condense and homologous chromosomes pair up. A key process called crossing-over occurs between non-sister chromatids, which creates genetic diversity.

During metaphase I, homologous chromosomes align at the center of the cell and attach to the spindle fibers via their kinetochores.

During anaphase I, homologous chromosomes separate and move toward opposite poles, without division of the centromeres.

During meiosis II, which is similar to mitosis, the chromatids separate during anaphase II.

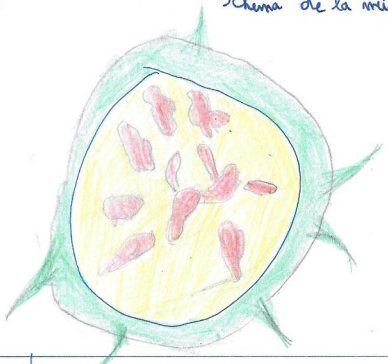
A human somatic cell contains 46 chromosomes, while a human gamete contains 23 chromosomes.

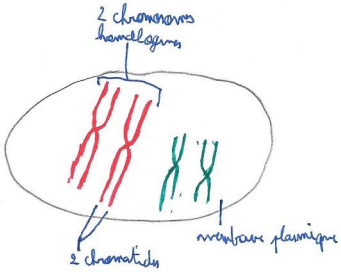
Expressing Genes: From Transcription and Translation to Protein Analysis

Once cells are formed, they must use the genetic information stored in DNA. This information is first transcribed into RNA, which

Prophase I.

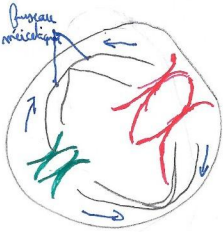
Schéma de la mitose et au microscope (1ère division)





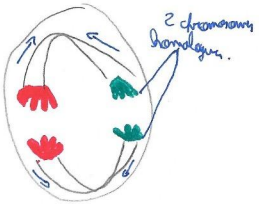
Métaphase I.



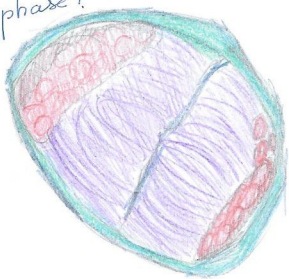


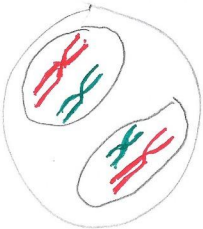
Anaphase I.





Telophase I.

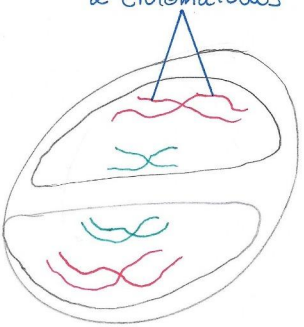




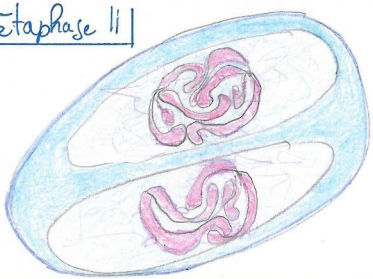
Shéma de la Méiose et au microscope (2ème division)

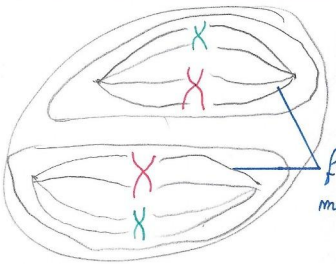
Prophase II



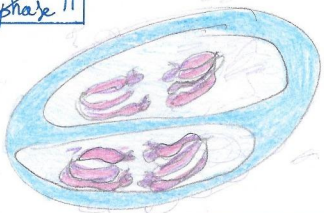


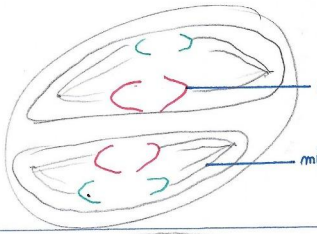
Métaphase II



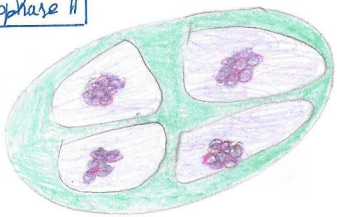


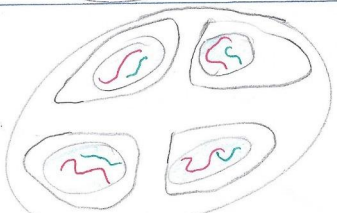
Anaphase II





Télophase II





4 cellules filles = 4 gamètes By

serves as an intermediate step between DNA and protein synthesis. This process allows genes to be expressed.

Transcription and translation

Transcription takes place in the nucleus of the cell. The DNA double helix opens and an enzyme called RNA polymerase synthesizes a pre-messenger RNA from a DNA template strand.

RNA differs from DNA in several ways. RNA contains ribose instead of deoxyribose, uracil instead of thymine, and is usually single-stranded.

The pre-messenger RNA undergoes maturation during which introns are removed and exons are kept. This process is called splicing. The resulting messenger RNA leaves the nucleus through nuclear pores and enters the cytoplasm.

The messenger RNA is then translated by ribosomes, which synthesize a protein according to the sequence of codons. Each codon corresponds to an amino acid. Translation begins at a start codon, AUG, continues with elongation, and ends when a stop codon is reached.

After translation, some proteins, depending on their destination, may undergo folding, modification and sorting in cellular structures such as the endoplasmic reticulum and the Golgi apparatus.

***

To study proteins, scientists use different experimental techniques. Among them, Western blot allows the detection and estimation of protein quantity, while immunofluorescence makes it possible to visualize their localization in cells. These modern methods are widely used in research and diagnostics.

Western Blot

The Western blot is a semi-quantitative method used to detect specific proteins in a complex sample and to estimate their size and relative amount.

The technique begins with the separation of proteins by gel electrophoresis. Proteins migrate through the gel according to their size, with smaller proteins moving faster and further than larger ones.

After separation, the proteins are transferred onto a membrane, which provides a stable support for detection. The membrane is then treated to block non-specific binding sites, ensuring that antibodies will bind only to the protein of interest.

The membrane is incubated with a primary antibody that specifically recognizes the target protein. A secondary antibody is then added; it binds to the primary antibody and is linked to a detection system, often an enzyme.

Finally, a reagent is added to reveal the protein. This reaction produces a visible signal, usually in the form of a band on the membrane. The position of the band indicates the size of the protein, while its intensity provides an estimation of its quantity in the sample.

***

Immunofluorescence

Immunofluorescence is a method based on the principles of immunology and fluorescence. It

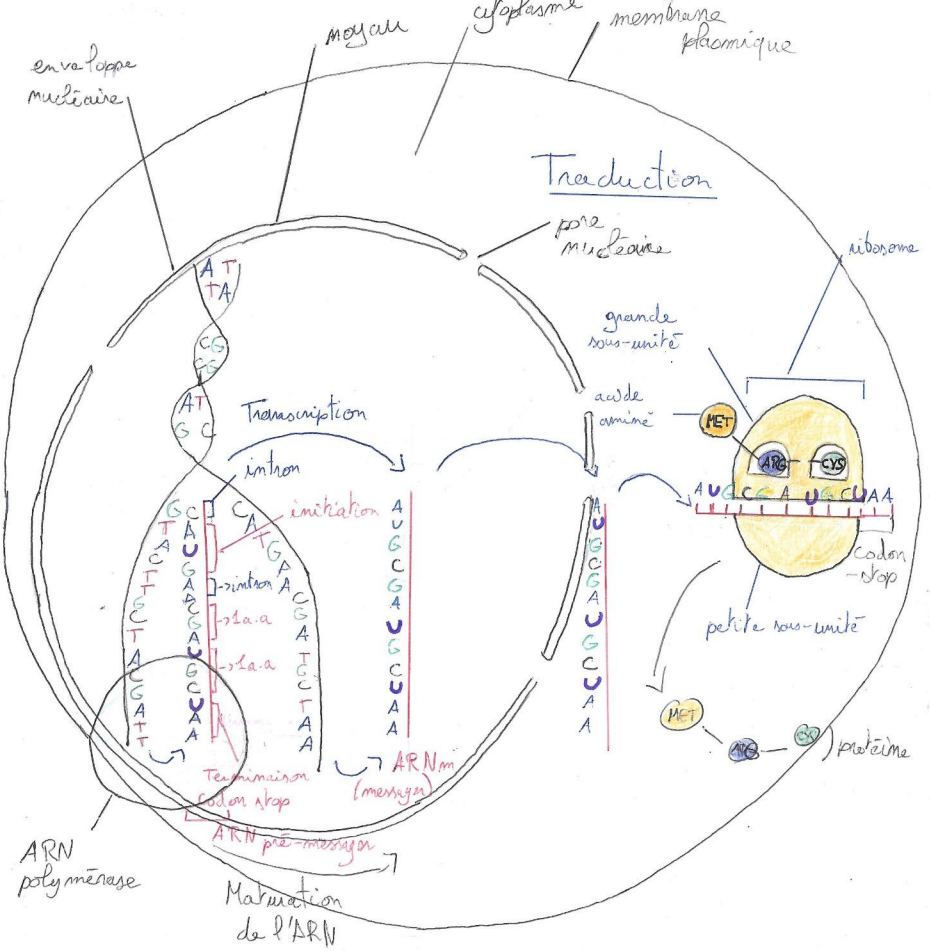


Schéma de la transcription et de la traduction

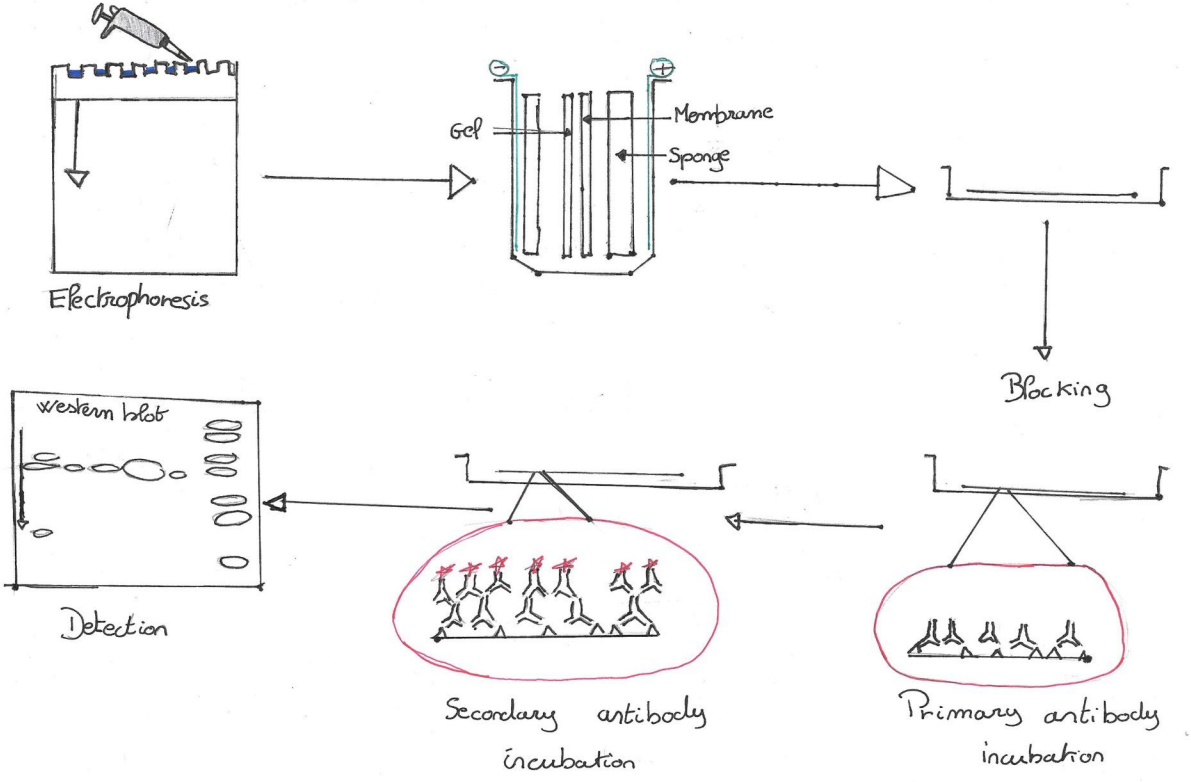


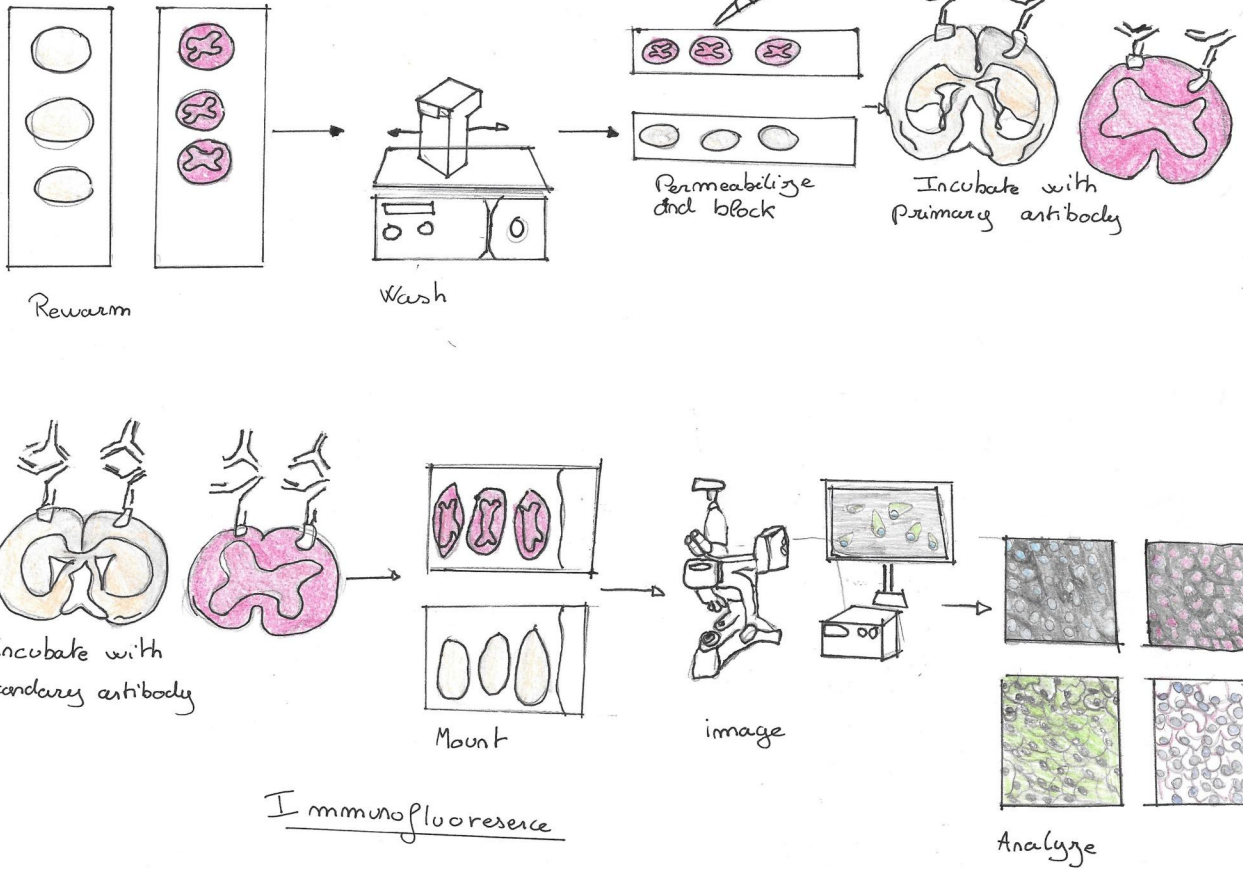
Schéma du Western Blot

allows the detection and localization of specific proteins or other molecules in cells or tissues using antibodies that bind specifically to their target antigen. These antibodies can be directly labeled with a fluorescent marker or revealed using a secondary antibody carrying a fluorescent molecule.

The technique begins with the preparation of the sample in order to preserve the structure of the cells and allow antibodies to access their target. This step may include fixation and permeabilization. Non-specific binding sites are then blocked to reduce background noise and improve the specificity of the signal.

The sample is then incubated with a primary antibody that binds to the target antigen. In the case of indirect immunofluorescence, a secondary antibody binds to the primary antibody, which allows signal amplification. These incubations can be carried out either at room temperature for a few hours or overnight at low temperature.

After incubation, several washing steps are performed to remove unbound antibodies and improve the quality of the result. The target molecule is then revealed thanks to the fluorescent markers. The sample is mounted in a suitable medium to preserve it and is finally observed under a fluorescence microscope. This microscope excites the fluorochromes, which emit light and make it possible to visualize the distribution of the target molecule within the cells or tissues.



Immunofluoresence

Dossier spécial

L'économie de la recherche

Dans le monde de la recherche, il faut distinguer deux types de financement : d'une part les dépenses publiques des États, et d'autre part celles des entreprises privées.

Lorsqu'un État investit dans la recherche, il peut poursuivre plusieurs objectifs.

Le premier, le plus évident, est de contribuer au progrès scientifique mondial et d'améliorer les connaissances.

Le deuxième consiste à soutenir les entreprises nationales et à favoriser les avancées économiques, sanitaires ou éducatives au bénéfice des citoyens.

Le troisième objectif est d'améliorer le service public, notamment en matière de sécurité et de défense, en développant des recherches stratégiques.

Par exemple, la Russie a fortement augmenté ses dépenses militaires en lien avec la guerre en Ukraine. Même si les données précises restent limitées, plusieurs milliards de dollars sont investis dans l'innovation militaire, notamment dans le domaine des drones.

Après avoir distingué les différentes sources de financement de la recherche et les objectifs poursuivis par les États, il est important de comprendre les effets concrets de ces investissements. En particulier, la recherche joue un rôle central dans le développement des sociétés et l'amélioration du quotidien.

***

Les bénéfices de l'investissement dans la recherche et l'éducation

L'investissement dans la recherche, associé à celui dans l'éducation, contribue au bien-être des populations et à la création de technologies aujourd'hui indispensables dans notre vie quotidienne.

Nous pouvons observer des différences importantes d'investissement entre les pays, notamment entre les États-Unis et la France.

La France connaît des contraintes budgétaires importantes. En 2024, les dépenses publiques de recherche et développement ont diminué d'environ 2,6 %, atteignant environ 16,2 milliards d'euros.

Ce phénomène pose problème car en France, environ deux tiers de la recherche sont financés par le secteur public. Une baisse des financements entraîne donc mécaniquement une réduction des moyens et du nombre de chercheurs.

À l'inverse, les États-Unis ont investi entre 200 et 210 milliards de dollars en 2023. Les dépenses par habitant y sont également nettement plus élevées, autour de 600 dollars par an, contre environ 240 euros en France.

Cela signifie que la France dépense environ 40 % du niveau américain, ce qui illustre un écart significatif.

De nombreuses innovations majeures sont issues de ces investissements, notamment celles liées à Internet, développées en grande partie aux États-Unis entre les années 1960 et 2000. Des entreprises comme Google, Apple ou Microsoft ont bénéficié de cet environnement favorable.

Des études économiques ont montré que les dépenses publiques en recherche contribuent fortement au développement des pays. Associées à l'éducation et à la stabilité politique, elles ont notamment permis à

Singapour de passer d'un port pauvre à une économie très développée, avec un PIB par habitant dépassant les 100 000 dollars.

La France a également bénéficié d'investissements importants entre les années 1950 et 1990, avec des innovations majeures comme le Minitel, le TGV ou encore le programme spatial Ariane. Ces avancées ont contribué au développement industriel et technologique du pays, notamment dans l'aéronautique avec Airbus.

De même, la Corée du Sud a mis en place une stratégie fondée sur l'éducation et la recherche, permettant l'émergence de grands groupes industriels comme Samsung ou LG.

Si les investissements en recherche permettent d'améliorer le bien-être et de stimuler l'innovation, ils répondent également à des enjeux de puissance. Certains domaines, comme le militaire ou le spatial, illustrent particulièrement cette dimension stratégique.

L'investissement stratégique : militaire, spatial et économique

Les États-Unis disposent d'un budget militaire très élevé, supérieur à 900 milliards de dollars, ce qui leur permet de maintenir une avance technologique significative.

Les investissements dans la défense visent notamment à développer des technologies avancées, comme les avions furtifs ou les porte-avions, qui jouent un rôle stratégique dans la puissance militaire.

La conquête spatiale illustre également l'importance des investissements en recherche. Après les premiers succès soviétiques, les États-Unis ont lancé leurs propres programmes, notamment le programme Mercury, puis Apollo.

Depuis les années 2000, de nouveaux acteurs privés sont apparus, comme SpaceX ou Blue Origin. Ces entreprises ont permis de réduire considérablement le coût d'accès à l'espace, notamment grâce à la réutilisation des fusées.

Les technologies développées dans ce cadre ont de nombreuses applications, notamment dans les télécommunications, et contribuent au fonctionnement des réseaux de communication à l'échelle mondiale.

Par ailleurs, de nouvelles puissances comme la Chine, l'Inde ou le Brésil investissent massivement dans la recherche afin d'accroître leur influence économique et technologique.

La Chine, par exemple, a choisi de se positionner sur des technologies émergentes comme les moteurs électriques, les batteries ou les énergies renouvelables, ce qui lui a permis de rattraper rapidement son retard et d'acquérir un avantage stratégique.

Au-delà des enjeux de puissance et de compétition internationale, la recherche joue aussi un rôle fondamental dans la santé des populations. La recherche médicale constitue ainsi un domaine essentiel, directement lié à la qualité de vie et aux défis sanitaires mondiaux.

La recherche médicale

La recherche médicale constitue un pilier essentiel pour répondre aux défis sanitaires actuels et futurs.

Elle vise à améliorer la qualité de vie des patients, notamment grâce à la médecine personnalisée, qui permet de proposer des traitements plus ciblés et de réduire les effets secondaires.

Elle joue également un rôle majeur dans la lutte contre les épidémies, grâce au développement de vaccins, de traitements et de systèmes de surveillance.

Un autre objectif est de réduire les inégalités d'accès aux soins, même si les contraintes économiques et sociales limitent encore cet objectif, en particulier dans le secteur privé.

Les nouvelles technologies, notamment l'intelligence artificielle, permettent d'améliorer le diagnostic, le suivi des patients et l'analyse des données médicales.

L'IA peut identifier des modèles complexes, prédire l'efficacité de traitements et automatiser certaines tâches administratives.

Cependant, ces avancées soulèvent également des questions éthiques, notamment en ce qui concerne la protection des données et le respect du secret médical.

Pour mieux comprendre l'organisation actuelle de la recherche, il est utile de revenir sur son évolution historique dans certains pays. L'Allemagne offre un exemple particulièrement marquant du développement du modèle scientifique moderne.

Histoire de la recherche en Allemagne

C'est en Allemagne que le modèle moderne d'université de recherche a émergé au début du XIXe siècle.

Ce modèle, fondé sur la production de connaissances scientifiques, a fortement influencé les systèmes universitaires dans le monde.

L'Allemagne a connu un âge d'or scientifique jusqu'aux années 1930, avec des figures majeures comme Einstein ou Max Planck.

Cette période a pris fin avec l'arrivée au pouvoir des nazis en 1933, qui a entraîné une fuite de nombreux scientifiques.

Après les deux guerres mondiales, le pays a reconstruit son système de recherche et a progressivement retrouvé une position importante à l'échelle internationale.

Aujourd'hui, l'Allemagne reste un acteur majeur de la recherche, même si son prestige scientifique historique a été partiellement affecté.

Si l'Allemagne a longtemps été un centre majeur de production scientifique, d'autres pays ont progressivement émergé sur la scène internationale. La Chine illustre parfaitement cette montée en puissance récente.

Histoire de la recherche en Chine

La Chine possède une longue tradition scientifique, avec des inventions majeures comme la poudre à canon, la boussole ou l'imprimerie.

Cependant, le XXe siècle a été marqué par des périodes d'instabilité politique qui ont ralenti le développement scientifique.

À partir des années 1980, sous l'impulsion de Deng Xiaoping, la Chine s'ouvre progressivement au monde et investit massivement dans la recherche.

Depuis les années 2000, elle est devenue un acteur majeur dans de nombreux domaines, notamment les technologies de pointe.

La Chine est aujourd'hui l'un des principaux investisseurs mondiaux en recherche et développement.

À l'image de la Chine, d'autres pays asiatiques ont également développé des stratégies efficaces pour renforcer leur capacité d'innovation. Le Japon constitue un exemple intéressant d'adaptation et de modernisation scientifique.

Histoire de la recherche au Japon

Le Japon a connu une transformation majeure à partir de la période Meiji, avec une industrialisation rapide et un investissement important dans l'éducation et la recherche.

Après la Seconde Guerre mondiale, le pays a orienté ses efforts vers l'innovation industrielle, notamment dans l'électronique et l'automobile.

Le Japon est devenu un leader mondial dans ces domaines, grâce à une forte collaboration entre l'État et les entreprises.

Aujourd'hui, il continue d'investir dans des secteurs de pointe comme la robotique et les énergies renouvelables.

Enfin, certains pays ont connu des évolutions plus complexes, liées à leur histoire politique et économique. La Russie représente un cas particulier de transformation du système de recherche.

Histoire de la recherche en Russie

Depuis la chute de l'Union soviétique, le système de recherche russe a connu de profondes transformations.

Il s'oriente aujourd'hui vers une plus grande internationalisation et la création de pôles d'excellence.

Le système universitaire s'est progressivement aligné sur les standards internationaux.

La coopération avec des pays comme la France reste importante, notamment dans les domaines scientifiques et techniques.

Cependant, la centralisation du système autour de grandes villes comme Moscou limite le développement des autres régions.

***

L'économie de la recherche repose sur un équilibre entre investissements publics et privés, influencé par des objectifs scientifiques, économiques et stratégiques. Elle joue un rôle essentiel dans le développement des sociétés, que ce soit à travers l'innovation technologique, la santé ou la puissance des États. Dans un monde de plus en plus compétitif, la recherche apparaît ainsi comme un levier majeur de progrès, mais aussi comme un enjeu central des relations internationales.

Ce magazine a été réalisé par l'Enseignement Complémentaire

« Médiation Scientifique ».

Rédaction et illustration :

Oscar AUGUSTIN

Hugo BARSAMIAN

Léo EBERLE

Elena FALCO

Brune GIRARD

Elouan MEUNIER

Clément PEY--ARNOULT

Relecture et mise en page :

Emeline Uchan