



UNIVERSITATEA
DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE
„VICTOR BABEȘ” DIN TIMIȘOARA

Mirela Nicolov

Zoltán Szabadai

PHYSIQUE PHARMACEUTIQUE

Part I

MANUALE

Editura „Victor Babeș”
Timișoara, 2026

Editura "Victor Babeș"

Piața „Eftimie Murgu” nr. 2, cam. 316, 300041 Timișoara

Tel. /Fax 0256 495 210

email: evb@umft.ro

<https://www.umft.ro/ro/organizare-evb/>

Director general: Prof. univ. dr. Sorin Ursoniu

Colecția: MANUALE

Coordonatori colecție: Prof. univ. dr. Codruța Șoica

Prof. univ. dr. Daniel Lighezan

Referent științific: Prof. univ. dr. Cristina Adriana Dehelean

© 2026

Toate drepturile asupra acestor ediții sunt rezervate.

Reproducerea parțială sau integrală a textului, pe orice suport, fără acordul scris al autorilor este interzisă și se va sancționa conform legilor în vigoare.

ISBN General: 978-606-786-610-0

ISBN Vol.: I 978-606-786-609-4

PHYSIQUE PHARMACEUTIQUE- partI

LA PHYSIQUE- INTRODUCTION	6
1.MÉCANIQUE.....	7
1.1.HISTOIRE DE LA MÉCANIQUE	7
1.2.LIMITES DE LA MÉCANIQUE.....	8
1.3.GRANDEURS ET UNITES PHYSIQUES .TRANSFORMATIONS DES UNITES .GRANDEUR PHYSIQUE ET LA MESURE	10
1.4.GRANDEURS SCALAIRES ET VECTORIELLES. OPERATIONS AVEC LES VECTEURS.	24
1.5.ÉLÉMENTS DE CINÉMATIQUE.....	28
1.6.SYSTÈME DE COORDONNÉES CARTÉSIEN.....	29
1.7.LE SYSTÈME DE COORDONNÉES POLAIRES DANS UN PLAN	33
1.8.TYPES DES MOUVEMENTS.....	35
1.9.MOUVEMENT CIRCULAIRE UNIFORME.....	40
1.10.LA CENTRIFUGATION	42
1.11.LES PRINCIPES DE LA MECANIQUE NEWTONIENNE.....	49
1.12. STATIQUE	63
1.13.LEVIERS	72
1.14. BALANCE	78
2. THÉORIE DES OSCILLATIONS	82
2.1. MOUVEMENT OSCILLATOIRE HARMONIQUE	83
2.2.MOUVEMENT OSCILLATOIRE AMORTI.....	86
2.3. MOUVEMENT OSCILLATOIRE FORCÉ.....	89
3. THÉORIE DES ONDES.....	92
3.1. ONDES LONGITUDINALES.....	93
3.2. ONDES TRANSVERSALES.....	96
4. THERMODYNAMIQUE	99
4.1.POSTULATS DE LA THERMODYNAMIQUE.....	101
4.2. PRINCIPE ZÉRO DE LA THERMODINAMIQUE	102
4.3.PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE	113
4.4.LE DEUXIÈME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE.....	115
4.5.LA TROISIÈME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE	116

4.6. APPLICATIONS DU PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE EN BIOPHYSIQUE.....	117
4.7. APPLICATIONS DU DEUXIÈME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE EN BIOPHYSIQUE.....	119
4.8. CALCUL DU TRAVAIL MECANIQUE, DE LA CHALEUR ET DE LA VARIATION DE L'ENERGIE DANS LES PROCESSUS THERMODYNAMIQUES SIMPLES.....	124
4.9.CALCUL DES POTENTIELS THERMODYNAMIQUES.....	133
4.10.APPLICATIONS DU DEUXIEME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE. CYCLES ET MOTEURS THERMIQUE.....	139
5. PHYSIQUES DES LIQUIDES.....	150
5.1.PROPRIETES GENERALES DES LIQUIDES. INTRODUCTION.....	150
5.2.MODELES DE LIQUIDES.....	153
5.3.STATIQUE DES FLUIDES	157
5.3.1.LOI DE PASCAL	159
5.3.2.LOI D'ARCHIMÈDE	160
5.3.3.LOI DE BERNOULLI	164
5.3.4. LA VISCOSITÉ.....	166
5.3.5.LA FORMULE DE POISEUILLE	169
5.4.APPLICATIONS: HÉMODYNAMIQUES	172
5.5.LA MOLÉCULE D'EAU	175
5.6. LIQUIDES – PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES.....	184
6.SYSTÈMES DISPERSÉS	208
7.PHENOMENES DES TRANSPORT DE LA SUBSTANCE	226
7.1. DIFFUSION	227
7.2. L'OSMOSE	233
8.TRANFERT DE CHALEUR PAR CONDUCTION, CONVECTION ET RADIATION.....	237
8.1. TRANFERT DE CHALEUR PAR CONDUCTION	237
8.2. TRANFERT DE CHALEUR PAR CONVECTION.....	239
8.3.TRANSFERT DE CHALEUR PAR RAYONNEMENT	240
8.4. TRANSPORT DE CHALEUR A TRAVERS LE CORPS HUMAIN	241
9. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE LA CELLULE, LE NOYAU ET LES MEMBRANES BIOLOGIQUES	242
9.1. CELLULE	242
9.2.LE NOYAU	247

9.3.	MEMBRANE CELLULAIRE	250
9.4.	TRANSMISSION SYNAPTIQUE	269
9.5.	SYNAPSE CHIMIQUE - TYPES DE MEDiateURS CHIMIQUES.....	276
10.	EXEMPLES DE QCM POUR L'EXAMEN	301
11.	REFERENCE	308

LA PHYSIQUE- INTRODUCTION

La physique (du grec ancien: physis φύσις «nature») est une branche de la science qui s'est développée dans la philosophie, et a été considérée comme la philosophie naturelle jusqu'à la fin du 19^e siècle, un terme qui décrit un champ d'étude du type « mode de fonctionnement de la nature ».

Aujourd'hui, **la physique est traditionnellement définie comme l'étude de la matière, de l'énergie, et de la relation entre elles.**

La physique est dans un certain sens, la science pure la plus ancienne et fondamentale; ses découvertes trouvent des applications dans toutes les sciences naturelles, puisque la matière et l'énergie sont les constituants de base du monde naturel.

D'autres sciences sont généralement plus limitées dans leur domaine et peuvent être considérées comme des branches qui se sont séparées de la physique pour devenir des sciences à part entière. La physique d'aujourd'hui peut être divisée en physique classique et physique moderne.

La physique est devenue plus que la science fondamentale qui nous aide à comprendre l'univers et les lois de la nature. La physique est devenue la base d'une économie construite à partir de lasers de haute technologie, de fibre optique, de dispositifs semi-conducteurs, de matériaux avancés, et de nombreuses autres innovations. Cela signifie que la physique nous donne la possibilité d'être présents pour construire l'avenir de la même manière qu'elle nous aide à comprendre le monde qui nous entoure. **La réponse aux questions fondamentales de domaines aussi divers que la médecine, la science des matériaux, l'industrie en général, les affaires ou la politique réside dans les principes et les lois de la physique.**

L'objectif fondamental de la physique est de comprendre la transformation de la matière et de l'énergie à tous les niveaux, depuis les origines de l'univers lors du Big Bang jusqu'à l'intérieur de l'atome. **Dans leurs recherches et leurs tentatives de comprendre et d'expliquer tout cela, les physiciens et la physique ont changé nos vies.** Voici quelques-unes des réalisations du 20^e siècle qui leur sont dues: L'énergie électriques, la radio, la télévision et la téléphonie mobile, Le voyage à la lune ou d'autres planètes, Le transistor et la révolution électronique, y compris l'ordinateur et les réseaux informatiques. Le premier ordinateur numérique est le travail d'un physicien, Howard Aiken. Le web (le www) dont l'invention est due au besoin des physiciens de communiquer rapidement dans un réseau informatique, L'imagerie médicale, l'imagerie par résonance magnétique, les ultrasons, la tomographie par émission de positrons, l'endoscopie

La découverte du Big Bang, des trous noirs et de l'expansion accélérée de l'Univers (<http://phys.ubbcluj.ro/>)

La physique est un art de comprendre les choses. Depuis des milliers d'années, les gens se demandent pourquoi les étoiles brillent, pourquoi la pierre est dure ou l'or brille. Maintenant, nous avons les réponses.

Da Vinci esquisse la turbulence dans l'eau qui coule, que nous pouvons maintenant expliquer, il dessine de fantastiques machines volantes que nous pouvons maintenant construire.

Les gens ont rêvé d'être en mesure de communiquer d'un continent à l'autre, de toucher la lune ou de regarder l'intérieur de l'atome. Maintenant, toutes ces choses sont devenues des réalités. La physique nous apprend à transformer un problème mal formulé en un problème intelligible, à le résoudre et à communiquer les résultats avec clarté.

Un expérimentateur est plus qu'un savant, il est ingénieur, électricien, chimiste, maître mécanicien, plombier (encore plus spécialisé dans l'hélium liquide que dans l'eau), charpentier, expert en programmation, inventeur, écrivain et penseur

1.MÉCANIQUE

1.1.HISTOIRE DE LA MÉCANIQUE

Des connaissances de mécanique existent depuis l'antiquité, en particulier les problèmes de statique.

ARCHIMÈDE (287-212 av.J.-C.) conçoit la théorie du levier, la théorie du centre de gravité (250 av.J.-C.) jette les bases de l'hydrostatique, fait de nombreuses inventions techniques.

Le développement intensif de la mécanique commence à l'époque de la Renaissance:

L ÉONARD de VINCI (1452-1519) donne une théorie des mécanismes, l'étude des lois du frottement, la théorie du plan incliné, définit et d'applique le moment d'une force.

GALILEO GALILEI (1564-1642) est à l'origine de la dynamique, celui qui découvre la loi d'inertie, la loi de la chute des corps, les lois du pendule, etc

CHRISTIAN HUYGENS (1629-1695) découvre le pendule physique, le moment d'inertie, présente les concepts de force centrifuge, moment d'inertie, centre d'oscillation et pose les fondements de la théorie ondulatoire dans "Traité de la lumière".

ISAAC NEWTON (1643-1727) dans son célèbre ouvrage "*PHILOSOPHIAE NATURALIS PRINCIPIA MATHEMATICA*" (1687) donne les lois de la dynamique et la construction de la mécanique théorique. Il formule aussi la loi de la gravitation universelle et l'applique à la mécanique céleste.

La mécanique a été développée par **LEONARD EULER** (1707-1783), **JEAN D'ALEMBERT** (1717-1783), **JOSEPH LAGRANGE** (1730-1813), **WILLIAM HAMILTON** (1805-1865), etc

La stabilité des systèmes dynamiques a été étudiée par **H. POINCARÉ** (1854-1912) et **M. A. LYAPUNOV**.

La dynamique des corps avec masse variable a été développée par **I.V. MESCERSKI** (1859-1935) et **T. LEVI-CIVITA** (1873 à 1941).

En Roumanie, **ANGHEL SALIGNY**, **SPIRU HARET**, **ANDREI IOACHIMESCU**, **ION IONESCU**, **GH. EM. FILIPESCU**, **V. VALCOV**, **O. ONICESCU** apportent leur contributions de valeur.

1.2.LIMITES DE LA MÉCANIQUE

Les concepts néonewtoniens ont pendant longtemps exercé une forte influence sur toute la physique.

Ainsi est née une **conception mécaniste de la nature**, selon laquelle toutes les sciences naturelles devaient être réduites à des lois mécaniques.

Ce point de vue a été réfuté à la fin du siècle dernier étant donné l'impossibilité de réduire les phénomènes électromagnétiques à des mouvements mécaniques.

Il a été créé une image électromagnétique du monde qui expliquait tous les phénomènes par l'électromagnétisme. Cette explication n'est pas possible non plus parce que les forces nucléaires ne peuvent pas être réduites à des forces électromagnétiques. La matière étant infinie et inépuisable, aucune théorie donnée ne peut être universelle et définitive. L'application de la mécanique newtonienne classique est limitée aux seuls organismes de taille ordinaire ou grands (macroscopiques) et à basse vitesse par rapport à la vitesse de la lumière dans le vide ($c = 3.10^8 \text{ m / s}$).

Pour de grandes vitesses proches de la vitesse de la lumière a été créée en 1905 la mécanique relativiste par ALBERT EINSTEIN (1879-1955).

Pour les particules de taille atomique a été créé en 1925 la mécanique quantique de SCHRÖDINGER W. HEISENBERG, L. DE BROGLIE, PAM DIRAC et autres.

SIMON STEVIN (1548-1620) a créé l'équilibre sur le plan incliné et trouvé la décomposition des forces en composantes (la règle du parallélogramme).

La fondation de la dynamique (mouvement proprement dit) est due à GALILEO GALILEI (1564-1642) et son développement à CHRISTIAN HUYGENS.

ISAC NEWTON (1643-1727) l'a transformée jusqu'à un degré de perfection, c'est pourquoi en son honneur elle est appelée la DYNAMIQUE NEWTONIENNE.

Les expériences de GALILEO GALILEI sur la chute des corps ont commencé immédiatement après 1589, et le livre de Newton "*PHILOSOPHIAE NATURALIS PRINCIPIA MATHEMATICA* " a paru en 1687.

Donc, **la dynamique a été créée durant près d'un siècle**, le résultat de cette réalisation est contenu dans deux principes:

le produit de la masse par l'accélération d'un point est égale à la force qui s'exerce sur lui (l'accélération et la force sont des grandeurs vectorielles orientées et le principe exige entre autres que toutes deux aient le même sens). C'est **le principe fondamental de la dynamique.**

À cela s'ajoute **le principe de l'action et de la réaction: les forces exercées entre deux masses sont de taille égale et opposées.**

La signification de l'accélération est devenue claire dès l'époque de Galilée qui a étudié avec des moyens primitifs le concept de vitesse variable. Newton a créé avec GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ (1646-1716) le calcul infinitésimal, ce qui a pu faciliter ce travail.

L'accélération est la variation de la vitesse par rapport à l'unité de temps, la dérivée de la vitesse par rapport au temps et par conséquent la dérivée seconde par rapport au temps du rayon vecteur. Si nous sommes éclairés sur la mesure de la position et du temps, l'explication des concepts de vitesse et d'accélération résulte de soi.

Le premier principe donne une équation différentielle d'ordre 2 pour la position du point en fonction du temps, l'intégration de l'équation donne la trajectoire et la vitesse avec laquelle elle est parcourue.

Si aucune force ne se manifeste, $F = 0$ et le mouvement se produit à une vitesse constante selon le principe d'inertie.

La théorie de la gravitation de Newton a été dépassée par la théorie générale de la relativité d'Einstein en 1916.

Les théories ci-dessus sont qualitativement différentes de la mécanique, mais elles la contiennent comme un cas particulier ou un cas limite (principe de correspondance).

La théorie de l'équilibre – LA STATIQUE- a ses racines dans l'antiquité éloignée : levier, vis, poulie, plan incliné qui ont facilité l'existence humaine. Des notions telles que le poids spécifique, le centre de gravité ont été développées par les Grecs. La statique a culminé avec le principe des déplacements virtuels: il faut calculer pour chaque point matériel le produit de la force par la distance que son point d'application parcourrait si un mouvement se produisait dans la direction de la force.

Le loi du levier est un cas particulier et le principe d'Archimède est un autre cas particulier
ROBERT KIRCHHOFF (1824-1887) dans ses «Conférences sur la mécanique», a affirmé que **LOUIS POISSON (1777-1859)** avait donné une forme définitive à la mécanique des corps rigides.
GASPARD-GUSTAVE CORIOLIS (1792-1843) a examiné l'influence de la rotation de la Terre sur les processus qui s'y déroulent.

LOUIS AUGUSTIN CAUCHY (1789-1859) a donné en 1822 la formulation mathématique la plus générale des notions de tension élastique et de déformation. Cauchy et Hooke ont donné la forme définitive de la mécanique des corps déformables.

WILLIAM ROWAN HAMILTON (1804-1865) a énoncé le principe de moindre action.

GUSTAV CARL JACOBI (1804-1851) a créé la méthode de l'équation différentielle de Hamilton-Jacobi pour les systèmes de plusieurs corps.

LORD RAYLEIGH (1842-1919), OSBORNE REYNOLDS (1842-1912), LUDWIG PRANDTL (1875-1953) ont élaboré la dynamique des liquides et des gaz en tenant compte de la friction notamment pour les besoins de la construction hydro et aéronautique.

Ce qui compte c'est la différence entre un flux "laminaire" ordonné et un désordre "turbulent".

Le plus important est le principe de moindre action de Hamilton que **HELMHOLTZ HERMAN (1829-1894)** a élargi en 1866 comme le leitmotiv de toute une série de processus mécaniques.

MAX PLANCK (1858-1947) a vu dans ce principe la plus complète des lois de la nature.

W. R. HAMILTON a révélé que les trajectoires de tous les points matériels qui sortent à la même vitesse d'un même point créent une image "optique" du point de vue mécanique.

La mécanique est la science du mouvement; son but est de décrire complètement et de la manière la plus simple les mouvements qui se produisent dans la nature.

Pendant l'intervalle entre l'époque de Galilée et celle de Newton ont eu lieu aussi d'autres axes de développement.

TORRICELLI ÉVANGÉLISTA (1608-1647) a inventé le baromètre à mercure en 1644;

OTTO VON GUERICKE (1602-1686) a construit la machine pneumatique et a expliqué à l'aide de beaucoup d'expériences impressionnantes la nature de la pression de l'air.

Pour la mécanique des solides, un contemporain de PASCAL, **ROBERT HOOKE (1635-1703)** a découvert en 1676 sur la base d'exemples simples la proportionnalité de la déformation et de la force.

BERNOULLI DANIEL (1700-1782) et **LEONNARD EULER (1707-1783)** ont étudié des systèmes de nouveaux points matériels et traité du corps rigide et de l'hydrodynamique.

JEAN LE ROND D'ALEMBERT est l'auteur des principes qui remplacent les équations du mouvement (nommés d'après lui).

PIERRE SIMON DE LAPLACE (1749-1827) a écrit "Mécanique céleste" en cinq volumes vers 1800 qui comprend plus que les promesses de son titre, entre autres, une théorie des ondes dans les liquides et de la capillarité.

1.3.GRANDEURS ET UNITES PHYSIQUES .TRANSFORMATIONS DES UNITES .GRANDEUR PHYSIQUE ET LA MESURE

LES PHÉNOMÈNE PHYSIQUE (processus ou transformation) est une séquence de changements d'un corps ou d'un système des corps qui évoluent au fil du temps, après une certaine loi.

Tous les changements de ce type sont l'objet d'étude de la physique et sont évalués par des observations qualitatives et quantitatives.

LA MESURE est un processus qui compare la grandeur physique en question avec une grandeur définie, de même nature, qui a été choisie comme unité de mesure. Cette comparaison (ou mesure) est effectuée en utilisant un instrument de mesure.

Des exemples d'unité:

longueur:1 mètre,

durée :1 seconde,

masse: 1 kg.

Certaines grandeurs physiques sont des grandeur fondamentales, qui ne sont définies que par la description du procédé de mesure.

Par exemple, la distance est déterminée en mesurant avec une règle, et le temps est mesuré par l'horloge.

D'autres grandeurs physiques sont des grandeurs dérivées, qui sont définies par des formules qui utilisent des grandeurs de base.

Par exemple, **vitesse est le rapport entre la distance parcourue et la durée du déplacement du corps.**

Au fil du temps on a utilisé différents systèmes d'unités, c'est à dire des ensembles des grandeurs physiques fondamentales et leurs unités de mesure correspondantes.

Aujourd'hui, LE SYSTÈME INTERNATIONAL DES MESURES (SI) le plus couramment utilisé se sert des grandeurs et des unités de base ci-dessous:

No	grandeurs physiques	unité de mesure	SI	CGS
1	Temps	Seconde(s)	s	s
2	Distance	Mètre (m)	m	cm
3	Masse	Kilogramme (kg)	kg	g
4	Température	Kelvin	K	K
5	la quantité de substance	Mol	Mol	Mol
6	Intensité du courant électrique	Ampère	A	A
7	Intensité de la lumière	Candela	Cd	Cd

DÉFINITIONS DES UNITÉS DE BASE

Le mètre est l'unité de mesure de la longueur (m), définie comme la longueur égale à 1 650 763,73 longueurs d'onde dans le vide du rayonnement correspondant à la transition entre les niveaux d'énergie $2p^{10}$ et $5d^5$ de l'atome de krypton 86.

$\lambda = 605,78$ nm (jaune)

Remarque : La définition du mètre a été adoptée par la 11-e Conférence générale des poids et mesures en 1960 par la sixième résolution.

Depuis 2019, la définition du MÈTRE est la suivante : le MÈTRE est la longueur du trajet parcouru par la lumière dans le vide en $1/299\,792\,458$ de seconde.

Le KILOGRAMME est l'unité de mesure de la masse (kg) ; il correspond à la masse du prototype international du kilogramme.

Ce terme désigne la même grandeur qu'une force $G = m \cdot g$, où g est l'accélération gravitationnelle ; $g = 9,80665$ m/s²

Remarque : La définition du kilogramme a été adoptée par la première et la troisième Conférence générale des poids et mesures en 1889 et 1901, respectivement.

Le kilogramme, en tant que « prototype international », est conservé au Bureau international des poids et mesures à Sèvres, dans les conditions définies par la Conférence générale des poids et mesures de 1889.

Depuis 2019 : le kilogramme est défini par la fixation de la valeur de la constante de Planck h à la valeur exacte de $6,62607015 \times 10^{-34}$ J · s

($J = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$), compte tenu des définitions du mètre et de la seconde. La formule devient ainsi $\text{kg} = h / (6,62607015 \times 10^{-34} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$.

Autres définitions du kilogramme :

(1793) : le kilogramme a été défini comme étant la masse d'un litre d'eau pure au point de congélation

(1889) : la masse d'un cylindre trapu d'environ 47 cm³ en alliage de platine-iridium conservé au Pavillon de Breteuil, en France.

La SECONDE est l'unité de mesure du temps (s) ; elle correspond à la durée de 9 192 631 770 périodes du rayonnement correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium Cs 33.

Remarque : La deuxième définition de la SECONDE a été adoptée par la 13e Conférence générale des poids et mesures en 1967 dans sa première résolution.

Autres formes de définition :

première forme de définition : $1/86\,400$ d'une journée, 24 heures, 60 minutes et 60 secondes

Depuis 1956 : $1/31\,556\,925,9747$ de l'année tropique de 1900, à partir de janvier, de 0 h à 12 h – également appelée temps éphémère.

L'AMPÈRE est l'unité de mesure de l'intensité du courant électrique (A). L'ampère est le courant électrique qui, maintenu constant dans deux conducteurs parallèles, droits, de longueur infinie et de section circulaire négligeable, placés dans le vide à une distance de 1 m l'un de l'autre, produit une force de 1 N entre ces conducteurs sur une longueur de 1 m.

Remarque : La définition de l'ampère a été adoptée par la Conférence générale des poids et mesures en 1948 par la résolution 2.

Depuis 2019 : L'ampère est défini comme un courant de $1/(1,602176634 \times 10^{-19})$ charges élémentaires par seconde.

Autres définitions :

(1881) : 1/10 de l'unité électromagnétique CGS du courant. L'unité électromagnétique CGS du courant est un arc de longueur 1 cm et de rayon 1 cm qui crée en son centre un champ de 1 oersted

(1946) : L'ampère est l'intensité d'un courant électrique qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles rectilignes de longueur infinie et de section circulaire négligeable, placés dans le vide à une distance de 1 m l'un de l'autre, produira entre ces conducteurs une force de 2×10^{-7} N sur une longueur de 1 m.

La CANDELA est l'unité d'intensité lumineuse (Cd)

La CANDELA est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source émettant un rayonnement monochromatique d'une fréquence de 540,1012 Hz et dont l'intensité radiante dans cette direction est de (1/683) (W/Sr).

Remarque : La définition de la candela a été adoptée par la 16e Conférence générale des poids et mesures en 1979.

Autres définitions :

(1946) : La valeur d'une candela (par la suite candela) est telle que l'éclat d'un radiateur à la température de solidification du platine est de 60 candelas par seconde.

La valeur de la nouvelle bougie (ancienne appellation de la candela) est telle que la luminosité totale du radiateur à la température de solidification du platine est de 60 nouvelles bougies par centimètre carré.

(1979) : La candela est l'intensité lumineuse dans une direction donnée d'une source émettant un rayonnement monochromatique d'une fréquence de 540,1012 Hz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est de 1/683 watt par stéradian.

LE KELVIN - unité thermodynamique de mesure de la température (K)

Un KELVIN correspond à 1/273,16 de la température thermodynamique du point triple de l'eau.

Remarque : la définition du kelvin a été adoptée par la 13e Conférence générale des poids et mesures en 1967 dans sa quatrième résolution.

La même unité de mesure et le même symbole sont utilisés pour évaluer un intervalle de température.

Depuis 2019 : le kelvin est défini en fixant la valeur numérique de la constante de Boltzmann k à $1,380649 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$, ($\text{J} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$), compte tenu des définitions du kilogramme, du mètre et de la seconde.

Autres définitions :

(1743) : l'échelle centigrade est obtenue en fixant à 0 °C le point de congélation de l'eau et à 100 °C le point d'ébullition de l'eau.

(1954) : le point triple de l'eau (0,01 °C) est défini à exactement 273,16 K

(1967) : un kelvin est la fraction 1/273,16 de la température thermodynamique du point triple de l'eau.

(2019) : le kelvin est défini en fixant la constante de Boltzmann k à la valeur $1,380649 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$, ($\text{J} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$), étant donné que les définitions du mètre, de la seconde et du kilogramme sont déjà établies

Le MOLE – unité de quantité de matière (mol) :

Le MOLE est la quantité de substance d'un système qui contient autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kg de C^{12} .

Chaque fois que l'on utilise le mole, les entités élémentaires doivent être spécifiées ; il peut s'agir d'atomes, de molécules, d'ions, d'électrons, d'autres particules ou de groupes spécifiés de telles particules.

Remarque : La définition de la mole a été adoptée par la 14^e Conférence générale des poids et mesures en 1971.

Depuis 2019 : La quantité de substance (la mole) est égale à exactement $6,02214076 \times 10^{23}$ d'entités élémentaires. C'est la valeur numérique fixe de la constante d'Avogadro N_A lorsqu'elle est exprimée en moles, et on l'appelle le nombre d'Avogadro.

Autres définitions

(1900) : La quantité stœchiométrique ν est égale à la masse en grammes du nombre d'Avogadro de molécules de la substance

(1967) : La mole est la quantité de substance d'un système qui contient autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kg de ^{12}C ;

(2019) : La quantité de substance de exactement $6,02214076 \times 10^{23}$ entités élémentaires . Ce nombre fixe représente la constante d'Avogadro, N_A exprimée en unités de mol^{-1} , porte le nom de constante d'Avogadro.

HISTOIRE ET EVOLUTIONS: AVANT LA REVOLUTION FRANÇAISE : PREMIERES TENTATIVE D'UN SYSTEME D'UNITES UNIVERSEL

La première tentative notable d'établir des unités universelles (c'est-à-dire fondées sur des phénomènes physiques reproductibles) est sans conteste celle de **John Wilkins**, un scientifique anglais membre de la Royal Society **qui a défini en 1668 une longueur puis un volume universel et en fin une masse universelle** (celle de la quantité d'eau de pluie contenue dans un cube de côté valant la longueur universelle).

La longueur universelle ainsi définie est prise comme valant 38 pouces de Prusse (approximativement 993,7 mm) **soit environ celle d'un pendule simple dont la demi-période des petites oscillations est d'une seconde**¹.

Vers 1670 **Gabriel Mouton**, religieux lyonnais, propose une unité de longueur en se basant sur la mesure d'un arc de méridien terrestre. Il définit aussi la série de multiples et sous-multiples d'unité basée sur le système décimal².

En 1675, le savant italien Tito Livio Burattini renomme la mesure universelle de John Wilkins **mètre** et en prend pour définition exacte celle du pendule précédemment décrit (et non plus 38 pouces de Prusse), aboutissant ainsi à une longueur de 993,9 mm³. Cette valeur dépend cependant de l'accélération de la pesanteur et varie donc légèrement d'un lieu à l'autre.

LA REVOLUTION FRANÇAISE ET LA NAISSANCE DU SYSTEME METRIQUE

En 1790, l'Assemblée nationale constituante se prononce, sur proposition de Talleyrand, lui-même conseillé par Condorcet, pour la création d'un système de mesure stable, uniforme et simple, et c'est l'unité de Burattini qui est d'abord adoptée comme unité de base.

Mais du fait que la longueur du pendule battant la seconde n'est pas la même selon l'endroit où l'on se trouve, en raison de la différence de gravité selon la distance avec l'équateur (voir *supra*), c'est finalement la dix-millionième partie d'un quart de méridien qui est choisie provisoirement en 1793. Deux savants sont chargés d'effectuer les mesures géodésiques nécessaires, Delambre et Méchain, lesquels vont, durant sept ans, mesurer la distance entre Dunkerque et Barcelone¹.

Avec le mètre sont définies les unités de volume et de masse : **on crée ainsi le système métrique décimal**, permettant de convertir plus aisément les unités puisque, désormais, pour passer d'une unité à ses multiples (et sous-multiples), il suffit de déplacer la virgule. La même année, la Convention nationale prévoit la création d'étalons pour le mètre et le grave (nom original du kilogramme). La définition ainsi choisie est définitivement adoptée le 18 germinal an III (7 avril 1795) par décret de la Convention nationale française³. Ce système métrique est alors désigné par le sigle MKpS, pour mètre, kilogramme-poids, seconde.

Avec le mètre sont définies les unités de volume et de masse :

on crée ainsi le système métrique décimal, permettant de convertir plus aisément les unités puisque, désormais, pour passer d'une unité à ses multiples (et sous-multiples), il suffit de déplacer la virgule. La même année, la Convention nationale prévoit la création d'étalons pour le mètre et le grave (nom original du kilogramme). La définition ainsi choisie est définitivement adoptée le 18 germinal an III (7 avril 1795) par décret de la Convention nationale française³. Ce système métrique est alors désigné par le sigle MKpS, pour mètre, kilogramme-poids, seconde.

Les étalons du mètre et du grave, en platine, prévus par les décrets de la Convention nationale sont déposés aux Archives nationales de France le 4 messidor an VII (**22 juin 1799**), ce **qui est parfois considéré comme l'acte fondateur du système métrique**.

Introduit par la loi du 1^{er} vendémiaire an IV (23 septembre 1795), le système métrique a été rendu obligatoire en France à l'occasion de son cinquième anniversaire par l'arrêté du 13 brumaire an IX (4 novembre 1800), l'emploi de tout autre système étant interdit. Dans ses mémoires de Sainte-Hélène, Napoléon, qui avait naguère soutenu l'expédition géodésique en vue de déterminer la nouvelle mesure, mais pris conscience de la difficulté d'acclimatation à de nouvelles unités, écrit :

Les étalons du mètre et du grave, en platine, prévus par les décrets de la Convention nationale sont déposés aux Archives nationales de France le 4 messidor an VII (**22 juin 1799**), ce **qui est parfois considéré comme l'acte fondateur du système métrique**.

Introduit par la loi du 1^{er} vendémiaire an IV (23 septembre 1795), le système métrique a été rendu obligatoire en France à l'occasion de son cinquième anniversaire par l'arrêté du 13 brumaire an IX (4 novembre 1800), l'emploi de tout autre système étant interdit. Dans ses mémoires de Sainte-Hélène, Napoléon, qui avait naguère soutenu l'expédition géodésique en vue de déterminer la nouvelle mesure, mais pris conscience de la difficulté d'acclimatation à de nouvelles unités, écrit :

« Le besoin de l'uniformité des poids et mesures a été senti dans tous les siècles ; plusieurs fois les états généraux l'ont signalé. La loi en cette matière était si simple, qu'elle pouvait être rédigée dans vingt-quatre heures. Il fallait rendre commune dans toutes les provinces l'unité des poids et mesures de la ville de Paris . Les géomètres, les algébristes, furent consultés dans une question qui n'était que du ressort de l'administration. Ils pensèrent que l'unité des poids et mesures devait être déduite d'un ordre naturel, afin qu'elle fut adoptée par toutes les nations . Dès ce moment on décréta une nouvelle unité de poids et mesures qui ne cadra ni avec les règlements de l'administration publique, ni avec les tables de dimensions de tous les arts. Il n'y avait pas d'avantage à ce que ce système s'étendît à tout l'univers ; cela était d'ailleurs impossible : l'esprit national des Anglais et des Allemands s'y fût opposé. Cependant on sacrifiait à des abstractions et à de vaines espérances le bien des générations présentes . Les savants conçurent une autre idée tout à fait étrangère au bienfait de l'unité de poids et de mesures ; ils y adaptèrent la numération décimale . ils supprimèrent tous les nombres complexes. Rien n'est plus contraire à l'organisation de l'esprit, de la mémoire et de l'imagination. Enfin, ils se servirent de racines grecques, ce qui augmenta les difficultés ; ces dénominations, qui pouvaient être utiles pour les savants, n'étaient pas bonnes pour le peuple .»

ÉVOLUTIONS DU SYSTEME METRIQUE AU XIX^E SIECLE

En 1832, Gauss travaille pour l'application du **système métrique comme système d'unités cohérent en sciences physiques**. Il établit des mesures absolues du champ magnétique terrestre en utilisant **un système d'unités fondé sur les unités centimètre, gramme et seconde parfois appelé « Système de Gauss »**¹.

Dans les années 1860, Maxwell et Thomson s'impliquent au sein de la British Association for the Advancement of Science (BA), fondée en 1831, pour la mise en place d'un système d'unités composé d'unités de base et d'unités dérivées. Ceci aboutit **en 1874 à la création du « système CGS » fondé sur les unités centimètre, gramme et seconde**.

Dans les années 1880, la BA et le Congrès international d'électricité, ancêtre de la Commission électrotechnique internationale, **s'accordent sur un système d'unités pratiques, parmi lesquelles l'ohm, le volt et l'ampère**.

LA REVOLUTION FRANÇAISE ET LA NAISSANCE DU SYSTEME METRIQUE

C'est pourquoi, le 12 février 1812, Napoléon prit un décret impérial instaurant pour le commerce de nouvelles unités au nom conforme à l'usage ancien, comme *aune, toise, boisseau, livre*, mais avec de nouvelles valeurs fixées en référence au système métrique, et surtout, il permit pour ces nouvelles unités des fractions non décimales:

Après la Restauration française en 1814, Louis XVIII confirma dans un premier temps vouloir poursuivre l'établissement du système métrique, mais sous la pression des plaintes, un arrêté ministériel du 21 février 1816 ordonna la suppression des fractions décimales des poids et mesures, et l'emploi exclusif des mesures "usuelles" pour la vente au détail des denrées et marchandises. Le système métrique ne fut néanmoins pas abandonné dans l'enseignement, et petit à petit, on prit conscience qu'il était temps de renoncer aux facilités introduites par le décret de 1812 et de s'en tenir aux unités légales établies par l'arrêté du 13 brumaire an IX. Ce sera l'objet de la loi du 4 juillet 1837 signée par Louis-Philippe rendant obligatoire l'usage des unités du système métrique dans le commerce et dans la vie civile et juridique.

Dès 1801, la République helvétique voulut introduire le système métrique, mais la loi ne fut jamais appliquée (il fallut attendre 1877 !). C'est le Royaume-Uni des Pays-Bas (qui regroupe alors les futurs pays du Benelux) qui le ré-adopte le premier en 1816, sur l'impulsion de son souverain Guillaume I^{er} des Pays-Bas, quatorze ans avant la révolution française de 1830, qui signe sa réintroduction en France.

En France, la loi du 4 juillet 1837, a rendu obligatoire l'usage du système métrique à partir du 1^{er} janvier 1840.

En 1832, **Gauss** travaille pour l'application du système métrique comme **système d'unités** cohérent en sciences physiques. Il établit des mesures absolues du champ magnétique terrestre en utilisant

un système d'unités fondé sur les unités: centimètre, gramme et seconde parfois appelé « Système de Gauss ».

Dans les années 1860, Maxwell et Thomson s'impliquent au sein de la British Association for the Advancement of Science (BA), fondée en 1831, pour la mise en place d'un système d'unités composé d'unités de base et d'unités dérivées. Ceci aboutit en 1874 à la création du « système CGS » fondé sur les unités centimètre, gramme et seconde.

Dans les années 1880, la BA et le Congrès international d'électricité, ancêtre de la Commission électrotechnique internationale, s'accordent sur un système d'unités pratiques, parmi lesquelles l'ohm, le volt et l'ampère.

UTILISATION DANS LE MONDE

La plupart des pays du monde ont fait du système international leur système officiel d'unités. En Asie de l'Est cela fut au début du xx^e siècle. Cette action (passer officiellement d'un système d'unités national au système métrique) s'appelle métrification.

De plus, Il est légal d'utiliser le système international d'unités dans tous les pays du monde.

En 2008, seuls trois pays dans le monde n'ont pas officiellement adopté le système international : les États-Unis, le Libéria et la Birmanie.

Cependant, **aux États-Unis**, l'usage du système métrique est de plus en plus répandu parmi les scientifiques, la médecine, le gouvernement, et plusieurs secteurs de l'industrie.

Au Royaume-Uni, l'usage du système métrique est obligatoire depuis 1897; mais dans certains domaines - le commerce, la santé publique, la sécurité, l'administration, la signalisation routière et la vente de métaux précieux l'équivalent en unités impériales est *toléré*. À cette liste il faut également ajouter les domaines (aviation, navigation, etc.) dans lesquels les unités non métriques sont d'usage dans d'autres pays. Il convient toutefois de bien faire la différence entre l'obligation légale et la tolérance - de la même manière qu'en France on distingue le droit coutumier, l'usage, et les textes de loi

La plupart des unités de mesures *non métriques* sont maintenant définies à partir des unités du Système international. Par exemple, le National Institute of Standards and Technology édite une table des définitions des **unités de mesure américaines** à partir des unités métriques.

D'AUTRES UNITES

L'Angle plan - est mesuré en radians.

Le radian est l'angle plan ayant son sommet au centre d'un cercle et delimitant sur la circonférence du cercle un arc dont la longueur est égale au rayon du cercle.

La définition du Radian a été adoptée par l'Organisation internationale de Standardisation (ISO) dans la recommandation R31, Partie 1.

L'Angle solide - est mesuré en stéradians.

Le stéradian est l'angle solide ayant son sommet d'une sphère et delimitant sur la surface de la sphère une aire égale à l'aire d'un carré dont le côté est égal au rayon de la sphère.

La définition du steradian a été adoptée par l'Organisation internationale de standardisation (ISO) dans la recommandation R31, Partie 1.

longueur standard

Le première étalon de longueur était une barre en alliage de platine – iridium nommée mètre étalon . en 1959 sont définis : 1 yard=0,9144 m, 1 inch = 2,54 cm.

Le système CGS

Le **système CGS** est un système d'unités de mesure des grandeurs physiques, où les unités de base sont :

le **centimètre** pour les longueurs ;

le **gramme** pour les masses ;

la **seconde** pour le temps.

FONDEMENT ET USAGE

Le **système CGS** fut proposé par la British Association for the Advancement of Science en 1874. Il fut utilisé en science jusqu'au milieu du xx^e siècle.

En 1946 le Comité International des Poids et Mesures **approuve le système MKSA (mètre, kilogramme, seconde, ampère).**

De nos jours le système international d'unités retient sept unités de base.

Le système CGS reste très utilisé en chimie (surtout en laboratoire) parce qu'il est plus concevable d'avoir des quantités de réactifs de l'ordre du gramme et du centimètre cube que de l'ordre du kilogramme et du mètre cube.

Le système CGS est aussi beaucoup utilisé en astronomie où des flux s'expriment souvent en erg/s/cm²/Hz, ou encore en gravimétrie.

Unités CGS utilisées en mécanique

Dimension	Unité	Définition	SI
longueur	centimètre	1 cm	$= 10^{-2} \text{ m}$
masse	gramme	1 g	$= 10^{-3} \text{ kg}$
temps	seconde	1 seconde	$= 1 \text{ s}$
accélération	gal	$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$	$= 10^{-2} \text{ m} / \text{s}^2$
force	dyne	$1 \text{ dyn} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$	$= 10^{-5} \text{ N}$
énergie	erg	$1 \text{ erg} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$	$= 10^{-7} \text{ J}$
puissance	erg par seconde	$1 \text{ erg/s} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-3}$	$= 10^{-7} \text{ W}$
pression	barye	$1 \text{ Ba} = 1 \text{ dyn/cm}^2 = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$	$= 10^{-1} \text{ Pa}$
viscosité	poise	$1 \text{ P} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$	$= 10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
induction magnétique	Gauss	1 G	$= 0,1 \text{ mT}$

Intervalles de temps	s (Seconde)
Âge de la Terre	$1,2 \cdot 10^{17}$
Âge moyen d'un homme	$2 \cdot 10^9$
Durée de la révolution de la Terre autour du soleil (1 an)	$3,1 \cdot 10^7$
Durée de la rotation de la Terre autour de son axe (un jour)	$8,6 \cdot 10^4$
La demi-vie des neutrons libres	$7 \cdot 10^2$
Temps entre deux battements normaux du cœur	$8 \cdot 10^{-1}$
Période du diapason qui donne la note La	$2,3 \cdot 10^{-3}$
Periode typique de rotation d'une molécule typique	$1 \cdot 10^{-12}$
La demi-vie de pions neutres	$2,2 \cdot 10^{-16}$

Distance	Unité m (mètres)
Distance au quasar le plus lointain	6.10^{25}
Distance à la nébuleuse la plus proche (Grande Nébuleuse d'Andromède)	2.10^{22}
Rayon de notre galaxie	6.10^{19}
Distance à l'étoile la plus proche (Alpha Centauri)	$4,3.10^{16}$
Rayon du Soleil	$6,9.10^8$
Rayon de la Terre	$6,4.10^6$
La taille d'un homme	$1,8.10^0$
L'épaisseur d'un livre	4.10^{-2}
L'épaisseur d'une page d'un livre	1.10^{-4}
La taille d'un virus de la poliomyélite	$1,2.10^{-8}$
Rayon d'un atome d'hydrogène,	5.10^{-11}
Rayon effectif d'un proton	$1,2.10^{-15}$

TRANSFORMATION DE L'UNITE DE MESURE

Pour Force: $[F]_{SI} = 1 \text{ N} = 1 (\text{kg.m})/\text{s}^2$

Pour Force: $[F]_{CGS} = 1 \text{ dyn} = 1 (\text{g.cm})/\text{s}^2 = 1.(10^{-3} \text{ kg}.10^{-2} \text{ m})/\text{s}^2 = 10^{-5} \text{ N}$

Pour énergie: $[E]_{SI} = 1 \text{ J} = 1 \text{ N.m} = 1 (\text{kg.m}^2)/\text{s}^2$

Pour énergie: $[E]_{CGS} = 1 \text{ erg} = 1 (\text{g.cm}^2)/\text{s}^2 = 1.(10^{-3} \text{ kg}.10^{-4} \text{ m})/\text{s}^2 = 10^{-7} \text{ J}$

D'AUTRES UNITES

Unités de force :

1 dyn = 10^{-5} N

1 kgf = 9.81 N

Unités de masse:

1 pound (lb) = 453,5923 g = 0,4535923 Kg

1 uncie (oz) = 28,35 g

Unités d'énergie

1 erg = 10^{-7} J

1 kcal = $4,186.10^3 \text{ J}$

1 eV = $1,602.10^{-19} \text{ J}$

1 kWh = $3,6.10^6 \text{ J}$

Unités de distance

1 in (inch) = 25,4 mm

1 yd (yard) = 0,9144 m

1 mille = 1609,344 m

1 mille nautique = 1853,18 m

Unités de surface

1 ar = 100 m^2

$1 \text{ ha} = 10000 \text{ m}^2$
 $1 \text{ acre} = 4046,86 \text{ m}^2$
 $1 \text{ in}^2 = 6,452 \text{ mm}^2$
 $1 \text{ yd}^2 = 0,9144 \text{ m}^2$

Unités de volume

$1 \text{ gallon Etats-Unis} = 3,785 \text{ l} = 3785 \text{ m}^3$
 $1 \text{ gallon Royaume-Uni} = 4,546 \text{ l} = 4546 \text{ m}^3$
 $1 \text{ Barril de petrole États-Unis} = 158,98 \text{ l}$
 $1 \text{ oz (liquide)} = 28,413 \text{ cm}^3 = 1,7339 \text{ in}^3$

Unités de température

Température en degrés Fahrenheit: $TF = (9/5) \cdot tC + 32$
 Température en degrés Réaumur: $t = TK - 218.52$

d'autres unités

$1 \text{ g (SI)} = 0,03527 \text{ onces}$
 $1 \text{ feddan (Egypte)} = 1.038 \text{ acres} = 0,42 \text{ hectares}$
 $1 \text{ ardeb (Egypte)} = 191,612 \text{ l}$
 $1 \text{ hamlah (Egypte)} = 74,890 \text{ kg}$
 $1 \text{ drachme (Turquie)} = 3,207 \text{ g}$
 $1 \text{ cuffisco (Sicile)} = 22,1981 \text{ l}$
 $1 \text{ cuartilo (Mexique)} = 0,547 \text{ l}$
 $1 \text{ CUARTERON (Espagne) de petrole} = 0,151 \text{ l}$
 $1 \text{ dinero (Espagnol)} = 1.199 \text{ g}$
 $1 \text{ chittak (Inde)} = 58 \text{ 319 g}$
 $1 \text{ Bunce (Indonésie)} = 46 \text{ 344 g}$
 $1 \text{ bercocvici (Russie)} = 163,85 \text{ kg}$
 $1 \text{ pud (Russie)} = 16,381 \text{ kg}$
 $1 \text{ baril de ciment (États-Unis)} = 170,550 \text{ kg}$
 $\text{baril de pétrole (États-Unis)} = 158,987 \text{ kg}$
 $1 \text{ fer (unité de mesure de l'épaisseur de la peau)} = 1/48 \text{ in} = 0.539 \text{ mm}$
 $1 \text{ koku (Japon)} = 180,4857 \text{ dm}^3$
 $1 \text{ Kivan (Japon)} = 3,75 \text{ kg}$

POUR FORCE

$1 \text{ dyn} = 10^{-5} \text{ N}$ ou $1 \text{ kgf} = 9,81 \text{ N}$

POUR LE TRAVAIL MÉCANIQUE

$1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$
 $1 \text{ P (équilibre)} = 1 \text{ dyn.s} / \text{cm}^2 = 0,1 \text{ Pa.s}$
 $1 \text{ st} = (\text{coups}) = 1 \text{ cm}^2 / \text{s} = 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}$
 $1 \text{ gauss} = 1 \text{ Gs} = 10^{-4} \text{ T}$
 $1 \text{ Oersted} = 1 \text{ Oe} = (100/4 \pi) \cdot (\text{A} / \text{m})$
 $1 \text{ pouce} = 25,4 \text{ mm}$
 $1 \text{ yard} = 0,914 \text{ m}$
 Température $T = 5 / 9 (TF - 32) + 273,15$
 où TF est la température en degrés Fahrenheit.

Unités dérivées du Système International d'unités

No	Grandeur dérivée	unité de mesure	définition de l'unité de mesure
1	surface	1 m^2	une zone carrée avec 1 m de côté
2	volume	1 m^3	Le volume d'un cube dont les côtés sont de 1 m
3	vitesse	1 m/s	1 m de distance parcourue pendant 1 s
4	vitesse angulaire	1 Rad/s	Angle de 1 Rad pendant 1 s
5	accélération	1 m/s^2	La variation de la vitesse de 1 m/s pendant 1 seconde.
6	accélération angulaire	Rad/s^2	La variation de la vitesse angulaire de 1 rad / s pendant 1 s.
7	Fréquence	Hz ou s^{-1}	
8	densité	1 Kg/m^3	La masse d'un corps de 1 kg ayant le volume de 1 m^3
10	force	N	1 Newton est la force qui étant appliquée à une masse de 1 kg crée une accélération de 1 m/s^2
11	pression	Pa ou N/m^2	1 Pascal est la pression qui agissant de manière uniforme sur une surface plane avec une aire de 1 m^2 exerce perpendiculairement à la surface une force totale de 1 N.
12	viscosité dynamique	Pa.s ou Kg/m.s	Pascal multiplié par la seconde est la viscosité dynamique d'un fluide homogène dans laquelle un mouvement rectiligne uniforme d'une surface plane avec une aire de 1 m^2 donnent lieu à une force de frottement de 1 N, lorsque la différence de vitesse entre deux plans parallèles situés à une distance de 1 m l'un de l'autre, est de 1 mètre par seconde.
13	travail mécanique	$1 \text{ J} = 1 \text{ N.m}$	Le travail effectué par une force de 1 N agissant dans la même direction sur une distance de 1 m
14	puissance	$\text{W ou kg.m}^2/\text{s}^2$	La puissance correspondant au transfert d'énergie de 1 J qui a lieu pendant 1 seconde

Préfixes des multiples et sous-multiples des unités de mesure			
10^{-1}	Deci	10^1	deca
10^{-2}	Centi	10^2	Hecto
10^{-3}	Mili	10^3	Kilo
10^{-6}	Micro	10^6	Mega
10^{-9}	nano	10^9	Giga
10^{-10} m	Å (Angstrom)		
10^{-12}	Pico	10^{12}	tera
10^{-15}	femto	10^{15}	Peta
10^{-18}	atto	10^{18}	exa
10^{-24}	yocto		
10^{-27}	ronto	10^{24}	yotta
10^{-30}	quecto	10^{27}	ronna
		10^{30}	quetta

1.4.GRANDEURS SCALAIRES ET VECTORIELLES. OPERATIONS AVEC LES VECTEURS.

LES GRANDEURS PHYSIQUES SONT DE DEUX TYPES:

Les grandeurs scalaires

Les grandeurs vectorielles

Les grandeurs physiques scalaires sont des valeurs positives ou négatives.

Exemples: temps, masse, volume, densité, pression, énergie, puissance

Les grandeurs physiques vectorielles sont caractérisées par:
valeur, direction, sens.



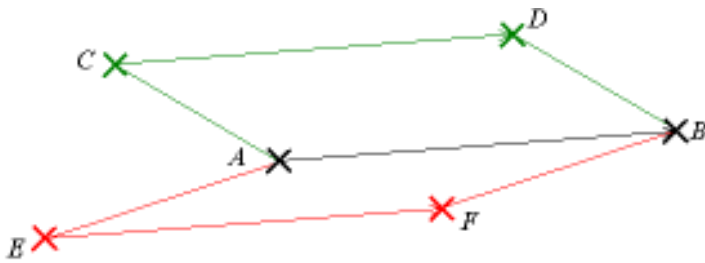
Exemples: vitesse, accélération, force

Les vecteurs sont notés avec la flèche au-dessus des lettres normales: $\vec{v}$

Le vecteur est représenté par une flèche.

La direction est déterminée par la droite – support .

Le sens peut être à gauche ou à droite sur la direction.



Attention cependant à ne pas confondre sens et direction.

UN VECTEUR est représenté par un segment orienté (une flèche) ayant pour extrémités un point de départ et un point d'arrivée.

L'emplacement dans le plan ou l'espace n'a pas d'importance, deux déplacements de deux points d'origine distincts peuvent correspondre au même vecteur, seuls comptent sa longueur, sa direction et son sens.

Il est donc possible de le faire glisser librement dans le plan, parallèlement à lui-même.

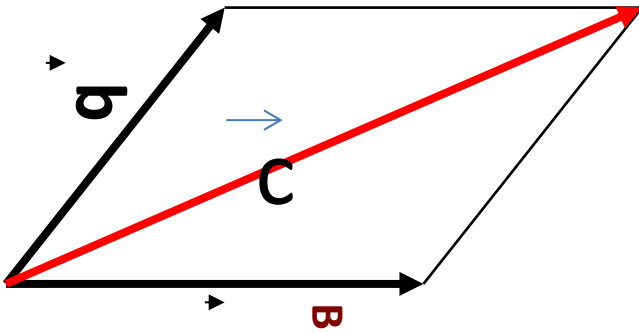
Si A et B sont deux points distincts, le vecteur possède trois éléments caractéristiques :

sa direction (droite (AB)) ;

son sens (il y a deux sens possible de parcours de la droite (AB) : de A vers B ou de B vers A) ;

sa norme (ou sa longueur, la longueur du segment $[AB]$).

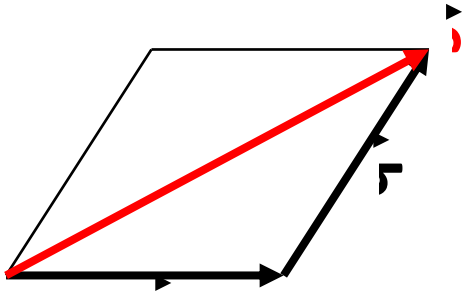
ADDITION (COMPOSITION) DES VECTEURS $a + b = c$



L'addition (composition) des vecteurs se fait d'après la règle du parallélogramme:

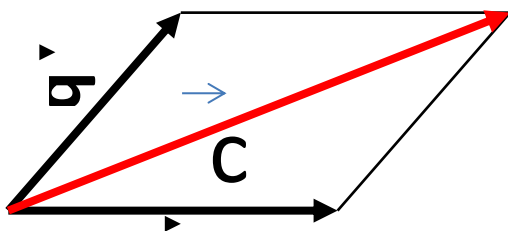
La somme de deux vecteurs est égale à la diagonale du parallélogramme dont les côtés sont les deux vecteurs.

REGLE DU TRIANGLE D'ADDITION DES VECTEURS :



Les vecteurs sont positionnés de telle sorte que l'origine du second et l'extrémité du premier coïncident. La somme des vecteurs est égale au vecteur reliant l'origine du premier à l'extrémité du second.

SOUSTRACTION DES VECTEURS

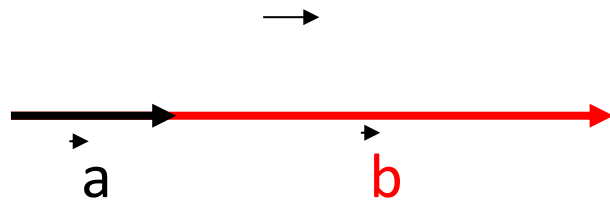


$$a + b = c \rightarrow b = c - a$$

L'addition (composition) des vecteurs se fait d'après la règle du parallélogramme:

La somme de deux vecteurs est égale à la diagonale du parallélogramme dont les côtés sont les deux vecteurs.

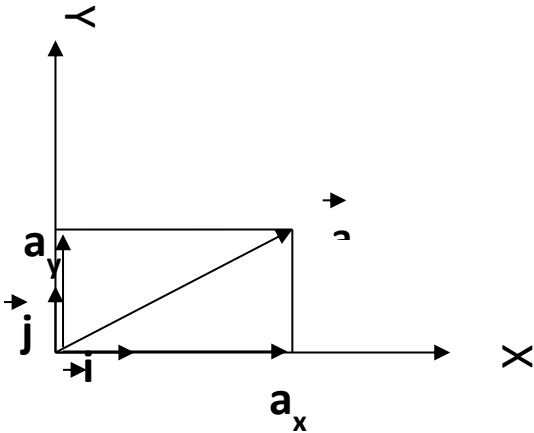
LA MULTIPLICATION D'UN VECTEUR PAR UN SCALAIRE EST L'OPERATION DE MULTIPLICATION DU VECTEUR PAR λ



Si $\lambda > 0$ le vecteur résultant a le même sens.

Si $\lambda < 0$ le vecteur résultant est opposé.

DECOMPOSITION DES VECTEURS



Les vecteurs peuvent être décomposés dans un plan en deux composantes .

Un cas important est la décomposition d'après les directions d'un système d'axes de coordonnées orthogonales (X, Y), appelé système cartésien:

$$\mathbf{a} = a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j}$$

Ici, nous avons défini les vecteurs unitaires: $\mathbf{i}$ et $\mathbf{j}$ comme vecteurs dans les directions X et Y ayant la taille 1.

Il en résulte qu'un vecteur dans le plan est équivalent à la définition d'une paire de grandeurs scalaires (a_x , a_y) nommées composantes du vecteur d'après les axes

OX et OY.



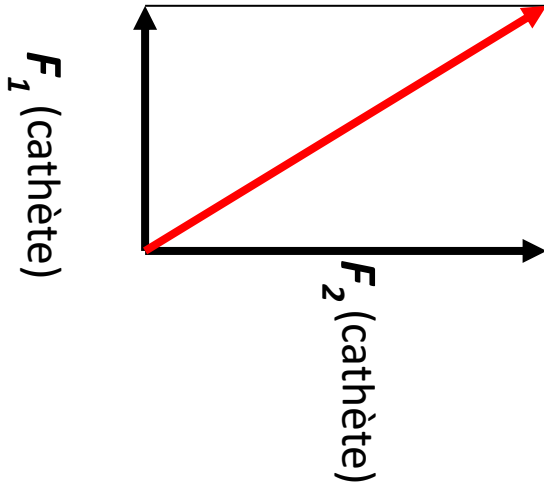
Leonard Euler (1707-1783)

Né en Suisse, mathématicien qui a vécu à Saint-Pétersbourg (Russie)

Le vecteur dépendant du temps peut être considéré comme une fonction vectorielle dépendant d'un scalaire (le temps) .

Exemple: le vecteur de position $\mathbf{r}(t)$ est un vecteur d'origine fixe, dont l'extrémité se déplace sur une courbe appelée trajectoire.

APPLICATIONS : COMPOSITION DES VECTEURS PERPENDICULAIRES



Les valeurs numériques des deux vecteurs sont $F_1=3$ et $F_2 = 4$

Selon le théorème de Pythagore:

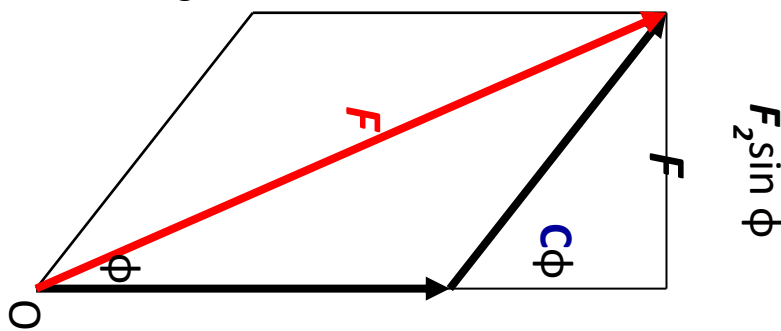
Le carré de l'hypoténuse est égal à la somme des carrés des deux autres côtés.

Ainsi, la valeur de la résultante est la suivante:

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{9 + 16} = \sqrt{25} = 5$$

La composition des vecteurs dans le cas général se fait en assemblant le triangle d'addition des vecteurs OAB et le triangle rectangle ABC de sorte à obtenir le triangle rectangle OBC.

Notons Φ l'angle entre les vecteurs F_1 et F_2



En appliquant le théorème de Pythagore dans le triangle OBC nous obtenons

$$\begin{aligned} F^2 &= (F_1 + F_2 \cos \varphi)^2 + F_2^2 \sin^2 \varphi \\ &= F_1^2 + 2F_1F_2 \cos \varphi + F_2^2 (\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi) \\ &= F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \varphi \end{aligned}$$

CINEMATIQUE ET DYNAMIQUE

La CINÉMATIQUE est une branche de la mécanique qui étudie le mouvement des corps, indépendamment de leurs masses et des causes qui produisent le mouvement. Du fr. Cinématique.

Source: DEX '09 (2009)

La DYNAMIQUE est une branche de la mécanique qui étudie le mouvement des corps sous l'action de diverses forces. Du fr. Dynamique. Source: DEX '09 (2009)

1.5.ÉLÉMENTS DE CINÉMATIQUE

LE MOUVEMENT est en physique, un changement de position d'un objet par rapport au temps. Il existe deux domaines de la physique qui traitent de l'étude du mouvement:

La DYNAMIQUE, partie de la physique qui étudie le mouvement et les forces de mouvement , y compris leurs causes.

La CINÉMATIQUE, partie de la physique qui étudie le mouvement sans tenir compte des causes des forces de mouvement.

LES MOUVEMENTS physiques sont définis par plusieurs paramètres:

LE DÉPLACEMENT est la différence entre les positions initiale et finale d'un corps déplacé.

LA TRAJECTOIRE est le chemin suivi par un corps en mouvement, représenté par la ligne décrite par son centre de gravité.

Dans un mouvement rectiligne, la trajectoire est une ligne droite.

Dans un mouvement curviligne, la trajectoire courbe est une ligne , elle peut être aussi un cercle.

LA DISTANCE est la longueur du segment de la trajectoire défini par le point initial et le point final du mouvement du corps.

LA VITESSE est la mesure du changement de la position et de la direction du mouvement d'un corps en fonction du temps.

L'ACCÉLÉRATION est la mesure des changements de vitesse d'un corps en fonction du temps.

La cinématique étudie les lois générales du mouvement des corps sans prendre en considération les causes de ces mouvements ou les propriétés particulières telles que la forme, la dimension, etc.

LE POINT MATÉRIEL est un corps physique réel dont la dimension peut être négligée par rapport à d'autres dimensions qui interviennent dans cette question.

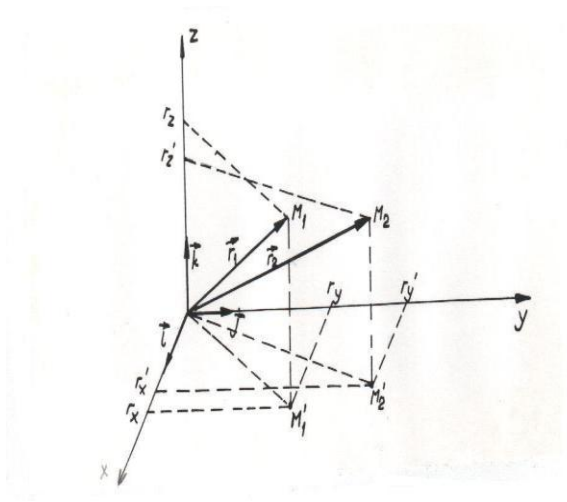
Tout type de mouvement implique des intervalles spatiaux parcourus dans des intervalles de temps.

L'étude du mouvement nécessite de mesurer les intervalles d'espace-temps.

Mesurer un intervalle de l'espace peut être effectué seulement par rapport à un repère particulier appelé aussi corps de référence.

Dans la nature il n'y a pas des mouvements absolus mais seulement des mouvements relatifs.

1.6.SYSTÈME DE COORDONNÉES CARTÉSIEN



Soit le point M, représenté dans un système de coordonnées cartésien Oxyz, par le vecteur de position.

À chaque axe de coordonnées correspond un vecteur ou unité vectorielle. Les vecteurs sont situés sur la direction des axes et ont la propriété : $|\vec{i}| = |\vec{j}| = |\vec{k}| = 1$

L'expression analytique du vecteur de position du point M1 : $\vec{r}_1 = r_x \cdot \vec{i} + r_y \cdot \vec{j} + r_z \cdot \vec{k}$

Puisque les coordonnées r_x , r_y et r_z peuvent dépendre du temps, il est possible d'écrire les

ÉQUATIONS PARAMÉTRIQUES suivantes:

$$\begin{array}{ll} r_x = r_x(t) & x = x(t) \\ r_y = r_y(t) & \text{ou} \quad y = y(t) \\ r_z = r_z(t) & z = z(t) \end{array}$$

En éliminant le temps des équations paramétriques on peut obtenir

L'ÉQUATION DE LA TRAJECTOIRE : $z = z(x, y)$.

VITESSE - Système de coordonnées cartésien

La **VITESSE** du point matériel dans le système de coordonnées cartésien est exprimée par la définition suivante:

La vitesse est la variation des coordonnées dans le temps.

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

$$\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k}$$

$$\vec{v} = \dot{r}_x \vec{i} + \dot{r}_y \vec{j} + \dot{r}_z \vec{k}$$

$$[v]_{SI} = \text{m/s} \text{ Ou } [v] = \text{km/h} = 1000\text{m}/3600 \text{ s}$$

ACCÉLÉRATION- SYSTÈME DE COORDONNÉES CARTÉSIEN

L'ACCÉLÉRATION du point matériel dans le système de coordonnées cartésien est exprimée par la définition de la manière suivante:

L' ACCÉLÉRATION est la variation de la vitesse dans le temps.

$$[a]_{SI} = \text{m/s}^2, [a]_{SI} = \text{m.s}^{-2}$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

$$\vec{a} = a_x \cdot \vec{i} + a_y \cdot \vec{j} + a_z \cdot \vec{k}$$

$$\vec{a} = \dot{v}_x \cdot \vec{i} + \dot{v}_y \cdot \vec{j} + \dot{v}_z \cdot \vec{k}$$

$$\vec{a} = \ddot{r}_x \cdot \vec{i} + \ddot{r}_y \cdot \vec{j} + \ddot{r}_z \cdot \vec{k}$$

LA FORCE . SYSTÈME DE COORDONNÉES CARTÉSIEN

LA FORCE est le produit de la masse par l'accélération.

La force qui s'exerce sur le point matériel est une force de type newtonien.

En connaissant la masse m du point matériel et en appliquant le principe fondamental (le principe 2 de la mécanique), nous aurons les relations suivantes: $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$

$$\vec{F} = m \cdot a_x \cdot \vec{i} + m \cdot a_y \cdot \vec{j} + m \cdot a_z \cdot \vec{k}$$

$$F_x = m \cdot a_x$$

$$F_y = m \cdot a_y$$

$$F_z = m \cdot a_z$$

CONCLUSION :

En connaissant le vecteur de position d'un point matériel et inévitablement les équations paramétriques et l'équation de la trajectoire, il est possible de déterminer la vitesse, l'accélération et le type de force qui y agit.

SYSTÈME DE COORDONNÉES CARTÉSIEN. MÉTHODE INVERSE

En connaissant le type de force qui s'exerce sur le point matériel , il est possible de déterminer l'équation de la trajectoire sur laquelle il se déplace.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}; \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

De la définition de l'accélération:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

$$d\vec{v} = \vec{a} \cdot dt$$

on sépare les variables $d\vec{v} = \vec{a} \cdot dt$

et on intègre à l'aide des conditions initiales.

Je vois ce qui se passe à t_0 et t , à v_0 et v .

Après avoir fait une addition pour tous les termes j'obtiens les relations suivantes:

$$\int_{v_0}^v d\vec{v} = \int_{t_0}^t \vec{a} \cdot dt \Rightarrow \vec{v} - \vec{v}_0 = \int_{t_0}^t \vec{a} \cdot dt$$

La loi de la vitesse s'écrit: $\vec{v} = \vec{v}_0 + \int_{t_0}^t \vec{a} \cdot dt$

De la définition de la vitesse $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$

on sépare les variables $d\vec{r} = \vec{v} \cdot dt$

et on intègre la coordonnée à gauche et le temps à droite à l'aide des conditions initiales:

$$\int_{\vec{r}_0}^{\vec{r}} d\vec{r} = \int_{t_0}^t \vec{v} \cdot dt \Rightarrow \vec{r} - \vec{r}_0 = \int_{t_0}^t \vec{v} \cdot dt$$

LA LOI DU MOUVEMENT $\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \int_{t_0}^t \vec{v} \cdot dt$

$$x(t) = x_0 + \int_{t_0}^t v_x \cdot dt$$

$$y(t) = y_0 + \int_{t_0}^t v_y \cdot dt$$

$$z(t) = z_0 + \int_{t_0}^t v_z \cdot dt$$

Quand on élimine le temps des équations paramétriques on obtient l'équation de la trajectoire:

$$z = z(x, y)$$

Le vecteur position $\vec{r} = x \cdot \vec{i} + y \cdot \vec{j} + z \cdot \vec{k}$

APPLICATIONS

Pour chaque molécule de médicament, la position de tous les atomes dans la molécule est enregistrée dans la base de données de Cambridge.

Par exemple, la molécule de vitamine C : $C_6H_8O_6$

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/ascorbic-acid#section=2d-structure>

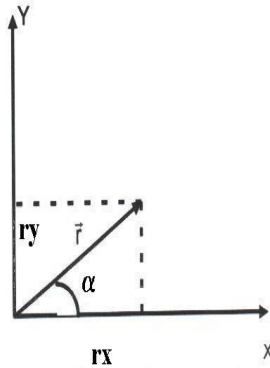
Dans la figure suivante, on peut voir que les trois premières colonnes du fichier CIF correspondant indiquent la position de chaque atome de C, H et O dans la molécule de vitamine C.

```
54670067
-OEChem-10102309173D

20 20 0      1 0 0 0 0 0999 V2000
 0.0932 -1.1066 0.6445 O 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-1.3436 0.0892 -1.3863 O 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 0.8392 2.3901 0.2844 O 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-3.8929 -0.2040 -0.3326 O 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 3.0220 0.5695 -0.6056 O 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 1.9915 -2.1560 -0.1376 O 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-0.3397 0.2618 0.7853 C 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-1.6059 0.4585 -0.0330 C 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 0.8212 1.0265 0.2887 C 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-2.7464 -0.4082 0.4863 C 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 1.8077 0.2273 -0.1049 C 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 1.3536 -1.1481 0.1108 C 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-0.5154 0.4609 1.8484 H 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-1.9162 1.5092 -0.0432 H 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-2.4989 -1.4735 0.4351 H 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-3.0013 -0.1462 1.5179 H 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-1.0999 -0.8522 -1.3986 H 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 0.0039 2.6957 0.6780 H 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-4.6023 -0.7644 0.0257 H 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 3.5024 -0.2572 -0.7856 H 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

1.7. LE SYSTÈME DE COORDONNÉES POLAIRES DANS UN PLAN

Dans le système de coordonnées polaires xOy on considère le point matériel M, caractérisé par les équations paramétriques : $\alpha = \alpha(t)$, $r = r(t)$,



$r = r(\alpha)$ - Équation de la trajectoire

La relation entre le système de coordonnées cartésien et le système de coordonnées polaires est:

$$x = r \cdot \cos \alpha$$

$$y = r \cdot \sin \alpha$$

$$\vec{r} = x \cdot \vec{i} + y \cdot \vec{j}$$

$$\vec{r} = r \cdot \cos \alpha \cdot \vec{i} + r \cdot \sin \alpha \cdot \vec{j}$$

Le vecteur position a la forme $\vec{r} = r \cdot \cos \alpha \cdot \vec{i} + r \cdot \sin \alpha \cdot \vec{j}$

VERSEUR RADIAL $\vec{i} \cdot \cos \alpha + \vec{j} \cdot \sin \alpha = \vec{\rho}$

VERSEUR TANGENTIEL $-\vec{i} \cdot \sin \alpha + \vec{j} \cdot \cos \alpha = \vec{n}$

LA VITESSE

Par définition la vitesse est égale à: $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \dot{\vec{r}}$

avec le vecteur position: $\vec{r} = r \cdot \cos \alpha \cdot \vec{i} + r \cdot \sin \alpha \cdot \vec{j}$

et le vecteur vitesse :

$$\vec{v} = \dot{\vec{r}} = \dot{r} \cdot \cos \alpha \cdot \vec{i} - r \cdot \dot{\alpha} \cdot \sin \alpha \cdot \vec{i} + \dot{r} \cdot \sin \alpha \cdot \vec{j} + r \cdot \dot{\alpha} \cdot \cos \alpha \cdot \vec{j}$$

$$\vec{v} = \dot{r} \cdot (\vec{i} \cdot \cos \alpha + \vec{j} \cdot \sin \alpha) + r \cdot \dot{\alpha} \cdot (-\vec{i} \cdot \sin \alpha + \vec{j} \cdot \cos \alpha)$$

LA VITESSE dans LE SYSTÈME DE COORDONNÉES POLAIRES dans un plan est :

$$\vec{v} = \dot{r} \cdot \vec{\rho} + r \cdot \dot{\alpha} \cdot \vec{n}$$

La composante radiale de la vitesse $\dot{r} = v_r$

La composante tangentielle de la vitesse $r \cdot \dot{\alpha} = v_t$

Par suite, le vecteur vitesse est: $\vec{v} = v_r \cdot \vec{\rho} + v_t \cdot \vec{n}$

NOTATIONS:Coordonnée linéaire – r coordonnée angulaire – α **vitesse linéaire :** $\dot{r} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ -

C'est la variation de la coordonnée dans le temps

vitesse angulaire : $\dot{\alpha} = \frac{d\alpha}{dt}$

C'est l'angle qui varie dans le temps

Accélération linéaire $\ddot{r} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$

C'est la variation d'ordre 2 de la distance dans le temps

Accélération angulaire $\ddot{\alpha} = \frac{d^2\alpha}{dt^2}$

C'est la variation d'ordre 2 de l'angle dans le temps

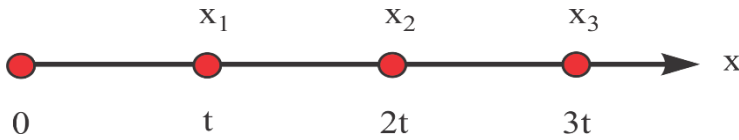
L'Accélération c'est la variation d'ordre 1 de la vitesse dans le temps $\vec{a} = \dot{\vec{v}}$ On fait les calculs suivants: $\vec{v} = \dot{\vec{r}} = \dot{r} \cdot \cos \alpha \cdot \vec{i} - r \cdot \dot{\alpha} \cdot \sin \alpha \cdot \vec{i} + \dot{r} \cdot \sin \alpha \cdot \vec{j} + r \cdot \dot{\alpha} \cdot \cos \alpha \cdot \vec{j}$ $\vec{a} = \dot{\vec{v}} = \ddot{r} \cdot \cos \alpha \cdot \vec{i} - \dot{r} \cdot \dot{\alpha} \cdot \sin \alpha \cdot \vec{i} - r \cdot \ddot{\alpha} \cdot \sin \alpha \cdot \vec{i} - r \cdot \dot{\alpha} \cdot \dot{\alpha} \cdot \cos \alpha \cdot \vec{i} +$ $+ \ddot{r} \cdot \sin \alpha \cdot \vec{j} + \dot{r} \cdot \dot{\alpha} \cdot \cos \alpha \cdot \vec{j} + r \cdot \ddot{\alpha} \cdot \cos \alpha \cdot \vec{j} + r \cdot \dot{\alpha} \cdot \dot{\alpha} \cdot \sin \alpha \cdot \vec{j} - r \cdot \dot{\alpha} \cdot \dot{\alpha} \cdot \sin \alpha \cdot \vec{j}$ Après avoir fait les calculs précédents on obtient la forme finale de **l'accélération:** $\vec{a} = \left(\ddot{r} - r \cdot \dot{\alpha}^2 \right) \cdot \vec{\rho} + \left(2 \cdot \dot{r} \cdot \dot{\alpha} + r \cdot \ddot{\alpha} \right) \cdot \vec{n}$

Où l'on a les composantes :

Verseur radial: $\vec{\rho} = \vec{i} \cdot \cos \alpha + \vec{j} \cdot \sin \alpha$ **Verseur tangentiel:** $\vec{n} = -\vec{i} \cdot \sin \alpha + \vec{j} \cdot \cos \alpha$ **La composante radiale de l'accélération** $2 \cdot \dot{r} \cdot \dot{\alpha} + r \cdot \ddot{\alpha} = a_n$ **La composante tangentielle de l'accélération** $\ddot{r} - r \cdot \dot{\alpha}^2 = a_r$ **La vecteur accélération** $\vec{a} = a_r \cdot \vec{\rho} + a_n \cdot \vec{n}$ **La module de l'accélération** $a = \sqrt{a_r^2 + a_n^2}$ Si le point matériel a une masse m , alors la force s'exerçant sur le point de masse m a l'expression : $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ ou $\vec{F} = m \cdot (a_r \cdot \vec{\rho} + a_n \cdot \vec{n})$

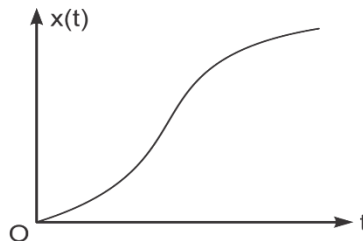
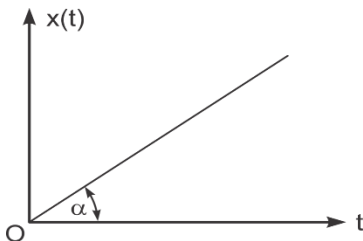
1.8. TYPES DES MOUVEMENTS

MOUVEMENT RECTILIGNE ET UNIFORME



$$\frac{x_1}{t} = \frac{x_2}{2 \cdot t} = \frac{x_3}{3 \cdot t} = \dots = \text{const} \quad ; \quad x_i = v \cdot i \cdot t$$

MOUVEMENT RECTILIGNE ET UNIFORME MOUVEMENT RECTILIGNE ET NON UNIFORME

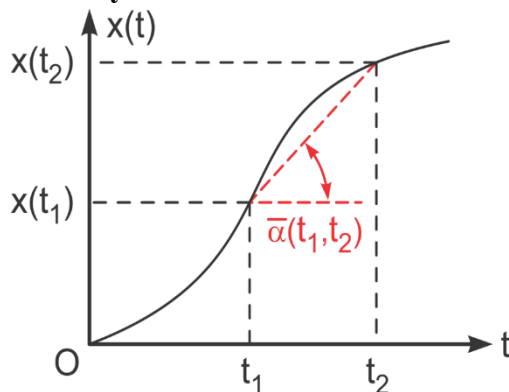


.Le déplacement $x(t)$ est une fonction de temps et la vitesse (v) ne dépend pas du temps.

$$v = \frac{dx(t)}{dt} = \frac{x(t)}{t} = \text{const}$$

La déplacement $x(t)$ et la vitesse $v(t)$ sont des fonctions de temps : $v = \frac{dx(t)}{dt}$

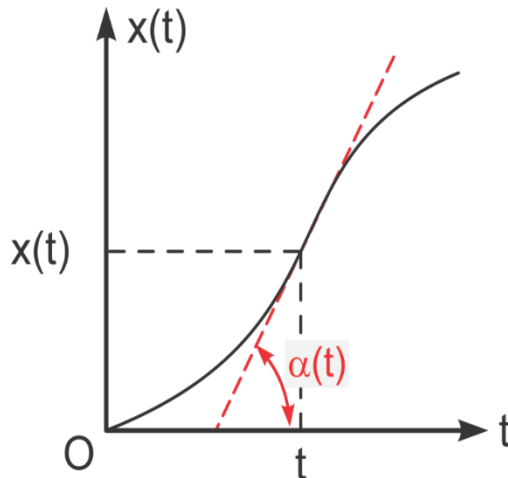
Vitesse Moyenne . Vitesse Instantanée



La vitesse moyenne (t_1, t_2) dans l'intervalle de temps (t_1, t_2).

$$\bar{v}(t_1, t_2) = \frac{x(t_2) - x(t_1)}{t_2 - t_1}$$

La distance (Δx) parcourue au temps Δt



$$\Delta x = \bar{v}(t_1, t_2) \cdot \Delta t$$

La vitesse instantanée $v(t)$ dans le temps t est donnée par:

$$v(t) = \frac{dx(t)}{dt} = \dot{x}(t)$$

La distance parcourue $\Delta x(t_1, t_2)$, au l'intervalle du temps $\Delta t = t_2 - t_1$

$$\Delta x(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} v(t) \cdot dt$$

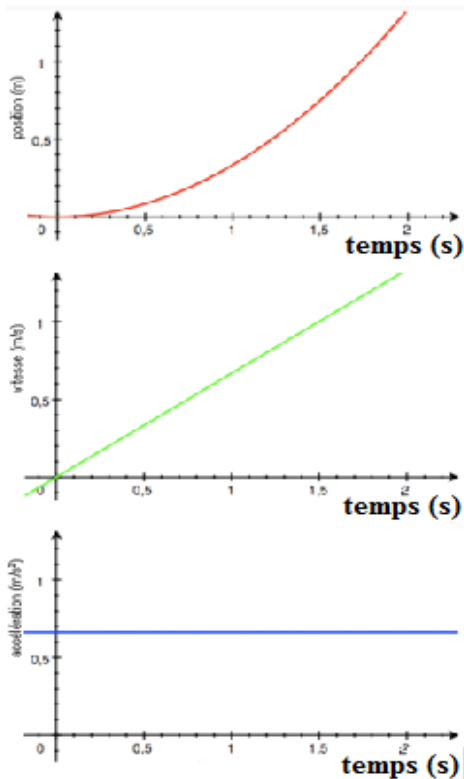
MOUVEMENT RECTILIGNE UNIFORMEMENT VARIE

La variation de la vitesse dans l'unité de temps s'appelle **accélération**.

L'ACCÉLÉRATION est la dérivée de la vitesse par rapport au temps.

$$a(t) = \frac{dv(t)}{dt} = \frac{d^2x(t)}{dt^2}$$

$$a(t) = \dot{v}(t) = \ddot{x}(t)$$



Mouvement uniformément accéléré: $a > 0$

Mouvement uniformément décéléré: $a < 0$

$a >_{SI} = m/s^2$

Si le mouvement est rectiligne et accéléré, l'accélération est constante dans le temps et l'on a un mouvement rectiligne uniformément varié ($a = \text{const}$).

$a = \text{const}$

$v(t) = v(t_0) + a \cdot t$ — loi de vitesse

$x(t) = x(t_0) + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ — loi de mouvement

En combinant les deux relations nous avons la relation de

Galilée $v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot d$

En cinématique, un **MOUVEMENT RECTILIGNE UNIFORMÉMENT ACCÉLÉRÉ** est un mouvement dont l'accélération est constante.

On utilise parfois les abréviations

MRUA (pour mouvement rectiligne uniformément accéléré),

MRUD (pour mouvement rectiligne uniformément décéléré) et MRUV (mouvement rectiligne uniformément varié).

ÉQUATIONS DE MOUVEMENT

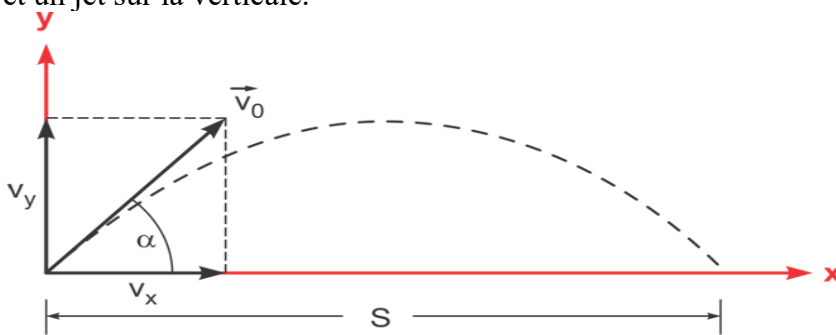
Supposons que le mouvement se fasse selon l'axe des x .

$$\begin{cases} a(t) = \ddot{x} = \text{constante} \\ v(t) = \dot{x} = v_0 + at \\ x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2. \end{cases}$$

De ceci, on peut déduire une relation entre l'accélération, la variation de vitesse et le chemin parcouru $x - x_0$

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$$

JET OBLIQUE DU POINT MATÉRIEL DANS LE CHAMP GRAVITATIONNEL est composé d'un mouvement rectiligne et uniforme sur l'horizontale et un jet sur la verticale.



À chaque moment t les coordonnées $x(t)$ et $y(t)$ du point matériel sont exprimées comme suit:

$$x(t) = t \cdot v_0 \cdot \cos \alpha$$

$$y(t) = t \cdot v_0 \cdot \sin \alpha - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

En éliminant t des deux équations on obtient:

$$y = \frac{v_0^2 \cdot x \cdot 2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha - g \cdot x^2}{2 \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha}$$

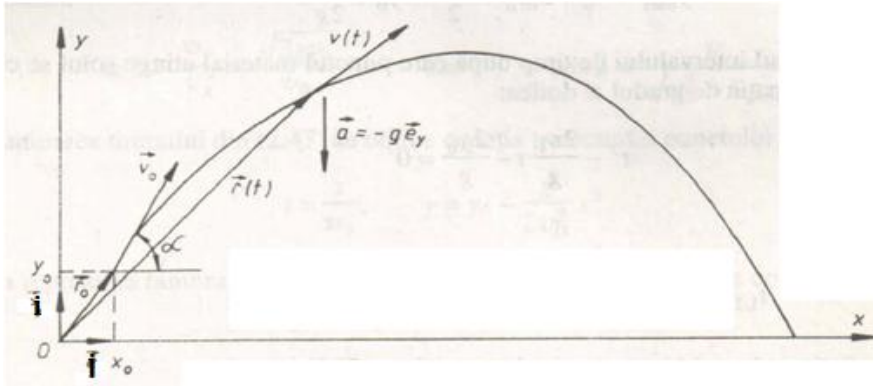
$$\text{Si } y \rightarrow 0, \text{ alors } x \rightarrow \begin{Bmatrix} 0 \\ S \end{Bmatrix} \Rightarrow S = \frac{v_0^2 \cdot \sin(2 \cdot \alpha)}{g}$$

Dans le champ gravitationnel à des distances données tous les corps ont la même accélération. Cette conclusion est le résultat de nombreuses données expérimentales de Galileo Galilei (1564-1642).

Si à l'instant t est égal à 0, le vecteur du point matériel est r et sa vitesse initiale v est: $C1 = v_0$, $C2 = r_0$,

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t - \frac{gt^2}{2} \vec{j}$$

alors $\vec{v}(t) = \vec{v}_0 - gt\vec{j}$



Les lois des mouvement sur l'axes Ox et Oy

$$x(t) = x_0 + v_0 t \cos \alpha$$

$$y(t) = y_0 + v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}$$
 Le temps après lequel le corps atteint une hauteur maximale

$$v_x(t) = v_x = v_0 \cos \alpha$$

JET VERTICAL VERS LE HAUT

Cas pour lequel : $x=0$ si $\alpha=\pi/2$

$$y(t) = y_0 + v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}$$

$$v_x = v_0 - gt = 0$$

$$t_0 = \frac{v_0}{g}$$
 Le temps après lequel le corps atteint une hauteur maximale

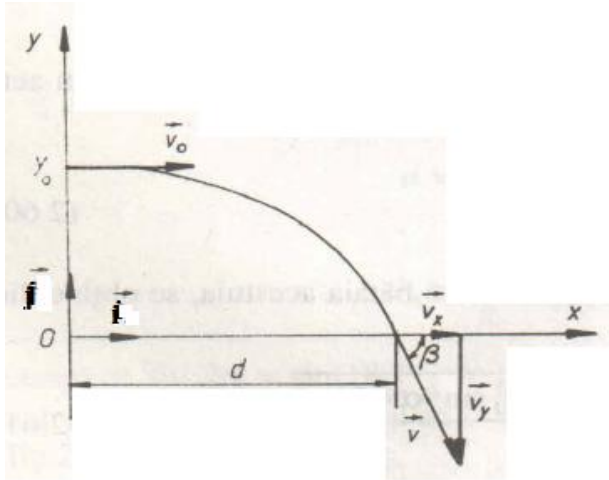
$$y_{\max} = y_0 + v_0 t_0 - \frac{gt_0^2}{2} = y_0 + \frac{v_0^2}{2g}$$
 - La hauteur maximale

JET HORIZONTAL DEPUIS LA HAUTEUR Y

Cas pour lequel $x=0$ et $\alpha=0$

$$x(t) = v_0 t$$

$$y(t) = y_0 + \frac{gt^2}{2}$$



Temps après lequel le point matériel touche le sol :

$$y_0 = \frac{gt^2}{2}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot y_0}{g}}$$

Distance parcourue par le point matériel horizontalement:

$$d = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2y_0}{g}}$$

Composantes de la vitesse lorsque le point matériel touche le sol:

$$v_x = v_0$$

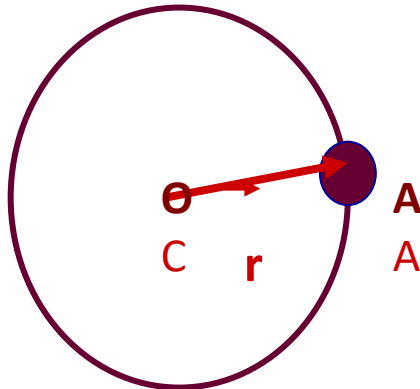
$$v_y = -gt = -g \sqrt{\frac{2y_0}{g}} = -\sqrt{2gy_0}$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + 2gy_0}$$

1.9.MOUVEMENT CIRCULAIRE UNIFORME

C'est le mouvement du point matériel sur un cercle lorsque sa vitesse est constante en module.
Le point matériel décrit des arcs égaux pendant des intervalles de temps égaux.

GRANDEURS CARACTERISTIQUES

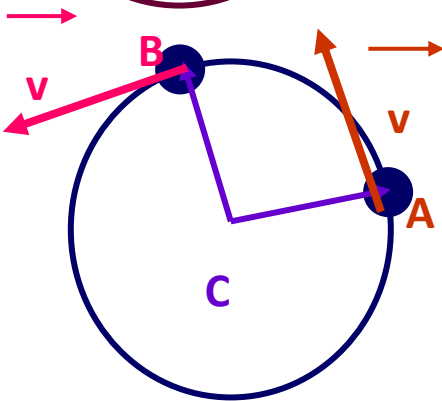


Rayon vecteur (r) - le vecteur position du point matériel tracé du centre du cercle vers l'extérieur

Période (T) - le temps où le point matériel parcourt toute la longueur du cercle.

Fréquence (ν) - le nombre de tours complets effectués par le point matériel par unité de temps: $\nu = \frac{1}{T}$

$$[\nu]_{SI} = \frac{1}{s} \left(\frac{rot}{s} \right)$$



La vitesse linéaire (v) - la vitesse du point matériel sur la trajectoire ayant le module égal à la longueur de l'arc de cercle parcouru par unité de temps: $v = \frac{AB}{\Delta t}$

La vitesse angulaire (ω) - c'est l'angle au centre décrit par le vecteur par unité de temps: $\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$ et l'unité est: $[\omega]_{SI} = \frac{rad}{s}$

L'accélération normale (centripète) - c'est la variation de la vitesse du point matériel par unité de temps:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

$$a = -\omega^2 r$$

La loi du mouvement circulaire uniforme : $\theta = \theta_0 + \omega(t - t_0)$

La liaison entre la vitesse angulaire (ω), la période (T), la fréquence (ν): $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$

La liaison entre la vitesse linéaire (v) et la vitesse angulaire (ω): $\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$
et la norme ou le module du vecteur: $v = \omega r$

La force centripète est la force qui,

exercée sur le point matériel, détermine le mouvement circulaire uniforme.

La force centripète peut être la force d'attraction exercée sur la Terre par le Soleil, ou encore la force exercée par la Terre sur la Lune.

$$F = m\omega^2 r = m \frac{v^2}{r}$$

ou $F = -m\omega^2 r$

La force de frottement appliquée aux pneus par la piste circulaire

La force électrique exercée par le noyau sur les électrons de l'atome

La force exercée par le champ magnétique sur une charge électrique en mouvement dans un champ s'appelle force de Lorentz.

Résistance à la traction d'un ressort fixé à un corps

FORCE CENTRIFUGE

Dans un référentiel inertielle quand on a une force centrifuge on a automatiquement une force centripète.

Exemples:

1) **LA FORCE CENTRIPÈTE** - c'est la force exercée par le Soleil sur la Terre

2) **LA FORCE CENTRIFUGE** - c'est la force exercée par la Terre sur le Soleil

Dans le cas de LA FORCE CENTRIFUGE D'INERTIE qui se produit dans un référentiel non inertielle on a l'exemple suivant:

Dans les courbes, les corps en mouvement accéléré ont tendance à se déplacer vers l'extérieur de la courbe.

Effets et applications de la force centrifuge

Centrifugeuse pour l'extraction du miel

Machine à laver centrifugeuse

En prenant les virages, les cyclistes et les motocyclistes se penchent vers le centre de la courbe à l'angle:

$$\tan \alpha = \frac{v^2}{gR} \text{ pour éviter de tomber.}$$

Dans les courbes le rail extérieur est surélevé pour éviter l'application inégale des forces sur les rails et par conséquent le renversement des wagons.

Pour éviter le patinage des voitures en route, la route est inclinée sur l'horizontale à l'angle horizontal :

$$\tan \alpha = \frac{v^2}{gR}$$

Séparateur centrifuge

Centrifuge

ventilateur centrifuge

L'effet de la force centrifuge est l'aplatissement de la Terre aux pôles.

1.10.LA CENTRIFUGATION

La centrifugation est un procédé de séparation par gravité des suspensions dans l'eau à des accélérations supérieures à l'accélération de la pesanteur.

Dans le cas de la centrifugation on obtient une grande vitesse de sédimentation, ce qui conduit à la séparation d'une grande masse de suspensions par unité de temps.

Par la centrifugation sont obtenus des concentrés plus compacts avec un contenu en solides plus élevé. En raison du coût élevé de l'installation et de la consommation d'énergie, ce procédé est appliqué de préférence aux eaux usées contenant des suspensions à haute concentration et pour la concentration des boues.

LA CENTRIFUGATION est un procédé de séparation des composés d'un mélange en fonction de leur différence de densité en les soumettant à une force centrifuge.

Le mélange à séparer peut être constitué soit de deux phases liquides, soit de particules solides en suspension dans un fluide.

L'appareil utilisé est une machine tournante à grande vitesse appelée CENTRIFUGEUSE.

PRINCIPE DE LA CENTRIFUGATION

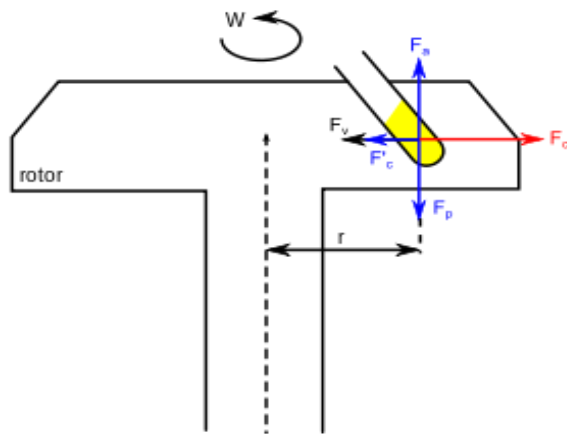


Schéma des différentes forces s'appliquant sur le composé à centrifuger

La séparation des composés d'un mélange est réalisable par DÉCANTATION, sous l'action de la seule de bons résultats et est donc souvent inefficace.

Il est donc plus efficace d'utiliser la centrifugation.

Au cours de cette opération de séparation, les composés dans le fluide situés à une distance r de l'axe de rotation sont soumis à différentes forces:

La force de pesanteur descendante F_p

La poussée d'Archimède ascendante F_a

Une force de friction F_v

La force centripète F'_c

La force centrifuge F_c

La séparation s'opère par l'action de la force centrifuge F_c sur les composés.

Cette force centrifuge, exprimée en newtons, est donnée par la relation:

$$F_c = m r \omega^2 \text{ en N ou } (\text{kg.m/s}^2) \text{ où :}$$

m la masse du composé à séparer

r la distance du tube à l'axe de rotation de la centrifugeuse

La vitesse angulaire ω exprimée en radians par seconde ou en tours par minute.

Le rapport de la force centrifuge F_c sur le poids F_p est appelé intensité de la pesanteur artificielle et s'exprime en "g".

Les valeurs utilisées en centrifugation sont d'environ 400 à 10 000 g ce qui correspond à des vitesses de rotation de l'ordre 2 000 à 10 000 tours (ou rotations) /min suivant le rayon des rotors.

Certaines applications comme la séparation des macromolécules biologiques (protéines, acides nucléiques), nécessite la méthode d'ultracentrifugation mise au point par Svedberg qui utilise des intensités de pesanteur artificielle très élevées de l'ordre de 200 000 g, et qui nécessite de ce fait des vitesses de rotations de plusieurs dizaines de milliers de tours par minute.

LA CENTRIFUGATION- UTILISATION

Dans le quotidien : essorage de la salade (ex:essoreuse à salade), essorage du linge (ex:machine à laver), extraction du jus des fruits et légumes ;

Dans l'environnement : dessiccation des boues pour le traitement des eaux usées ;

Dans l'industrie alimentaire: séparation de la crème du lait (écrémage), élimination des particules de la bière ou du vin (clarification), extraction des huiles et des matières grasses (extraction de l'huile d'olive), extraction du miel (apiculture),

Dans les laboratoires : pour récupérer un précipité, pour séparer des éléments figurés dans le sang (globules rouges, globules blancs, plaquettes en suspension dans le plasma sanguin), séparation de composés cellulaires pour étude biochimique ou moléculaire.

En orpaillage : pour séparer avec une batée l'or des sables aurifères.

Dans le domaine du nucléaire : pour enrichir l'uranium avec l'isotope léger U235 ;

En fonderie pour la réalisation de pièces de forme cylindrique;

Pour les eaux usées sont habituellement utilisés des décanteurs centrifuges à axe horizontal avec un fonctionnement continu.

Ils sont constitués d'un corps rotatif cylindrique-conique dans lequel tourne à son tour, à une vitesse légèrement plus faible, une vis sans fin.

Des suspensions aqueuses sont introduites à travers l'axe du corps et projetées sur la face interne de la paroi du corps de la centrifugeuse .

Les solides déposés sur la paroi en raison des forces centrifuges sont raclés et poussés par la vis sans fin sur la zone conique de la centrifugeuse.

Le liquide clarifié appelé centré est évacué à l'extrémité opposée de la centrifugeuse.

La profondeur de la couche liquide au dessus de la paroi de la centrifugeuse est fixée au moyen de trop-pleins réglables annulaires à travers lesquels est évacué le liquide clarifié. Le transport du concentré dans la zone conique est une tâche délicate, en raison des forces de cisaillement élevées impliquées, et en raison de la possibilité de pulvérisation de liquide clarifié, ce qui peut ramener la matière solide dans le corps de la centrifugeuse.

Ainsi , le concentré obtenu par centrifugation contient plus de 50% de matières sèches comparativement à la boue obtenue par d'autres méthodes de séparation dont la concentration est comprise entre 4% et 10%.

LA SEDIMENTATION

LA CENTRIFUGATION est une opération hydrodynamique par laquelle peuvent être séparés des mélanges hétérogènes .

Celle-ci se fait à l'aide de la force centrifuge qui se produit à une haute vitesse de rotation.

Les appareils avec lesquels elle est exécutée sont appelés généralement CENTRIFUGEUSES.

Les centrifugeuses sont caractérisées par des éléments en rotation à une vitesse élevée. Dans certains cas, les centrifugeuses reçoivent des noms spéciaux, principalement déterminés par l'opération effectuée: séparateur, clarificateur, concentrateur, etc .

Les centrifugeuses sont constituées principalement d'un tambour qui tourne à une vitesse élevée autour d'un axe vertical ou horizontal.

La séparation des mélanges hétérogènes sous l'influence de la force centrifuge est effectuée d'après LE PRINCIPE DE SÉDIMENTATION ou d'après LE PRINCIPE DE FILTRATION.

Dans le premier cas, le tambour de la centrifugeuse n'est pas perforé, de sorte que la séparation a lieu par sédimentation dans le champ centrifuge des particules solides qui s'accumulent sur la paroi du tambour en se disposant en couches en fonction de la différence de densité et le liquide limpide reste dans la centrifugeuse.

La centrifugation d'après le principe de sédimentation a parfois des noms spéciaux en fonction de l'étape technologique effectuée tels que:

la clarification (élimination des impuretés solides d'un liquide),

la concentration (concentration des particules solides dans un mélange solide- liquide)

Dans le second cas, les parois du tambour sont perforées et recouvertes d'un filtre. Ainsi, sous l'action de la force centrifuge, la suspension se déplace à la périphérie du tambour, où les particules solides se déposent sur le tissu filtrant et le liquide passe à travers la couche de sédiment . Les particules solides sont filtrées et s'éliminent à travers les trous du tambour. Il faut garder à l'esprit que par le procédé de filtrage, le liquide passe à travers la surface du filtre sous l'effet de la force centrifuge et les particules solides également entraînées par la force centrifuge sont retenues sur la surface de la couche de filtration comme dans le cas de la sédimentation.

Apparaissent trois phases principales, à savoir: la formation du précipité, son compactage et l'élimination de liquide retenu par les forces capillaires et moléculaires dans les pores du sédiment.

La première phase de filtration ressemble beaucoup à la sédimentation mais dans la filtration centrifuge la pression du fluide passant à travers le sédiment est plus élevée et l'élimination de l'humidité plus intense.

Les phases de compactage et d'élimination du liquide retenu par des forces capillaires et moléculaires dans les pores du sédiment n'existent pas dans la filtration ordinaire (sédimentation).

La phase d'élimination du liquide retenu dans les pores du sédiment ressemble étroitement à un procédé de séchage mécanique.

Par conséquent, sous l'influence de la force centrifuge le filtrage peut éliminer plus de liquide et on peut obtenir des sédiments plus secs que par la filtration ordinaire.

Ensuite un lavage du précipité peut être fait.

LA FILTRATION

Dans le second cas, les parois du tambour sont perforées et recouvertes d'un filtre. Ainsi, sous l'action de la force centrifuge, la suspension se déplace à la périphérie du tambour, où les particules solides se déposent sur le tissu filtrant et le liquide passe à travers la couche de sédiment. Les particules solides sont filtrées et s'éliminent à travers les trous du tambour. Il faut garder à l'esprit que par le procédé de filtrage, le liquide passe à travers la surface du filtre sous l'effet de la force centrifuge et les particules solides également entraînées par la force centrifuge sont retenues sur la surface de la couche de filtration comme dans le cas de la sédimentation.

Apparaissent trois phases principales, à savoir: la formation du précipité, son compactage et l'élimination de liquide retenu par les forces capillaires et moléculaires dans les pores du sédiment.

La première phase de filtration ressemble beaucoup à la sédimentation mais dans la filtration centrifuge la pression du fluide passant à travers le sédiment est plus élevée et l'élimination de l'humidité plus intense.

Les phases de compactage et d'élimination du liquide retenu par des forces capillaires et moléculaires dans les pores du sédiment n'existent pas dans la filtration ordinaire (sédimentation).

La phase d'élimination du liquide retenu dans les pores du sédiment ressemble étroitement à un procédé de séchage mécanique.

Par conséquent, sous l'influence de la force centrifuge le filtrage peut éliminer plus de liquide et on peut obtenir des sédiments plus secs que par la filtration ordinaire.

Ensuite un lavage du précipité peut être fait

La durée des phases de filtrage sous l'effet de la force centrifuge dépend d'un certain nombre de facteurs.

Dans les suspensions diluées, l'étape consistant à former le sédiment est très importante, tandis que dans les suspensions concentrées, cette étape est inexistante, car le dépôt se produit instantanément.

Il est à noter que la sédimentation sous l'influence de la force centrifuge diffère de la décantation sous l'influence de la force de la gravitation.

La vitesse de sédimentation dans le champ gravitationnel des particules ayant la même dimension et la même densité peut être considérée comme constante dans tout le récipient dans lequel la sédimentation se produit parce que l'accélération gravitationnelle est indépendante de la position de la particule.

L'effet de la force centrifuge est influencé par un certain nombre de facteurs tant pour la séparation par sédimentation que par filtration.

Les principaux facteurs intervenant dans le processus sont les suivants:

la valeur de la force centrifuge

la nature de la matière à séparer et du matériau dont la machine est fabriquée.

La séparation est provoquée par la force centrifuge qui résulte de la rotation d'un corps autour de son axe.

La force centrifuge qui résulte du mouvement d'une particule sur une trajectoire courbe est exprimée par

l'équation:
$$F_c = \frac{m \cdot w^2}{R}$$

Où:

F_c - la force centrifuge, N;

m - masse de la particule, kg;

w - vitesse périphérique, m / s;

R - rayon de rotation, m;

Compte tenu de la vitesse angulaire ω , la relation devient: $F_c = m\omega^2 R$

APPLICATION : TYPES DE CENTRIFUGEUSES :

1. ULTRACENTRIFUGEUSES – VITESSES DE ROTATION JUSQU'À 75 000 TR/MIN
2. CENTRIFUGEUSES À HAUTE VITESSE : 20 000-25 000 TR/MIN
3. CENTRIFUGEUSES DE BUREAU – 300 TR/MIN

CENTRIFUGEUSES CLINIQUES CLASSIQUES SIMPLES : elles sont simples et peu coûteuses, fonctionnent à une vitesse de rotation maximale de 3 000 tr/min et à température ambiante.



Les centrifugeuses à grande vitesse sont des centrifugeuses à flux continu ou des centrifugeuses à grande vitesse destinées à la réfrigération et à la congélation.

Les centrifugeuses à grande vitesse fonctionnent à des vitesses comprises entre 20 000 et 25 000 tr/min et peuvent être équipées de dispositifs de congélation.

Centrifugeuses à flux continu : elles sont relativement simples, ont une grande capacité de travail et séparent les mélanges de liquides.

Centrifugeuses à grande vitesse pour la réfrigération (congélation)

Elles ont une petite capacité.

Elles sélectionnent des micro-organismes tels que les virus et les petits organes.



Les ultracentrifugeuses tournent à une vitesse de 75 000 tr/min. Elles permettent d'isoler les virus, l'ADN, l'ARN et les protéines.

Les centrifugeuses comportent 4 composants :

1. Système de commande et de contrôle des transmissions et du déplacement
2. Système de contrôle de la température
3. Système de contrôle du vide
4. Rotors

$$v = \frac{dr}{dt} = \frac{V \cdot (\rho_p - \rho_m) \omega^2 \cdot r}{f}$$

vitesse de sédimentation

Où

r (cm) est la distance entre l'axe de rotation et la molécule ou la particule sédimentée.

V(cm³), le volume d'une particule

ρ_p (g/cm³), la densité de la particule

ρ_m (g/cm³), la densité du milieu

f(g/s), le coefficient de frottement

ω (cm/s), la vitesse radiale de sédimentation de la particule

$$s = \frac{dr}{dt} \cdot \frac{1}{\omega^2 \cdot r}$$

sau

$$\text{Coefficient de sédimentation : } s = V \cdot (\rho_p - \rho_m) \cdot f$$

S(s), unité : 10⁻¹³ secondes = 8 × 10⁻¹³ secondes = 18 s

Souvent, le coefficient de sédimentation est corrigé en fonction des valeurs de densité et de viscosité de l'eau à 20 °C

$$s_{20,w} = s_{t,m} \cdot \frac{\eta_{t,m} (\rho_p - \rho_{20,w})}{\eta_{20,w} (\rho_p - \rho_{t,m})}$$

$s_{t,m}$: coefficient de sédimentation non corrigé déterminé par le milieu m et la température t

$\eta_{t,m}$: viscosité du milieu à la température de centrifugation

$\eta_{20,w}$: viscosité de l'eau à 20 °C

ρ_p : densité des particules ou des molécules en solution

$\rho_{t,m}$: densité du milieu à la température de centrifugation

$\rho_{20,w}$ est la densité de l'eau à 20 °C

Coefficient de frottement

$$f = 6\pi\eta r_m$$

r_m (cm), rayon de la molécule ou de la particule

η (g/cm·s), viscosité du milieu en poises

La vitesse de sédimentation est donc influencée par la taille, la forme et la densité des molécules ou des particules sédimentées, mais aussi par la viscosité et la densité du milieu considéré

Le temps

$$s = \frac{dr}{dt} \cdot \frac{1}{\omega^2 \cdot r}$$

$$s = \frac{\ln r_t - \ln r_o}{\omega^2 (t_t - t_o)}$$

$$t_t - t_o = \frac{1}{s} \cdot \frac{(\ln r_t - \ln r_o)}{\omega^2} = \Delta t$$

r_t , - rayon du tube de centrifugation supérieur

r_o , rayon du tube de centrifugation inférieur

Δt - temps nécessaire pour déterminer la sédimentation totale ou la granulation de l'espèce sédimentée

Gradient de densité :

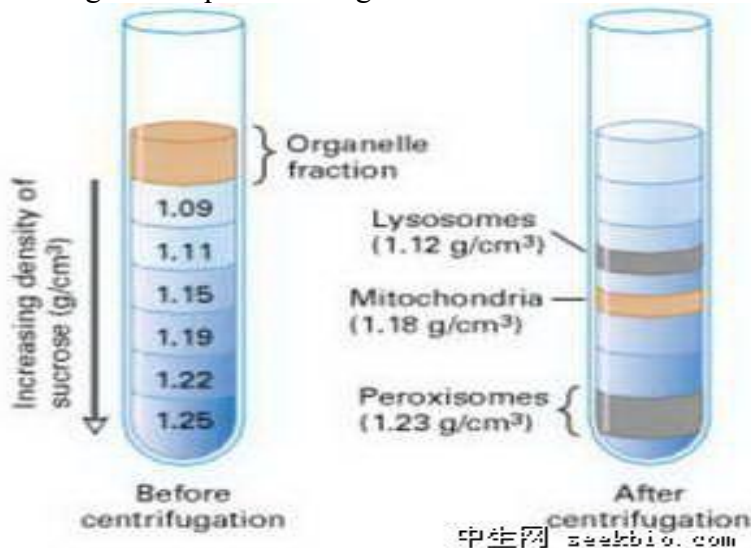
La solution est plus dense à la base du tube et la densité diminue vers le sommet du tube.

- Pour ce faire, on utilise deux techniques principales :
- La centrifugation zonale et la centrifugation isopycnique.

Exemple :

Méthode de purification fractionnée :

centrifugation équilibrée en gradient de densité : les cellules se séparent en fonction de leur densité.



À grande vitesse (environ 40 000 tr/min) – quelques heures

1.11.LES PRINCIPES DE LA MECANIQUE NEWTONIENNE.

La mécanique classique est basée sur trois principes fondamentaux posés par Issac Newton (1642-1727) dans son célèbre ouvrage “Philosophie Naturalis Principia Mathematica” publié en 1686.

Les succès de la mécanique newtonienne ont été si grands que l'on a considéré particulièrement au XIX^e siècle qu'expliquer n'importe quel phénomène physique consiste à le réduire à un processus mécanique qui peut être compris sur la base des principes de Newton.

Des données expérimentales ont mené aux conclusions suivantes :

Un corps subissant l'action d'autres corps modifie sa vitesse , c'est-à-dire qu'il reçoit une certaine accélération.

Un corps subissant l'action d'autres corps se déforme en modifiant sa taille et sa forme.

La description quantitative de ces phénomènes se fait par l'introduction du concept de force : toute action exercée sur un corps qui imprime à celui – ci une accélération ou encore produit une déformation est nommée FORCE.

Les résultats expérimentaux montrent que pour un corps donné le rapport entre la force et l'accélération est une constante caractéristique à ce corps nommée aussi masse inerte.

En mécanique classique, la masse inerte aura les propriétés fondamentales suivantes :

La masse inerte m est une grandeur physique additive , c'est- a- dire que la masse d'un corps est égale à la somme des masses de ses composants.

La masse inerte m est une grandeur physique constante caractéristique au corps considéré indépendante de l'état de mouvement du corps.

Les forces sont:

Forces distribuées dans tout le volume des corps et proportionnelles aux masses de leurs composants, telles que les forces de gravitation.

Forces appliquées ou concentrées en un point du corps. Ces forces sont transmises d'une partie du corps à l'autre en raison des interactions réciproques entre les parties correspondantes, produisant toujours une déformation.

On dit que la force, en tant que mesure des interactions entre les corps est la cause pour laquelle un corps donné a une certaine accélération. Mais il semblerait que cette affirmation n'est pas correcte, car l'accélération d'un corps dépend aussi du référentiel.

Il en résulte que l'accélération d'un corps peut avoir deux origines:

L'interaction entre le corps considéré et d'autres corps

Les propriétés du référentiel.

Résoudre le problème fondamental de la dynamique repose sur plusieurs principes fondamentaux, dont les trois premiers ont été posés par Isaac Newton (1642).

PRINCIPES DE LA MECANIQUE CLASSIQUE DE NEWTON:

PRINCIPE D'INERTIE (premier principe de la dynamique):

un corps sur lequel aucune force ne s'exerce, conserve son état de mouvement rectiligne et uniforme ou de repos relatif.

Le principe de proportionnalité entre la force et l'accélération (DEUXIÈME PRINCIPE DE LA DYNAMIQUE) peut être énoncé comme suit:

"Une force s'exerçant sur un corps lui donne une accélération proportionnelle à la force et inversement proportionnelle à la masse du corps."

Écriture quantitative: $F = ma$

On écrit les composants comme suit:

$$F_x = m \cdot a_x$$

$$F_y = m \cdot a_y \quad \text{équations de NEWTON}$$

$$F_z = m \cdot a_z$$

LE PRINCIPE DES ACTIONS RÉCIPROQUES

(le principe d'action et de réaction) affirme que les forces d'interaction entre deux corps sont de taille égale et de sens opposé, c'est-à-dire que $F_{ij} = -F_{ji}$ ($i \neq j$) où

F_{ij} est la force avec laquelle le corps j agit sur le corps i et

F_{ji} est la force avec laquelle le corps i agit sur le corps j .

PRINCIPE D'INDÉPENDANCE DE L'ACTION DES FORCES:

Chacune des forces s'exerçant sur un corps est indépendante de l'existence des autres forces appliquées.

LE PRINCIPE DE LA RELATIVITÉ CLASSIQUE DE GALILÉE reflète une propriété physique importante des référentiels inertiels :

"toute expérience mécanique effectuée dans un référentiel inertiel ne peut mettre en évidence ni le mouvement rectiligne et uniforme ni l'état de repos relatif du référentiel par rapport à d'autres référentiels inertiels".

Une forme évidente de ce principe a été donnée par Galilée en 1632 :

"les lois des phénomènes restent inchangées dans la translation uniforme du référentiel inertiel dans lequel ces phénomènes sont étudiés, par rapport à tout autre référentiel inertiel".

QUANTITE DE MOUVEMENT EN MECANIQUE CLASSIQUE OU IMPULSION

Définition en mécanique newtonienne classique

En mécanique classique, LA QUANTITÉ DE MOUVEMENT ou IMPULSION d'un point matériel de masse m animé d'une vitesse dans un référentiel donné est définie comme produit de la masse par la vitesse : $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$

C'est donc, comme la vitesse, une grandeur vectorielle, dont l'unité SI est le $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Cette grandeur est *additive*, ainsi pour un système matériel composé de N particules, la quantité de

mouvement totale (ou *résultante cinétique*) du système est définie par: $\vec{p} = \sum_{i=1}^n m \vec{v}_i$

THÉORÈMES FONDAMENTAUX DE LA MÉCANIQUE

Le Théorème de variation de l'impulsion est une autre forme sous laquelle on peut poser la deuxième loi de la dynamique.

On introduit l'impulsion du corps ayant la masse m : $\vec{p} = m\vec{v}$

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

LE THÉORÈME DE VARIATION DE L'IMPULSION s'écrit:

« La force est égale à la variation de l'impulsion dans le temps. » $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$

La variation de l'impulsion du point matériel est égale à l'impulsion de la force $d\vec{p} = \vec{F}.dt$
ou

L'impulsion est le produit d'une force constante par son temps d'application.

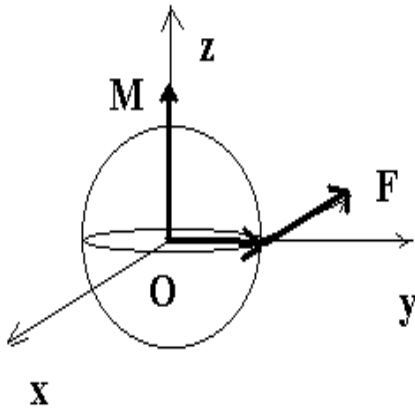
THÉORÈME DE CONSERVATION DE L'IMPULSION

En particulier, si la résultante des forces s'exerçant sur le point matériel est nulle

($\vec{F} = 0$), alors le résultat est le théorème (la loi) de conservation de l'impulsion $\vec{p} = \text{constant}$

Le théorème (la loi) de conservation de l'impulsion du point matériel s'énonce: si la résultante des forces s'exerçant sur le point est nulle ($\vec{F} = 0$), alors le système est en équilibre de translation et l'impulsion du point matériel est conservée. $\vec{p} = \text{constant}$

MOMENT D'UNE FORCE



Si une force s'exerce sur le corps dans la direction et le sens de l'axe Ox ,
le vecteur de position de l'endroit où la force est appliquée est défini par: $\vec{r} = r_x \vec{i} + r_y \vec{j} + r_z \vec{k}$

Tout est représenté dans un système de coordonnées cartésiennes.

Le vecteur Force est défini par: $\vec{F} = F_x \vec{i} + F_y \vec{j} + F_z \vec{k}$

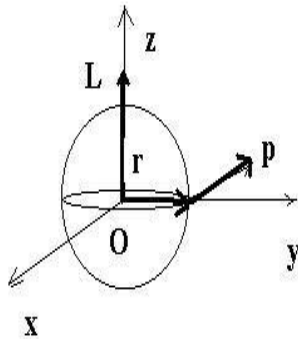
On peut écrire :LE MOMENT D'UNE FORCE :

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ r_x & r_y & r_z \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix} = M_x \vec{i} + M_y \vec{j} + M_z \vec{k}$$

Et la norme s'écrit: $|\vec{M}| = |\vec{r}| |\vec{F}| \sin(\vec{r}, \vec{F})$

Prenez un stylo qui tourne et tournez comme indiqué sur la figure: r sur F . Observez si le vecteur M monte ou descend (vers le haut ou vers le bas).

MOMENT CINÉTIQUE



Si sur le corps représenté dans un système de coordonnées cartésiennes agit l'impulsion dans le sens et la direction de l'axe Ox, alors

le vecteur de position du point où la force est appliquée est défini par: $\vec{r} = r_x \vec{i} + r_y \vec{j} + r_z \vec{k}$

Et l'impulsion (ou la quantité de mouvement) est: $\vec{p} = p_x \vec{i} + p_y \vec{j} + p_z \vec{k}$

On peut écrire la grandeur vectorielle MOMENT CINÉTIQUE :

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ r_x & r_y & r_z \\ p_x & p_y & p_z \end{vmatrix} = L_x \vec{i} + L_y \vec{j} + L_z \vec{k}$$

On peut écrire la grandeur scalaire ou la norme du MOMENT CINÉTIQUE : $|\vec{L}| = |\vec{r}||\vec{p}|\sin(\vec{r}, \vec{p})$

Si le moment cinétique est défini par: $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$

alors la variation du moment cinétique par rapport au temps est: $\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d\vec{r}}{dt} \times \vec{p} + \vec{r} \times \frac{d\vec{p}}{dt}$

mais : $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ C'est la définition de la vitesse et la définition de la force $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$

et $\frac{d\vec{r}}{dt} \times \vec{p} = 0$ parce que les deux vecteurs sont positionnés parallèlement.

THEOREME DE VARIATION DU MOMENT CINETIQUE :

En utilisant les définitions de la force et de la vitesse on obtient $\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{r} \times \frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{M}$

énoncé: « La variation du moment cinétique par rapport au temps est égale au moment de la force. »

THEOREME DE CONSERVATION DU MOMENT CINETIQUE

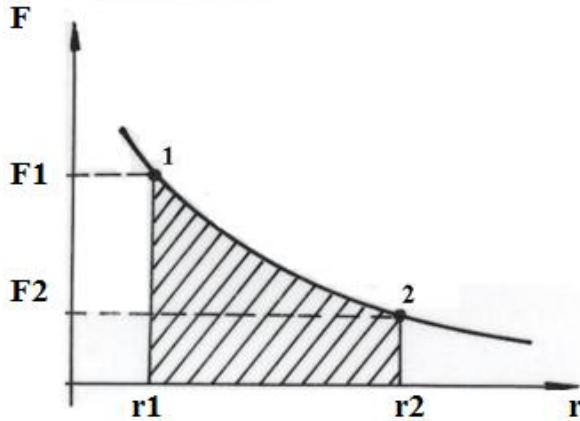
Si le moment de la force est nul, alors la variation du moment cinétique est égale à zéro et le moment cinétique est constant. $\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}$

Et l'énoncé du théorème de conservation du moment cinétique est: $\vec{M} = 0 \quad d\vec{L} = 0 \quad \vec{L} = \text{constant}$

«Si le moment résultant des forces s'exerçant sur le système est annulé, c'est-à-dire que le système est en équilibre de rotation, alors le moment cinétique du système est conservé.»

TRAVAIL MÉCANIQUE

Le travail mécanique élémentaire effectué par la force dF pour le déplacement du point matériel d'un point 1 au point 2 se définit par: $dW = \vec{F}d\vec{r}$



Calcul du travail mécanique pour différents types de forces

Le travail mécanique est défini par:

$$W_{12} = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{F}d\vec{r} = A_{12r2r1}$$

Dans la mécanique classique le travail est aussi égal à l'aire de la figure formée par la courbe force, les perpendiculaires abaissées aux points 1 et 2 (point initial et point final) et les axes des mouvements.

On peut écrire dans une seule direction la formule

suivante: $W_{12} = \int_{x_1}^{x_2} Fdx$

CAS PARTICULIERS

Le calcul du travail au cas de la FORCE ÉLASTIQUE

La grandeur vectorielle de la force élastique est la suivante: $\vec{F}_e = -k\vec{r}$

Dans une seule direction on peut écrire la grandeur scalaire de la force élastique: $F_e = -kx$

Le travail mécanique est: $W_{12} = \int_{x_1}^{x_2} Fdx = \int_{x_1}^{x_2} -kxdx = -\frac{k}{2}(x_2^2 - x_1^2)$

La formule general: $\int_{x_1}^{x_2} x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} \Big|_{x_1}^{x_2} = \frac{x_2^{n+1} - x_1^{n+1}}{n+1}$

LE CALCUL DU TRAVAIL MECANIQUE AU CAS DE LA FORCE DE TYPE CENTRAL:

EXEMPLES DE FORCES DE TYPE CENTRAL:

Force d'attraction universelle: $F = \frac{km_1m_2}{r^2}$

Force d'attraction entre deux charges ponctuelles: Force de Coulomb: $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r^2}$

Forme générale des forces de type central

$$F = \frac{\alpha}{r^2}$$
$$\vec{F} = \frac{\alpha}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

Pour les forces d'attraction universelle: $\alpha = km_1m_2$

Pour les forces coulombiennes: $\alpha = \frac{q_1q_2}{4\pi\epsilon_0}$

$$dW_{12} = Fdr = \frac{\alpha}{r^2} dr$$

Le travail mécanique des forces de type central :

$$W_{12} = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\alpha}{r^2} dr = -\alpha \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

CALCUL DU TRAVAIL MECANIQUE AU CAS DE LA FORCE CONSTANTE

Généralement pour une force constante : $\vec{F} = \text{constant}$

le travail mécanique élémentaire a la forme suivante: $dW = \vec{F}d\vec{r}$

Le travail total s'écrit comme suit: $W_{12} = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{F} \cdot d\vec{r} = \vec{F} \cdot (\vec{r}_2 - \vec{r}_1)$

Le travail ne dépend pas de la forme du chemin parcouru entre les états 1 et 2 (position initiale et position finale du chemin).

Pour la force de gravitation homogène s'exerçant sur le corps de masse m $\vec{G} = m\vec{g} = mg\vec{k}$

le travail mécanique élémentaire est: $dW = \vec{G}d\vec{r} = -mgdz$

Au final on obtient la formule pour le travail mécanique total: $W_{12} = mg \int_{z_1}^{z_2} dz = mg(z_2 - z_1)$

L'intégrale est un signe qui montre que nous recueillons toutes les valeurs depuis l'état initial jusqu'à l'état final.

CALCUL DU TRAVAIL POUR LA FORCE DE FROTTEMENT $F_f = \mu N$

Si le point matériel se déplace d'une position initiale 1 à une position finale 2 sur un cercle de rayon r , le travail effectué par la force de frottement est : $W_{12} = \int_{r1}^{r2} F_f dr = -2.\pi.r.\mu mg$ si le mouvement s'effectue sur l'arc de cercle.

Et pour la distance (r_2-r_1): $W_{12} = \int_{r1}^{r2} F_f dr = \mu mg(r_2 - r_1)$

ÉNERGIE

L'ÉNERGIE est définie en physique comme la capacité d'un système à produire un travail¹, entraînant un mouvement ou produisant par exemple de la lumière, de la chaleur ou de l'électricité.

C'est une grandeur physique qui caractérise l'état d'un système et qui est d'une manière globale conservée au cours des transformations.

L'énergie s'exprime en joules (dans le système international d'unités) ou souvent en kilowatt-heure (kW·h ou kWh).

L'énergie est un concept essentiel en physique, qui se précise depuis le XIX^e siècle.

On retrouve le concept d'énergie dans toutes les branches de la physique :

en mécanique ;

en thermodynamique ;

en électromagnétisme ;

en mécanique quantique ;

mais aussi dans d'autres disciplines, en particulier en chimie.

FORMES D'ENERGIE EN PHYSIQUE MECANIQUE

La physique mécanique, considère deux manifestations pour l'énergie :

l'énergie cinétique d'une masse en mouvement ;

l'énergie potentielle des forces d'interaction s'exerçant entre des systèmes.

Lorsque deux systèmes interagissent, ils échangent de l'énergie. Au cours de l'interaction, la somme des variations d'énergie dans le premier système est l'opposée de la somme des variations d'énergie dans le second : il y a conservation de l'énergie.

Par exemple, un ballon qui chute librement dans l'atmosphère terrestre va transformer son énergie de pesanteur en chaleur, transmise à l'air, via les forces de frottement dues à la force électromagnétique.

Il y a conversion de l'énergie potentielle de la force de gravitation du ballon en énergie cinétique puis en énergie cinétique des molécules de l'air (chaleur).

L'ENERGIE CINETIQUE

(du Grec *ἐνέργεια* / *énergeia* « force en action » et *κίνησις* / *kinesis* « mouvement »)

L'ENERGIE CINETIQUE est l'énergie que possède un corps du fait de son mouvement par rapport à un référentiel donné. Sa valeur dépend donc du choix de ce référentiel.

Elle s'exprime en joule (J).

Pour un point matériel l'énergie cinétique est égale au travail des forces appliquées nécessaires pour faire passer le corps du repos à son mouvement (si le référentiel choisi n'est pas galiléen, il faudra tenir compte du travail des forces d'inerties d'entraînement).

Par suite, l'énergie cinétique n'est pas en général une intégrale première du mouvement, sauf si le travail des forces extérieures et intérieures (pour un système de points matériels) sont nuls au cours du mouvement.

Un exemple classique de ce type de situation est le cas du mouvement d'une charge électrique dans un champ magnétique uniforme.

Énergie cinétique- Historique

Gottfried Leibniz, s'opposant ainsi à Descartes, qui estimait que la quantité de mouvement se conservait toujours, développa l'idée de la « force vive » (*vis viva*), à laquelle il attribuait une valeur . La force vive est donc le double de l'énergie cinétique.

« Il y a longtemps déjà que j'ai corrigé la doctrine de la conservation de la quantité de mouvement, et que j'ai posé à sa place quelque chose d'absolu, justement la chose qu'il faut, la force (vive) absolue...

On peut prouver, par raison et par expérience, que c'est la force vive qui se conserve... » (http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_cin%C3%A9tique)

ÉNERGIE CINETIQUE- DEFINITIONS

Dans les cas non relativistes (c'est-à-dire lorsque les vitesses sont petites comparées à la vitesse de la lumière dans le vide), $M = \sum_i m_i$

l'énergie cinétique (en J) d'un point matériel de masse m (en kg) se déplaçant à une vitesse v (en m.s⁻¹) dans un référentiel donné s'exprime : $E_c = \frac{1}{2} m.v^2$

Pour le cas d'un point matériel

Dans le domaine de validité de la mécanique newtonienne, la notion d'énergie cinétique peut être facilement mise en évidence pour un point matériel, corps considéré comme ponctuel de masse m constante.

Cas d'un système de points

Dans le cas d'un corps que l'on ne peut considérer ponctuel, il est possible de l'assimiler à un système (d'une infinité) de points matériels de masses avec *masse totale* du corps.

L'énergie cinétique du système de points peut être alors simplement définie comme la somme des énergies cinétiques associées aux points matériels constituant le système : $E_c = \sum_i E_{c,i} = \sum_i \frac{1}{2} m_i . v_i^2$

Cette expression est générale et ne préjuge pas de la nature du système, déformable ou pas.

ÉNERGIE CINÉTIQUE- EN MÉCANIQUE RELATIVISTE

Dans la théorie de la relativité d'Einstein (utilisée principalement pour les vitesses proches de la vitesse de la lumière, mais valable pour toutes vitesses), l'énergie cinétique est :

$$E_k = mc^2(\gamma - 1) = \gamma mc^2 - mc^2$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

γ est le facteur relativiste

E_k : l'énergie cinétique du corps (dans le référentiel considéré) ;

v : la vitesse du corps (dans le référentiel considéré) ;

m : sa masse au repos (dans *son* référentiel) ;

c : la vitesse de la lumière dans le vide (dans *tout* référentiel inertiel) ;

γmc^2 : l'énergie totale du corps (dans le référentiel considéré) ;

mc^2 est l'énergie au repos (90 pétajoules par kilogramme) exprimée en unités conventionnelles.

La théorie de la relativité affirme que l'énergie cinétique d'un objet (ayant une masse « au repos » non nulle) tend vers l'infini quand sa vitesse s'approche de la vitesse de la lumière et que, par conséquent, il est impossible d'accélérer un objet jusqu'à cette vitesse.

THEOREME DE L'ÉNERGIE CINÉTIQUE

Ce théorème, valable uniquement dans le cadre de la mécanique newtonienne, permet de lier l'énergie cinétique d'un système au travail effectué par ce système.

Énoncé:

Dans un référentiel galiléen, pour un corps ponctuel de masse m constante parcourant un chemin reliant un point A à un point B, la variation d'énergie cinétique est égale à la somme des travaux W des forces extérieures et intérieures qui s'exercent sur le solide considéré :

$$E_{kAB} = E_{kB} - E_{kA} = \sum W_{EXT / INT}^{AB}$$

où E_{kA} et E_{kB} sont respectivement l'énergie cinétique du solide aux points A et B.

ÉNERGIE POTENTIELLE MECANIQUE

L'énergie potentielle mécanique est une énergie qui est échangée par un corps lorsqu'il se déplace tout en étant soumis à une force conservative.

Elle est exprimée en joules (c'est-à-dire en newton multiplié par mètre).

Cette énergie potentielle, définie à une constante arbitraire près, ne dépend que de la position du corps dans l'espace.

Cette énergie est appelée *potentielle* car elle peut être emmagasinée par un corps et *peut* ensuite être transformée par exemple en énergie cinétique lorsque le corps est mis en mouvement.

De manière plus précise la variation d'énergie potentielle d'un corps lorsqu'il se déplace entre deux points est l'opposé du travail fourni par la force à laquelle il est soumis entre ces deux points.

Ainsi le travail d'une force conservative vérifie la relation: $\delta W_F = -dE_p$

Un exemple simple est celui d'un corps terrestre tenu en hauteur (et donc possédant une énergie potentielle de pesanteur du fait de sa hauteur) qui, une fois lâché, transforme cette énergie potentielle en énergie cinétique quand sa vitesse augmente lors de sa chute

ÉNERGIE POTENTIELLE MECANIQUE – GENERALITES

Chaque force conservative donne naissance à une énergie potentielle. On peut ainsi distinguer :

Énergie potentielle de pesanteur,

Énergie potentielle élastique,

Énergie potentielle électrostatique,

Énergie potentielle magnétique,

Énergie potentielle d'inertie d'entraînement (dans certaines situations simples).

$E_p = m \cdot g \cdot h$

Énergie potentielle de pesanteur

L'énergie potentielle de pesanteur est l'énergie que possède un corps du fait de sa position dans un champ de pesanteur.

Comme pour toute énergie, son unité dans le système international est le joule.

Cette énergie potentielle est notée « E_{pp} » ou « U_0 ».

Elle est définie par la relation : $\delta W_p = \vec{P} \cdot d\vec{z} = -\delta E_{pp}$

p étant le poids de l'objet lui-même (force s'exerçant sur lui du fait de sa masse et de sa position dans un champ de pesanteur).

Approximation courante

Le plus souvent, sur Terre, on considère que la pesanteur est de valeur constante, dirigée vers le bas (vers le centre de la Terre), et de valeur

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

Dans ce cas, en choisissant le niveau de la mer comme origine des potentiels, alors cette énergie vaut :

$E_{pp} = mgh$. (m s'exprime en kg et h (altitude) s'exprime en m)

Mais pour un problème particulier, on ne considère généralement que des différences de potentiel.

Entre les points d'altitude z_0 et z_1 , la différence d'énergie potentielle vaut : $\Delta E_{pp} = mg(z_1 - z_0)$

(énergie reçue en se déplaçant du point d'altitude z_0 au point d'altitude z_1).

Selon le problème, on peut donc fixer une origine des potentiels arbitraire, d'autant que cela ne pose pas de problème particulier d'avoir une énergie potentielle négative. Par exemple, si on étudie la chute d'un

objet jusqu'au sol d'un laboratoire, on fixe l'origine des potentiels au niveau de ce sol, peu importe l'altitude réelle du laboratoire.

Cas général

Dans tout problème impliquant la pesanteur, il est important que le calcul par application du principe fondamental de la dynamique soit cohérent avec la conservation de l'énergie.

Ici, cela implique que l'expression utilisée pour l'énergie potentielle de pesanteur soit cohérente avec celle utilisée pour la pesanteur elle-même. Le poids doit toujours dériver de l'Epp.

Si on utilise la formule suivante (approximation à la latitude 0°) pour évaluer la pesanteur : $g = 9.780318.(1 - 3.15.10^{-7} \cos^2 \lambda)$

alors l'Epp, exprimée en fonction de l'altitude, devient :

$$E_{pp} = m.9.780318.(h - 1.57.10^{-7}.h^2)$$

Pour un objet loin de la surface terrestre, l'énergie potentielle gravitationnelle (ce n'est plus la pesanteur) est plutôt en $1/r$ (inverse de la distance), puisque la gravitation elle-même est en $1/r^2$.

ÉNERGIE POTENTIELLE ELASTIQUE

En physique, l'énergie potentielle élastique est l'énergie potentielle emmagasinée dans un corps à caractère élastique lorsque ce dernier est comprimé ou étiré par rapport à sa position naturelle.

Lorsque la force comprimant ou étirant le ressort cesse, le corps tend naturellement à retourner à sa position naturelle et transforme ainsi son énergie potentielle en énergie cinétique.

Le caractère élastique d'un objet est remarquable par la capacité de celui-ci à rebondir ou encore à reprendre sa forme après déformation.

L'énergie potentielle élastique, notée E_{pe} et exprimée en joules, dépend de x (allongement ou raccourcissement du ressort) et de la constante de rappel ou de raideur k de ressort selon la relation:

$$E_{pe} = \frac{1}{2} kx^2$$

Supposons un repère avec $(0, \vec{i})$ représentant la position de l'extrémité du ressort au repos et dirigé suivant l'axe du ressort.

alors une force élastique a une expression du type : $\vec{F} = -k.x.\vec{i}$

PUISSANCE

En physique, la puissance est la quantité d'énergie par unité de temps fournie par un système à un autre. La puissance correspond donc à un débit d'énergie : deux systèmes de puissances différentes pourront fournir le même travail (la même énergie), mais le système le plus puissant sera le plus rapide.

Une PUISSANCE s'exprime généralement en Watt, en Joule/seconde ou en $\text{kg.m}^2.\text{s}^{-3}$.

Dans certains cas, il faut une grande puissance au démarrage (grande énergie sur une courte durée), donc seuls les systèmes puissants peuvent faire fonctionner le dispositif.

La puissance est toujours égale au produit d'une grandeur d'effort (force, couple, pression, tension, etc.) par une grandeur de flux (vitesse, vitesse angulaire, débit, intensité du courant, etc.).

PUISSANCE MÉCANIQUE

La puissance mécanique d'une force est l'énergie que l'on peut acquérir ou perdre avec cette force sur un temps donné.

L'unité de puissance du SI est le watt (symbole : W), qui correspond à un joule fourni par seconde.

On utilise encore le cheval-vapeur dans le cas des moteurs thermiques : 1 ch (cheval vapeur) = 736 W environ.

La PUISSANCE MOYENNE P_m est l'énergie E délivrée par un phénomène divisée par la durée τ de ce

phénomène :
$$P_m = \frac{E}{t}$$

La PUISSANCE INSTANTANÉE est la dérivée de l'énergie fournie par rapport au temps :
$$P_m = \frac{dE}{dt}$$

PUISSANCE D'UNE FORCE

Si le point d'application d'une force (en N) se déplace à la vitesse instantanée (en m/s), alors la puissance instantanée vaut (en watts)

On retrouve aisément ce résultat en dérivant le travail d'une force :

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

THEOREME DE LA PUISSANCE CINETIQUE

Dans un référentiel galiléen, la puissance des forces s'appliquant au point M est égale à la dérivée par rapport au temps de l'énergie cinétique.

$$P = \frac{dE_c}{dt}$$

1.12. STATIQUE

La statique étudie les forces dans les situations suivantes:

La réduction ou la composition des forces, ce qui consiste à créer un système de forces équivalent au système initial de forces.

L'équilibre des systèmes de forces: à savoir l'établissement des conditions qui doivent être remplies pour que le système donné de forces soit en équilibre.

Un système de forces est constitué d'un ensemble de forces qui peuvent être concurrentes, quelconques ou parallèles.

Deux systèmes de forces sont équivalents si le même effet mécanique est produit sur le corps auquel elles sont appliquées.

Un système de forces est égal à zéro si sous leur action le corps ne change pas son état mécanique de repos ou de mouvement.

La Statique peut aborder les directions suivantes:

- Statique du point matériel
- Systèmes de forces et leur réduction
- Centres de gravité
- Statique du rigide
- Statique du système de points matériels et des systèmes de corps rigides
- Applications techniques de la statique.

CALCUL VECTORIEL

Les vecteurs sont des grandeurs physiques orientées, complètement déterminées par:

Module (intensité, dimension)

Point d'application (origine)

Direction

Sens

Exemples: force, vitesse, accélération, moment d'une force.

Les éléments d'un vecteur sont les suivants:

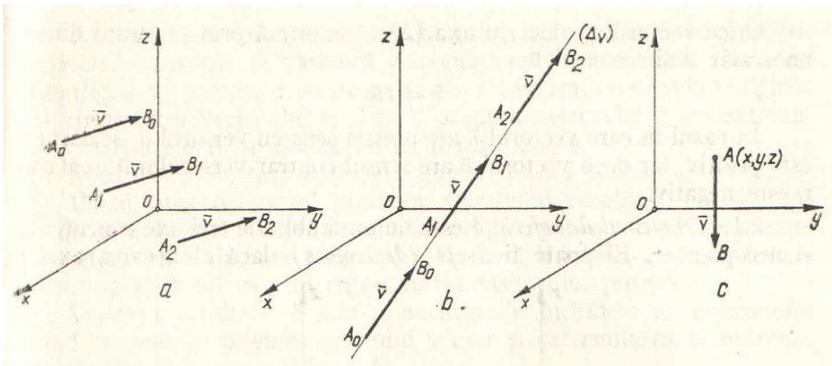
Origine A (Point d'application)

Direction (support ou ligne d'application)

Sens (de A à B)

Module ou la valeur numérique $|\mathbf{v}|$ qui représente la longueur du segment AB à l'échelle choisie pour la représentation graphique.

CLASSIFICATION DES VECTEURS

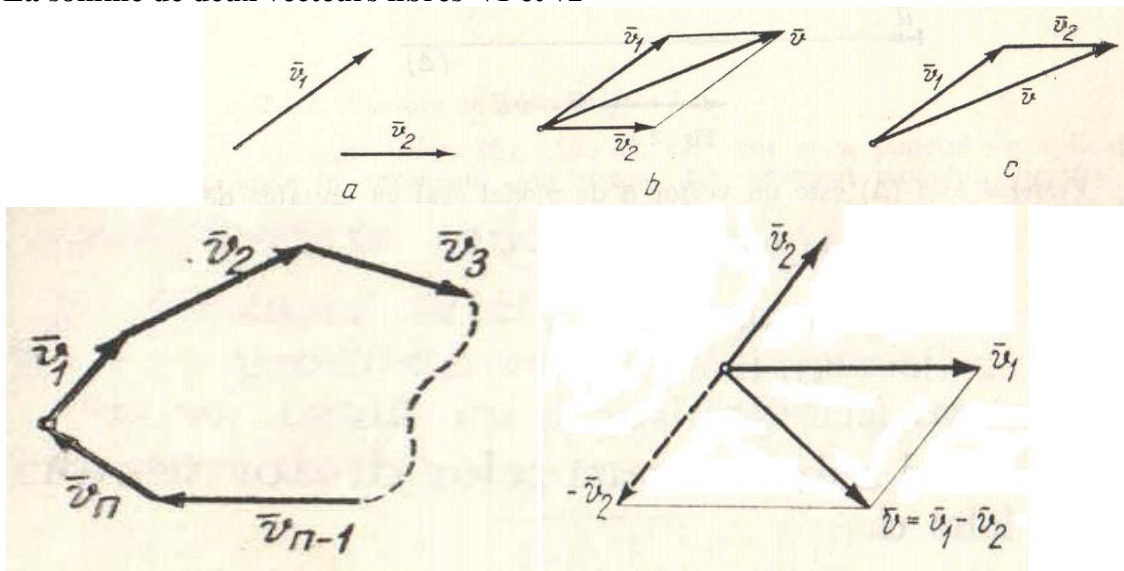


a) **des vecteurs libres:** le point d'application peut être n'importe où dans le système donné en conservant le module, la direction et le sens. *Par exemple*, la vitesse et l'accélération d'un corps en mouvement de translation.

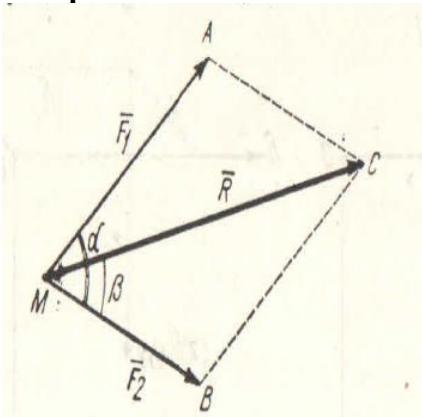
b) **des vecteurs glissants:** le point d'application peut être déplacé n'importe où sur son support en conservant le module, la direction et le sens. *Par exemple*, la vitesse angulaire, l'accélération angulaire, la force dans le cas d'un solide rigide indéformable.

c) **des vecteurs liés** dont l'origine est bien définie en un certain point, en conservant le module, la direction et le sens. *Par exemple*, la force dans le cas des corps élastiques, le moment d'une force par rapport à un point, la vitesse et l'accélération d'un corps dans le mouvement est quelconque.

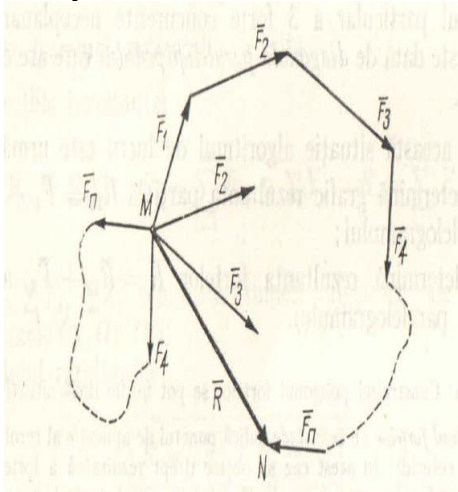
La somme de deux vecteurs libres $\vec{v}_1$ et $\vec{v}_2$



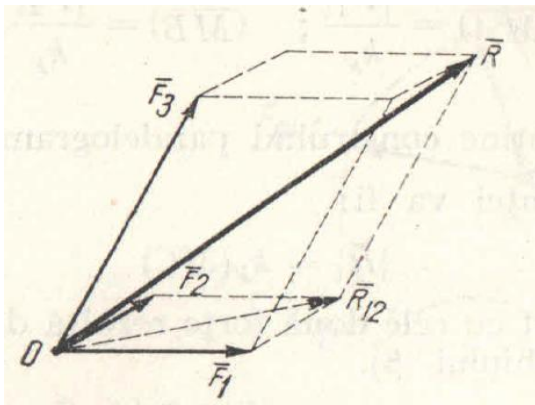
Composition de deux forces concurrentes par la méthode graphique



Composition de n forces concurrentes par la méthode graphique



La **règle du polygone**: si les forces sont concurrentes, la résultante R est la diagonale d'un parallélogramme.



L'algorithme de cette situation est le suivant :

1. Déterminer graphiquement la résultante partielle : $R_{12} = F_1 + F_2$
2. Déterminer la résultante des forces: $R = R_{12} + F_3$

Dans les deux situations on applique la règle du parallélogramme.

Statique: Composition des forces concurrentes par la méthode analytique

On utilise le théorème des projections: chaque force est projetée sur les axes Ox, Oy et Oz.

Le cas des n forces concurrentes qui forment les angles $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$

Ces angles sont formés par le support des forces et les axes de coordonnées.

Pour les forces: $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$

$$F_{1x} = pr_{Ox} \vec{F}_1 = |\vec{F}_1| \cdot \cos \alpha_1; \quad F_{1y} = pr_{Oy} \vec{F}_1 = |\vec{F}_1| \cdot \cos \beta_1; \quad F_{1z} = pr_{Oz} \vec{F}_1 = |\vec{F}_1| \cdot \cos \gamma_1;$$

$$F_{2x} = pr_{Ox} \vec{F}_2 = |\vec{F}_2| \cdot \cos \alpha_2; \quad F_{2y} = pr_{Oy} \vec{F}_2 = |\vec{F}_2| \cdot \cos \beta_2; \quad F_{2z} = pr_{Oz} \vec{F}_2 = |\vec{F}_2| \cdot \cos \gamma_2;$$

$$F_{3x} = pr_{Ox} \vec{F}_3 = |\vec{F}_3| \cdot \cos \alpha_3; \quad F_{3y} = pr_{Oy} \vec{F}_3 = |\vec{F}_3| \cdot \cos \beta_3; \quad F_{3z} = pr_{Oz} \vec{F}_3 = |\vec{F}_3| \cdot \cos \gamma_3;$$

$$R_x = pr_{Ox} \vec{R} = |\vec{R}| \cdot \cos \alpha$$

Pour la force résultante: $R_y = pr_{Oy} \vec{R} = |\vec{R}| \cdot \cos \beta$

$$R_z = pr_{Oz} \vec{R} = |\vec{R}| \cdot \cos \gamma$$

Les projections de la force résultante sont: où les sommes ont la signification de sommes

$$R_x = \sum_{i=1}^n F_{ix} = \sum X_i$$

algébriques des projections des forces sur les axes Ox, Oy, Oz. $R_y = \sum_{i=1}^n F_{iy} = \sum Y_i$

$$R_z = \sum_{i=1}^n F_{iz} = \sum Z_i$$

Les cosinus dirigeants du support de la force résultante sont:

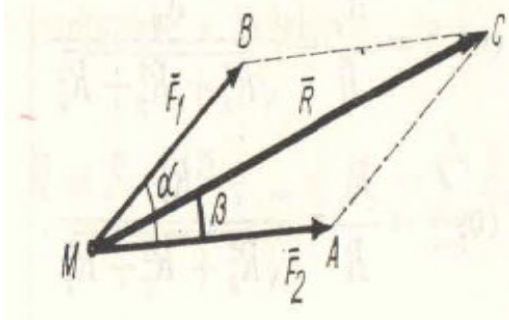
$$\cos \alpha = \frac{R_x}{R} = \frac{R_x}{\sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}}$$

$$\cos \beta = \frac{R_y}{R} = \frac{R_y}{\sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}}$$

$$\cos \gamma = \frac{R_z}{R} = \frac{R_z}{\sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}}$$

Le module de la force résultante: $|\vec{R}| = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 + R_3^2}$

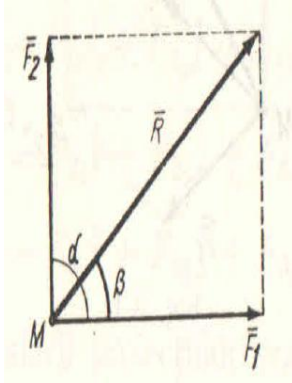
Deux forces concurrentes coplanaires orientées suivant des directions quelconques:



Deux forces concurrentes coplanaires perpendiculaires l'une sur l'autre:

$$|\vec{R}| = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_1 F_2 \cos(\vec{F}_1, \vec{F}_2)}$$

$$\frac{|\vec{F}_1|}{\sin(\alpha - \beta)} = \frac{|\vec{F}_2|}{\sin(\beta)} = \frac{|\vec{F}_3|}{\sin(\alpha)}$$



$$|\vec{R}| = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

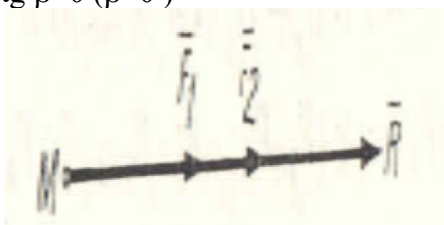
$$\operatorname{tg} \beta = \frac{F_2}{F_1}$$

COMPOSITION DES FORCES CONCURRENTES PAR LA MÉTHODE ANALYTIQUE

Deux forces concurrentes ayant la même direction et le même sens

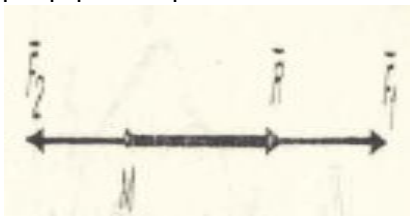
$$|\vec{R}| = |\vec{F}_1 + \vec{F}_2|$$

$$\operatorname{tg} \beta = 0 \quad (\beta = 0)$$



Deux forces concurrentes ayant la même direction mais des sens différents

$$|\vec{R}| = |\vec{F}_1 - \vec{F}_2|$$

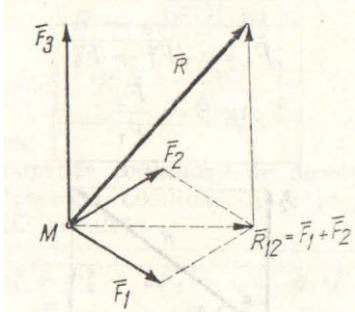


Trois forces concurrentes ayant des directions quelconques dans l'espace

Le module de la force résultante est obtenu en portant au carré l'équation vectorielle de composition des forces.

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$$

$$|\vec{R}| = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2 + 2F_1 F_2 \cos(\vec{F}_1, \vec{F}_2) + 2F_1 F_3 \cos(\vec{F}_1, \vec{F}_3) + 2F_2 F_3 \cos(\vec{F}_2, \vec{F}_3)}$$



$$\cos \alpha_1 = \frac{F_1 + F_2 \cos(\vec{F}_1, \vec{F}_2) + F_3 \cos(\vec{F}_1, \vec{F}_3)}{R}$$

$$\cos \alpha_2 = \frac{F_1 \cos(\vec{F}_1, \vec{F}_2) + F_2 + F_3 \cos(\vec{F}_2, \vec{F}_3)}{R}$$

$$\cos \alpha_3 = \frac{F_1 \cos(\vec{F}_1, \vec{F}_3) + F_2 \cos(\vec{F}_2, \vec{F}_3) + F_3}{R}$$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ sont les angles que la force résultante R forme avec les vecteurs F_1, F_2, F_3 .

COMPOSITION DES FORCES CONCURRENTES PAR LA MÉTHODE ANALYTIQUE

TROIS FORCES CONCURRENTES AYANT DES DIRECTIONS QUELCONQUES DANS L'ESPACE

Si les forces F_1, F_2, F_3 sont définies à l'aide de leur projections sur les axes OX, Oy et Oz la force résultante des trois forces composées est:

$$\vec{F}_1 = F_{1x} \cdot \vec{i} + F_{1y} \cdot \vec{j} + F_{1z} \cdot \vec{k}$$

$$\vec{F}_2 = F_{2x} \cdot \vec{i} + F_{2y} \cdot \vec{j} + F_{2z} \cdot \vec{k}$$

$$\vec{F}_3 = F_{3x} \cdot \vec{i} + F_{3y} \cdot \vec{j} + F_{3z} \cdot \vec{k}$$

Grandeur vectorielle

$$R_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x}$$

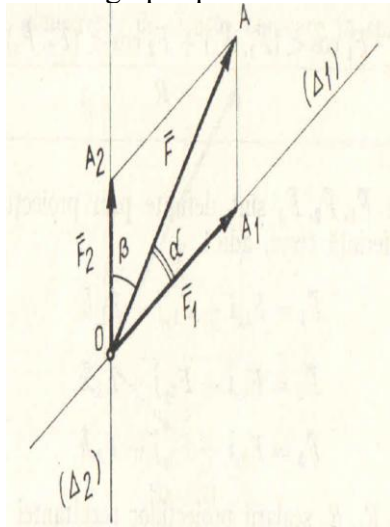
$$R_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y}$$

$$R_z = F_{1z} + F_{2z} + F_{3z}$$

Grandeur scalaire

**COMPOSITION D'UNE FORCE SUIVANT DES DIRECTIONS CONCURRENTES
DONNÉES
DÉCOMPOSITION D'UNE FORCE SUIVANT 2 DIRECTIONS CONCURRENTES
DONNÉES**

Méthode graphique



$$\frac{F_1}{\sin \beta} = \frac{F_2}{\sin \alpha} = \frac{F}{\sin(\alpha + \beta)}$$

Méthode analytique:

$$F_1 = F \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}$$

$$F_2 = F \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}$$

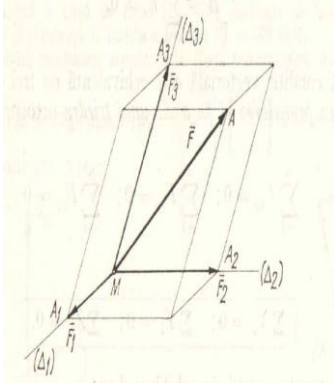
$$F_1 = F \cos \alpha = F \sin \beta$$

$$F_2 = F \sin \alpha = F \cos \beta$$

quand Δ_1 est perpendiculaire sur Δ_2 :

DECOMPOSITION D'UNE FORCE SUIVANT 3 DIRECTIONS NON COPLANAIRES CONCURRENTES

Méthode graphique: théorème des projections



Méthode analytique:

$$\vec{F}_1 = k_F (\vec{OA}_1)$$

Se déduit avec le $\vec{F}_2 = k_F (\vec{OA}_2)$

$$\vec{F}_3 = k_F (\vec{OA}_3)$$

ÉQUILIBRE DU POINT MATÉRIEL LIBRE

Si l'on envisage un point matériel libre qui est au repos par rapport à un référentiel inertiel, la question qui se pose est de trouver la condition nécessaire et suffisante pour que le point matériel continue à rester au repos après avoir subi un système de forces - c'est-à-dire rester en équilibre .

Conformément au principe du parallélogramme des forces le système de forces appliqué est équivalent

à une force résultante: $R = \sum_{i=1}^n F_i$

$$R = \sum_{i=1}^n F_i = 0$$

ou

$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; \sum_{i=1}^n F_{iz} = 0$$

ou

$$\sum_{i=1}^n X_i = 0; \sum_{i=1}^n Y_i = 0; \sum_{i=1}^n Z_i = 0$$

Conformément au principe d'inertie du point matériel: le point matériel conserve son état de repos si aucune force ne s'exerce sur lui.

Pour remplir la condition d'équilibre de translation il est nécessaire et suffisant que la résultante du système de forces concurrentes soit nulle.

1.13.LEVIERS

DÉFINITION: Un levier est une barre rigide mobile autour d'un point fixe appelé point d'appui.

Deux forces s'exercent sur un levier:

- **une force motrice F**, qui met en mouvement le levier et
- **une force résistante R**, qui doit être vaincue.

Dans le cas du levier osseux, le point d'appui S est représenté par l'axe biomécanique du mouvement, le point d'appui sur le sol ou encore un appareil quelconque (dans le gymnase).

La force résistante R est représentée par le poids du corps ou du segment mobile et la force active F est le muscle qui effectue le mouvement.

L'effet de levier est basé sur l'équilibre des moments des deux forces:
active et résistante passive.

$$M_F = M_R; M_F = F.b_r; M_R = R.b_R$$

$$F.b_r = R.b_R \Rightarrow \frac{F}{R} = \frac{b_r}{b_R}$$

où :

- ▶ **MF**- le moment de la force active;
- ▶ **MR** -le moment de la force résistante;
- ▶ **bF** – le bras de la force active;
- ▶ **bR** - le bras de la force résistante.

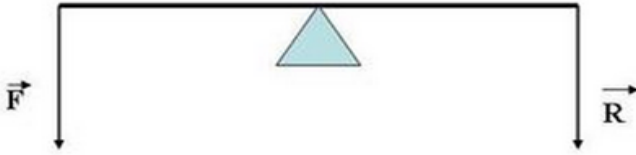
Les leviers sont caractérisés par trois points principaux:

- ▶ - Le point d'application de la force F
- ▶ - Le point d'application de la résistance R
- ▶ - Le point d'application S de la résultante des forces , appelé le point d'appui du levier autour duquel les forces F et R impriment au levier un mouvement de rotation.

Le classement des leviers se fait en fonction de trois points d'application F, R et S

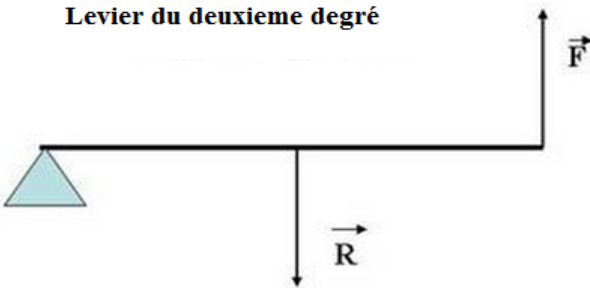
- Le levier du premier degré a le point d'appui situé entre les points d'application des deux forces .

Levier du premier degré



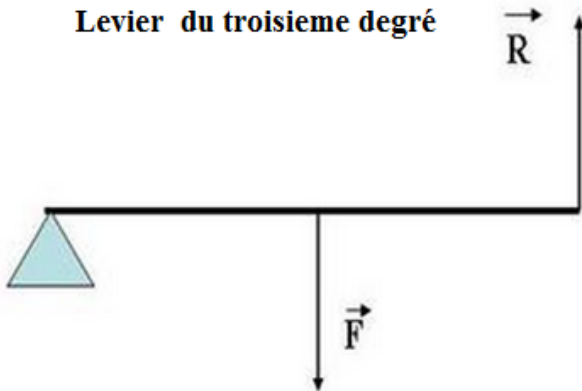
- Le levier du deuxième degré a le point d'appui situé à une extrémité et le point d'application de la force active à l'autre extrémité.

Levier du deuxième degré



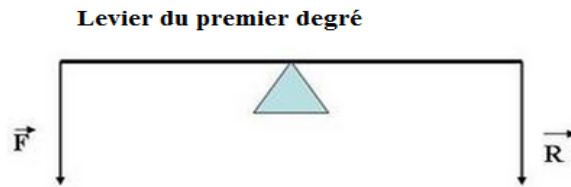
- Le levier du troisième degré a le point d'appui situé à une extrémité et le point d'application de la force résistante à l'autre extrémité.

Levier du troisième degré



EXEMPLES DE LEVIERS

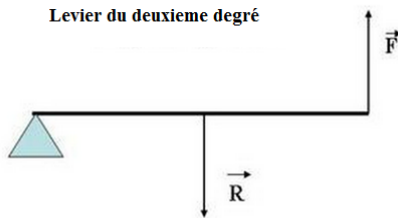
Le levier du premier degré a le point d'appui situé entre les points d'application des deux forces



Exemples de leviers du premier degré: balance, balançoire, ciseaux, pinces, pied de biche, tenailles.

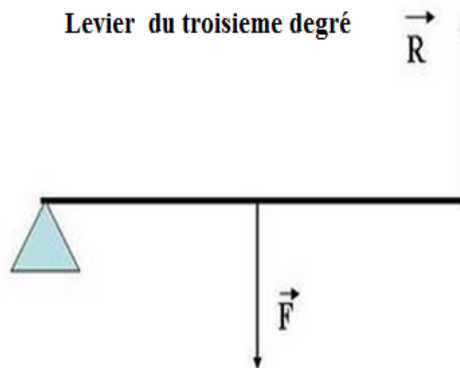
Le levier du deuxième degré a le point d'appui situé à une extrémité et le point d'application de la force active à l'autre extrémité.

Exemples de leviers du deuxième degré : brouette, casse-noix, pédale de frein, perforateur, rame, etc

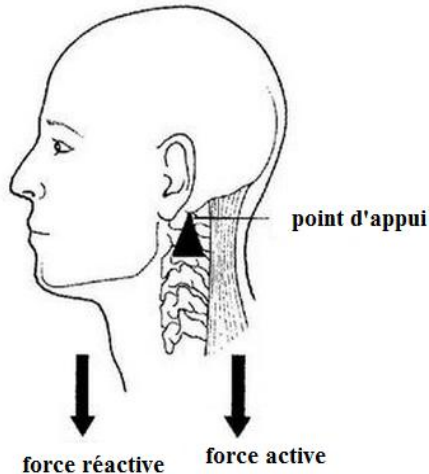


Le levier du troisième degré a le point d'appui situé à une extrémité et le point d'application de la force résistante à l'autre extrémité.

Exemples de leviers du troisième degré: agrafeuse, râteau, canne à pêche, etc



LEVIERS DANS LE CORPS HUMAIN



► **LES LEVIERS DU PREMIER DEGRÉ** sont des leviers d'équilibre car ils réalisent l'équilibre statique.

La force réactive est le poids du corps ou du segment mobile et

La force active est l'insertion sur le segment squelettique du muscle qui exécute le mouvement.

IDENTIFICATION DES LEVIERS DU PREMIER DEGRÉ DANS LE CORPS HUMAIN :

LE TRONC EST EN ÉQUILIBRE SUR LES JAMBES comme un levier du premier degré ;

LA TÊTE EST EN ÉQUILIBRE SUR LA COLONNE VERTÉBRALE. Le point d'appui est la vertèbre atlas, la résistance est le poids de la tête, qui tend à tomber en avant, et la force active est développée par les muscles de la nuque qui empêchent la chute de la tête en avant.

► **L'AVANT-BRAS EN EXTENSION** agit comme un levier du premier degré: lors de la flexion et de l'extension des bras dans « l'appui tendu renversé » les muscles extenseurs ont le rôle d'agonistes tant dans le mouvement d'extension que dans celui de flexion des bras. Dans cette position, la flexion des bras est effectuée par le poids et graduée par les muscles extenseurs (triceps); ces derniers effectuent aussi l'extension du coude.

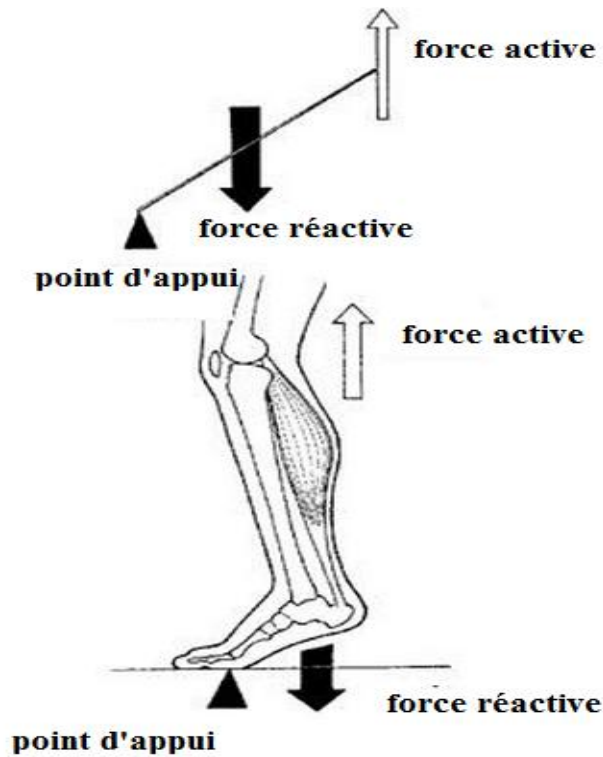
► **QUAND LES PIEDS SONT FIXÉS SUR LE SOL**

(pendant la course, la marche , le moment du battement au saut, la chute de haut), le segment de la jambe est également un levier du premier degré ayant le point d'appui au centre.

LES LEVIERS DU DEUXIÈME DEGRÉ sont les leviers de force, car ils servent à multiplier la force.

Ces leviers sont généralement en forme de coin.

IDENTIFICATION DES LEVIERS DU DEUXIÈME DEGRÉ DANS LE CORPS HUMAIN



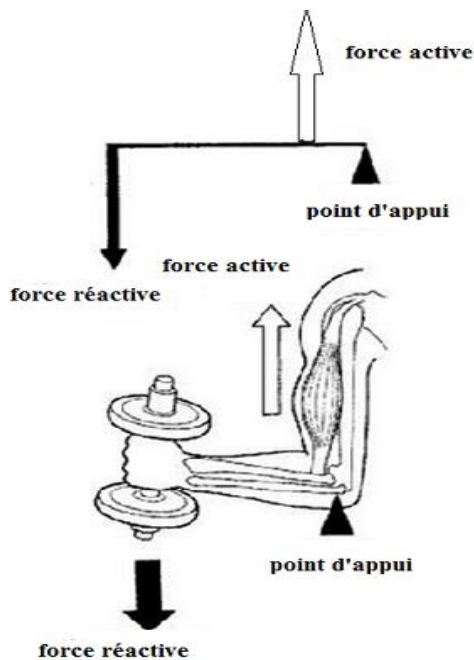
- LES INCISIVES

- LES CANINES

- **LE PIED** ayant comme résistance le poids du corps transmis par le tibia. Le poids du corps est appliqué sur l'articulations tibio-tarsienne, de sorte que la force sera donnée par les muscles insérés sur le calcaneum par le tendon d'Achille. Le point d'appui lorsqu'on se hausse sur la pointe des pieds est à l'extrémité des métatarsiens qui sont en contact avec le sol.

- **LE SEGMENT DU MEMBRE SUPÉRIEUR** pendant qu'on fait des pompes.

- **LES LEVIERS DU TROISIÈME DEGRÉ** sont des leviers pour le déplacement.



- À l'aide d'une force supérieure ils surmontent une force insignifiante, mais ils déplacent beaucoup le point d'application de la force résistante.

- **Ce type de levier est le plus souvent trouvé dans le corps humain.**

- À ce type de levier le point d'application de la force active - la place d'insertion du muscle - est placé entre le point d'appui qui est l'articulation et le point d'application de la force résistante.

IDENTIFICATION DES LEVIERS DU TROISIÈME DEGRÉ DANS LE CORPS HUMAIN :

L'AVANT-BRAS EN FLEXION est un levier du troisième degré lorsqu'il est levé par la contraction des muscles fléchisseurs. La contraction du biceps produit une force dont le point d'application se situe sur l'avant-bras. Dans ce cas, le bras de la force active est environ huit fois plus petit que le bras de la force

résistante d'où il résulte que le bras de la force active doit être huit fois plus grand que le bras de la force résistante.

LES CÔTES PENDANT LA RESPIRATION (inspiration et expiration). L'articulation costo-vertébrale est le point d'appui, les zones d'insertion musculaire sur le corps de la côte sont le point d'application de la force active et la face de la côte est la force résistante.

LA JAMBE AU JEU DE FOOTBALL : lorsqu'il reprend la balle de volée , le pied n'est pas fixé sur le sol de sorte que le point d'application de la force active est au milieu et la résistance consiste en une combinaison de forces (le poids du ballon , le poids du pied , etc.).

Par exemple: si l'on additionne le poids du pied, le poids de la jambe , le poids du ballon , la force de contraction des muscles extenseurs de la jambe sur la cuisse et les valeurs de l'accélération résultant du mouvement de la jambe vers l'avant , il en résulte qu'un ballon de football peut être frappé avec une force d'environ 2 kN même par une personne sans entraînement.

LA MAIN lorsqu'elle saisit les objets pareillement à une pince.

1.14. BALANCE

UNE BALANCE, du latin *bis* (deux fois) et *lanx* (plateau), est un instrument de mesure qui sert à évaluer des masses par comparaison avec des « poids », dans le langage courant, ou « masses marquées » dont les masses sont connues.

Les balances existent depuis l'Antiquité. La balance nécessitant l'utilisation de poids, elle obligea à réglementer le pesage avec le plus grand soin. Les balances ne sont devenues de véritables instruments de précision qu'au XIX^e siècle.

Au XVII^e siècle, l'invention de Roberval révolutionne le pesage avec l'idée de poser les plateaux au-dessus du fléau et non plus en dessous.

Une « bonne » balance doit être juste, sensible, et fidèle.

TYPE DE BALANCE

Au XVIII^e siècle, les observations et les gains de sensibilité dus à Lavoisier sont propices à un usage performant dans les laboratoires.

La balance Roberval est perfectionnée par Béranger qui réduit les forces latérales et les frottements en remplaçant les tiges de force par de petits fléaux secondaires.

Au XX^e siècle, les balances « Roberval » et « Béranger » sont sur tous les comptoirs des commerçants lorsqu'apparaît, dans la seconde moitié du XX^e siècle, la « balance automatique » dotée d'un cadran gradué, circulaire ou en forme d'éventail qui indique le poids par la position d'un repère mobile, sans avoir à déplacer de poids manuellement.

L'électronique est à l'origine d'une mutation technologique avec des balances munies d'écran et imprimantes fournissant les données souhaitables comme, dans le commerce, le prix de la quantité pesée.

BALANCES À MAIN



Elle est utilisée pour peser de petites quantités de substance habituellement 0,05 g-100-200g.

On connaît plusieurs limitations telles que 0,25; 0,5;1;2;5;10;20 g – avec une diminution de la sensibilité.

Les balances à main sont constituées d'un levier de métal suspendu avec une flèche pointant vers le haut, avec deux bras égaux qui oscillent autour d'un point d'appui avec une terminaison comme un anneau.

Les balances à main peuvent être simples ou à curseur.

Avec les balances à main simples, la pesée se fait en équilibrant le poids de la substance de l'un des plateaux avec des poids appropriés, placés sur le plateau opposé.

Aux balances à main à curseur, l'un des bras (généralement le gauche) est gradué et le curseur coulissant le long du levier indique le poids pesé (le poids est placé sur le plateau d'habitude au bras non gradué).

Parfois, on peut utiliser des poids ajoutés progressivement au bras gradué.

Cette opération n'est pas particulièrement recommandée pour la pesée des substances hautement actives .

BALANCE ÉLECTRONIQUE



Le principe de fonctionnement de ces balances repose sur les variations des caractéristiques électriques de certains matériaux lorsqu'ils sont soumis à des compressions mécaniques.

Ces variations électriques sont mesurées et envoyées à un cadran qui permet de donner une indication sur la masse de la charge inconnue qui a comprimé le matériau.

Selon la plus petite masse qu'elles peuvent mesurer, les balances électroniques sont classées en fonction de la plus petite division et de la capacité typique :

- ▶ Balance analytique :
- ▶ Ultramicroanalytique (0,1 μg / 3 g)
- ▶ Microanalytique (0,001 mg / 3 g)
- ▶ Semimicroanalytique (0,01 mg / 30 g)
- ▶ Macroanalytique (0,1 mg / 160 g)
- ▶ Balance de Précision (1 mg / 160 g - 60 kg)

LA BALANCE PHARMACEUTIQUE est appelée **balance à colonne** étant la plus utilisée en pharmacie.



Elle est utilisée pour peser de 10 à 1000 g ou de 500 g à 5 cg avec la sensibilité de centigramme.

La balance se compose d'une colonne de métal, montée verticalement sur une boîte ou un support, généralement recouvert d'une plaque de marbre avec 1-3 tiroirs.

La partie supérieure de la colonne est située sur un couteau, un levier horizontal à bras égaux qui sont suspendus sur le couteau, avec deux plateaux.

L'équilibre de la balance est signalé par l'indicateur positionné au milieu du levier qui oscille avec lui devant un cadran gradué.

On doit équilibrer la balance avant chaque pesée.

Les balances pharmaceutiques possèdent à chaque extrémité une vis de réglage du bras.

BALANCES ANALYTIQUES

Elles sont appelées aussi **balances de précision**.

Elles sont utilisées pour la pesée de haute sensibilité.

Les erreurs peuvent être de dizaines de milligrammes.

Ce type de balance est utilisé dans les laboratoires pour les déterminations analytiques quantitatives quand la Pharmacopée utilise l'expression « pesé exactement ».

Les résultats de la pesée sont exprimés avec quatre décimales (la Pharmacopée admet une erreur de $\pm 0,0002$ g).

Balances d'analyse XPE-une balance intelligentes Metler- Toledo

http://fr.mt.com/fr/fr/home/products/Laboratory_Weighing_Solutions/Analytical.html?smartRedirectEvent=true

► **Les balances d'analyse XPE offrent des performances optimales en matière de pesage d'analyse et répondent aux exigences les plus strictes en matière de sécurité, d'efficacité et de conformité. De par leur faible répétabilité, les balances d'analyse XPE vous font bénéficier de la plus petite pesée minimale.**

Les fonctions de gestion de la qualité, comme la technologie StatusLight™ novatrice et la fonctionnalité StaticDetect™ brevetée, vous libèrent des soucis de pesage et vous permettent d'avoir entièrement confiance en vos résultats.

Dotées d'une large gamme d'accessoires et de multiples options de connectivité, les balances XPE évoluent avec vos besoins. Vous profiterez d'une multitude de possibilités de pesage pendant de longues années.

Conçues, mises au point et fabriquées en Suisse pour une qualité et une fiabilité hors pair.

Vous disposez de fonctions de pesage intelligentes :

- Nouvel écran couleur avec fonction d'avertissement StatusLight
- Fonctionnalité StaticDetect brevetée
- Nouvelle technologie d'élimination des charges électrostatiques
- TestManager™ qui facilite les tests de routine
- Plateau de pesage SmartGrid revu et corrigé
- Logiciel LabX® pour des instructions de travail personnalisées à l'écran

La balance la plus sensible au monde : peser au yoctogramme près

1yg (yoctogramme) = 10^{-24} g = 10^{-27} kg

http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/high-tech-thematique_193/la-balance-la-plus-sensible-au-monde-peser-au-yoctogramme-pres-

[article_71917/?utm_source=ABO&utm_medium=alerte&utm_campaign=tiThematique_6345](http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/high-tech-thematique_193/la-balance-la-plus-sensible-au-monde-peser-au-yoctogramme-pres-article_71917/?utm_source=ABO&utm_medium=alerte&utm_campaign=tiThematique_6345)

Des chercheurs catalans ont réussi la prouesse de mesurer les plus petites unités de masse, au yoctogramme près, à l'aide d'une balance dont le principe est centré autour de la vibration de courts nanotubes de carbone.

Un milliardième de milliardième de millionième de grammes : des chercheurs catalans de l'Institut Catalan de Nanotechnologie, à Barcelone, ont réussi à mettre au point la balance la plus sensible au monde, suffisamment sensible pour mesurer les plus petites unités de masse... au yoctogramme près, soit 10 puissance moins 27 kilogrammes. Peser un atome jusqu'à son dernier proton pourrait alors presque devenir un jeu d'enfant !

Les balances les plus sensibles sont actuellement capables de mesurer des masses à une centaine de yoctogrammes près, et s'appuient sur la vibration des nanotubes lorsqu'une masse leur repose dessus. En effet, il suffit de calculer la fréquence de vibration de ces nanotubes pour en déduire la masse de la particule ou de la molécule reposant sur ces derniers.

Adrian Bachtold et ses collègues de l'Institut Catalan de Nanotechnologie ont, pour mesurer des masses encore plus petites, utilisé des nanotubes plus courts. La résolution s'en est trouvée améliorée, à basse température. L'équipement a été placé dans des conditions proches du vide, pour minimiser les interférences avec d'autres atomes, en prenant bien soin d'éliminer les derniers atomes égarés en augmentant la température des nanotubes, perturbant ainsi toutes liaisons potentielles avec d'autres atomes. **Les catalans ont alors été capables de peser un atome de xénon, au yoctogramme près, et donc capables d'en mesurer le moindre proton (soit 1,7 yoctogrammes).**

► Une telle balance pourrait aider à distinguer les différents éléments dans un échantillon, certains ne différant que de quelques protons. Elle pourrait également aider à identifier des différences de poids de l'ordre du proton au niveau moléculaire, pouvant être marqueur d'une maladie, facilitant potentiellement certains diagnostics.

Les balances de précision technique sont conçues pour une utilisation dans les processus de pesage dans les laboratoires, la recherche, la médecine, la pharmacie, l'éducation, l'industrie des produits alimentaires, l'électronique et l'intérêt public en général.

balances techniques économiques avec des plates- formes de pesage à affichage séparé – WLCK

Exemples:

WLC 6/F1- capacité: 6 Kg, Précision 0,1g

WLC 12/F1 - capacité: 12 Kg, Précision 0,2g

WLC 30/F1 - capacité: 30 Kg, Précision 0,5g

WLC 60/C21 - capacité: 60 Kg, Précision 1g

WLC 120/C2 - capacité: 120 Kg, Précision 2g

www.multilab.ro/balante/balanta_farmacie.html

2. THÉORIE DES OSCILLATIONS

INTRODUCTION

Sont appelées OSCILLATIONS ou mouvements oscillatoires, les mouvements qui se répètent périodiquement ou quasi-périodiquement au cours du temps.

En fonction de leur nature physique on distingue des oscillations mécaniques, électromagnétiques, etc . Les oscillations peuvent être classées selon plusieurs critères .Ainsi on distingue les oscillations périodiques au cas où toutes les valeurs des grandeurs physiques caractéristiques du processus d'oscillation se répètent à des intervalles de temps réguliers qui sont des intervalles de temps minimum T .

Cette valeur T est la période des oscillations et représente la durée d'une oscillation complète.

La fréquence des oscillations est le nombre d'oscillations complètes effectuées par unité de temps :

$$\nu = \frac{1}{T}$$

La dépendance temporelle de toute grandeur physique A caractérisant une oscillation périodique a la forme suivante: $A(t) = A_0 + X(t)$

où: A_0 = constant et $X(t)$ est une fonction périodique de temps:

$$X(t + T) = X(t)$$

Si seule une partie des grandeurs physiques caractéristiques sont de ce type, alors les oscillations sont quasi-périodiques.

CLASSIFICATION DES OSCILLATIONS

EN FONCTION DE LA VARIATION DANS LE TEMPS DES GRANDEURS

CARACTÉRISTIQUES on distingue:

- OSCILLATIONS PÉRIODIQUES pour lesquelles toutes les grandeurs physiques caractéristiques du processus d'oscillation se répètent à des intervalles de temps réguliers.

L'intervalle de temps minimum est la période d'oscillation T et c'est la période d'une oscillation complète.

La fréquence ν est le nombre d'oscillations complètes effectuées par unité de temps.

- OSCILLATIONS QUASI- PÉRIODIQUES pour lesquelles seule une partie des grandeurs physiques caractéristiques sont quasi- périodiques .

EN FONCTION DU TYPE DES FORCES EXTÉRIEURES QUI DÉTERMINENT LES OSCILLATIONS, on distingue:

- OSCILLATIONS LIBRES (qui se produisent en l'absence de forces extérieures de friction ou d'entretien du mouvement) .
- OSCILLATIONS AMORTIES (les forces de frottement sont présentes) .
- OSCILLATIONS FORCÉES (sous l'action de forces extérieures d'entretien du mouvement) .

EN FONCTION DU TYPE D'ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES QUI LES DÉTERMINENT , les oscillations sont:

- OSCILLATIONS LINÉAIRES si les équations correspondantes du mouvement sont des équations différentielles linéaires.
- OSCILLATIONS NON LINÉAIRES au cas contraire.

2.1. MOUVEMENT OSCILLATOIRE HARMONIQUE

Le mouvement d'oscillation le plus simple est le mouvement harmonique d'oscillation qui est le mouvement s'effectuant sous l'action d'une force élastique.

La force élastique est une force dont le support passe toujours par un point fixe 0 (centre du mouvement) dont le module est proportionnel à la distance entre 0 et le point d'application de la force et dont le sens est opposé au déplacement.

L'expression de la force élastique est: $\vec{F}_e = -k \cdot \vec{r}$

où k est une constante de proportionnalité appelée la constante d'élasticité ou coefficient d'élasticité.

Par la suite nous ne considérons que le mouvement oscillatoire harmonique unidimensionnel sur l'axe Ox .

Dans ce cas, la force élastique a la forme $F_e = -kx$, où la distance $x = x(t)$ par rapport au centre O est appelée élongation.

Le problème est d'étudier le mouvement d'un point matériel sur lequel s'exerce une force élastique. Le système ainsi formé est appelé **oscillateur linéaire harmonique** .

L'équation caractéristique pour ce système est:

$$\boxed{m \cdot \ddot{x} + kx = 0} \quad \text{ou} \quad \boxed{m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + kx = 0} \quad (1)$$

Si l'on divise l'équation (1) par la masse m de l'oscillateur et si l'on introduit la notation pour **l'autopulsation** $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

alors l'équation (1) devient: $\ddot{x} + \omega^2 x = 0$ (2)

ou $\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$ (3)

Cette équation est appelée **l'équation différentielle du mouvement oscillatoire linéaire harmonique**.

L'équation différentielle du mouvement oscillatoire linéaire harmonique $\boxed{\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega^2 x = 0}$

La solution de cette équation est la loi d'oscillation et peut s'écrire sous la forme suivante:

$$\boxed{x(t) = A \cos(\omega t + \varphi)}$$

Les grandeurs A et φ sont des constantes et dépendent des conditions initiales du mouvement

L'argument de la fonction cos dans la loi du mouvement c'est – à- dire la grandeur: $\psi(t) = \omega t + \varphi$ est appelé la phase du mouvement et φ est appelé phase initiale.

Au départ $t = 0$ la phase devient $\psi(0) = \varphi$

et représente donc la phase de référence que l'on appelle la phase initiale du mouvement.

Si $\omega t + \varphi = 2n\pi$ alors $\cos(\omega t + \varphi) = 1$.

donc l'élongation maximale x est A qui est l'amplitude du mouvement.

Le mouvement oscillatoire harmonique simple est un mouvement périodique.

L'élongation $x(t)$ est périodique au cours du temps et a la même valeur lorsque le temps t augmente d'une période, comme suit:

$$x = A \cos(\omega t + \varphi) = A \cos[\omega(t + T) + \varphi]$$

La fréquence d'oscillation est: $\omega t = 2\pi$ ou $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$

La vitesse du point matériel dans le mouvement oscillatoire harmonique est: $v = \dot{x} = -\omega A \sin(\omega t + \varphi)$

L'accélération est: $a = \ddot{x} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi) = -\omega^2 x$

Par conséquent, dans un mouvement oscillatoire harmonique, l'accélération est proportionnelle et opposée à l'élongation.

La loi du mouvement oscillatoire harmonique et linéaire peut être mise sous l'une des formes suivantes qui sont équivalentes:

$$x = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi)$$

$$x = a \cdot \sin \omega t + b \cdot \cos \omega t$$

$$x = C_1 \cdot e^{i \cdot \omega \cdot t} + C_2 \cdot e^{-i \cdot \omega \cdot t}$$

$$x = A \cdot e^{i(\omega t + \varphi)}$$

L'énergie cinétique E_c d'un oscillateur harmonique linéaire est:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \omega^2 \cdot A^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t + \varphi)$$

L'énergie potentielle E_p est égale au travail nécessaire pour que l'oscillateur se déplace de la position initiale à la position d'élongation x .

$$\text{Par suite, l'énergie potentielle sera: } E_p = \int_0^x k \cdot x dx = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$$

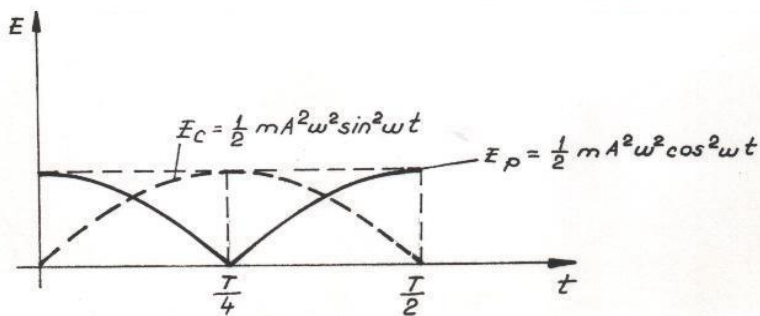
En tenant compte de la forme de l'élongation donnée ci-dessus, nous pouvons écrire:

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot k \cdot A^2 \cdot \cos^2(\omega \cdot t + \varphi)$$

Si $k = m \cdot \omega^2$, la dernière relation est aussi écrite:

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot m \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot \cos^2(\omega \cdot t + \varphi) = 2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot v^2 \cdot A^2 \cdot \cos^2(\omega \cdot t + \varphi)$$

L'énergie totale E est : $E = E_c + E_p = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \omega^2 \cdot A^2 = 2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot v^2 \cdot A^2$



2.2.MOUVEMENT OSCILLATOIRE AMORTI

Définition:

Les oscillations sont amorties quand l'amplitude est diminuée au cours du temps. Elles se produisent quand il y a une dissipation de l'énergie sous l'action des forces de frottement.

Si un corps se déplace dans un liquide à une vitesse relativement faible $v = \dot{x}$ alors la force de résistance qui apparaît est proportionnelle à la vitesse, c'est-à-dire: $F_r = -r \cdot \dot{x}$

où $r > 0$ est un coefficient qui dépend de la nature du milieu et de la forme du corps en mouvement et qui est appelé **le coefficient de résistance (ou le coefficient de traînée)**.

Les oscillations amorties sont les oscillations d'un système sur lequel s'exercent deux forces:

la force élastique : $F_e = -k \cdot x$

et la force résistante : $F_r = -r \cdot \dot{x}$

► Pour déterminer la loi d'oscillation, l'équation de mouvement est utilisée comme suit:

$$\text{On utilise : } m \cdot \ddot{x} = \frac{r}{m} \cdot \dot{x} + \frac{k \cdot x}{m}$$

-le coefficient d'amortissement δ

- la pulsation propre: ω_0 - pulsation qu'un système aurait uniquement sous l'action de la force élastique.

L'équation différentielle pour le mouvement oscillatoire amorti est: $\ddot{x} + 2 \cdot \delta \cdot \dot{x} + \omega_0^2 \cdot x = 0$

$$\text{ou } \frac{d^2 x}{dt^2} + 2 \cdot \delta \cdot \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 \cdot x = 0$$

L'équation différentielle pour le mouvement oscillatoire amorti :

$$\ddot{x} + 2 \cdot \delta \cdot \dot{x} + \omega_0^2 \cdot x = 0$$

La solution de cette équation peut être obtenue si l'on fait la substitution:

$$x(t) = z(t) \cdot e^{-\delta \cdot t}$$

$$\text{et on obtient: } \ddot{z} + (\omega_0^2 - \delta^2) \cdot z = 0$$

Si l'élasticité prévaut contre la résistance du milieu: $\omega_0^2 > \delta^2$

on peut introduire la notation $\alpha^2 = \omega_0^2 - \delta^2$

où α est la pseudopulsation qui est une constante positive.

Par suite: $\ddot{z} + \alpha^2 \cdot z = 0$ (19)

c'est- à- dire qu'on obtient une équation de la forme de l'équation différentielle du mouvement oscillatoire harmonique.

La solution peut être mise sous la forme: $z(t) = A \cdot \cos(\alpha \cdot t + \varphi)$ (20)

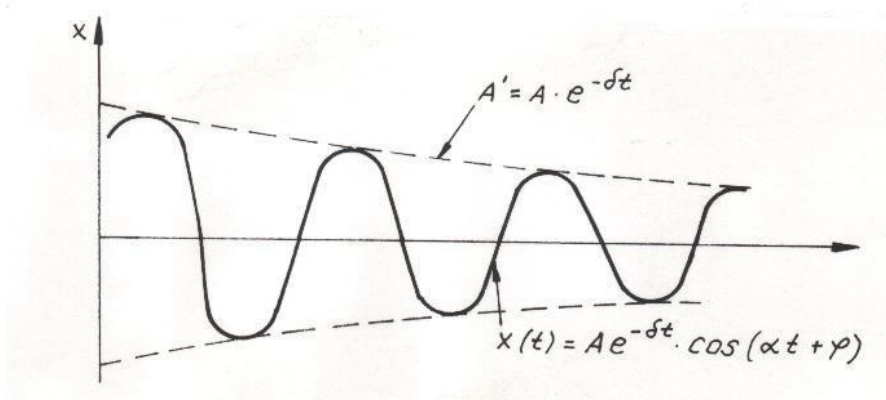
de sorte que la loi de mouvement est: $x(t) = A \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \cos(\alpha \cdot t + \varphi)$ (21)

Si l'on note: $A'(t) = A \cdot e^{-\delta \cdot t}$ (22)

qui représente l'amplitude du mouvement : $x(t) = A'(t) \cdot \cos(\alpha \cdot t + \varphi)$

La loi de mouvement : $x(t) = A'(t) \cdot \cos(\alpha \cdot t + \varphi)$

L'expression ci-dessus montre que l'élongation x varie périodiquement avec une amplitude qui diminue exponentiellement au cours du temps.



(Comme indiqué ci-contre)

Par analogie avec le mouvement oscillatoire harmonique ,

la **pseudopulsation du mouvement d'oscillation amorti est α** .

D'une manière analogue on définit une **pseudopériode** $T = \frac{2 \cdot \pi}{\alpha}$

Une autre grandeur caractérisant les oscillations amorties est

le décrement logarithmique défini comme le logarithme naturel du rapport de deux valeurs successives de l'amplitude séparées par un intervalle de temps égal à une pseudopériode:

$$\lambda = \ln \frac{A'(t)}{A'(t+T)} = \ln \frac{A \cdot e^{-\delta \cdot t}}{A \cdot e^{-\delta(t+T)}} = \delta \cdot T$$

Si la résistance du milieu prévaut contre l'élasticité, de sorte que: $\omega^2 < \delta^2$

on écrit: $\beta^2 = \delta^2 - \omega^2 > 0$

L'équation différentielle du mouvement oscillatoire amorti devient:

$$\ddot{z} - \beta^2 \cdot z = 0$$

avec la solution: $z(t) = C_1 \cdot e^{\beta \cdot t} + C_2 \cdot e^{-\beta \cdot t}$ (25)

de sorte que la loi du mouvement oscillatoire amorti sera écrite:

$$x(t) = z(t) \cdot e^{-\delta \cdot t} = C_1 \cdot e^{-(\delta - \beta) \cdot t} + C_2 \cdot e^{-(\delta + \beta) \cdot t}$$
 (26)

Puisque dans ce cas, $\delta > \beta$ il s'ensuit que chaque terme exponentiel diminue de façon monotone au cours du temps.

Le mouvement perd son caractère périodique et l'amortissement est apériodique. Si à l'état initial le système est retiré de la position d'équilibre, il retourne asymptotiquement à l'état d'équilibre.

2.3. MOUVEMENT OSCILLATOIRE FORCÉ

Oscillations forcées

Les oscillations forcées sont les oscillations effectuées par un point matériel sur lequel s'exercent trois forces:

- ▶ Une force élastique: $F_e = -k \cdot x$
- ▶ Une force de résistance: $F_r = -r \cdot \dot{x}$
- ▶ Une force périodique extérieure: $F' = F_0 \cdot \cos \omega t$

L'expérience montre, et les calculs théoriques le confirment qu'aux premiers moments de la force extérieure les oscillations n'ont plus un caractère stationnaire, c'est-à-dire une amplitude et une impulsion constantes. Dans ce cas la pulsation et l'amplitude varient selon une loi compliquée et le régime de ces oscillations est appelé régime transitoire.

L'équation de mouvement est : $m \cdot \ddot{x} = -k \cdot x - r \cdot \dot{x} + F_0 \cdot \cos \omega \cdot t$

$$\ddot{x} + \frac{r}{m} \cdot \dot{x} + \frac{k}{m} \cdot x - \frac{F_0}{m} \cdot \cos \omega \cdot t = 0$$

On note: $\frac{r}{m} = 2 \cdot \delta$; $\frac{k}{m} = \omega_0^2$; $\frac{F_0}{m} = f$

L'équation différentielle des oscillations forcées **ou l'équation de mouvement oscillatoire forcé est :**

$$\ddot{x} + 2 \cdot \delta \cdot \dot{x} + \omega_0^2 \cdot x = f \cdot \cos \omega \cdot t$$

La grandeur δ est le coefficient d'amortissement
et ω_0 est la pulsation propre des oscillations.

En régime stationnaire la solution de l'équation

$$\ddot{x} + 2 \cdot \delta \cdot \dot{x} + \omega_0^2 \cdot x = f \cdot \cos \omega \cdot t \quad (29)$$

$$\text{est: } x = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi) \quad (30)$$

où les constantes A et φ doivent être déterminées en fonction des dimensions de ω et f qui sont impliquées dans l'équation (29).

En dérivant deux fois par rapport au temps l'équation (30) et en remplaçant la formule (16), on obtient :

$$(\omega_0^2 - \omega^2) \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi) - 2 \cdot \delta \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) = \frac{f}{A} \cdot \cos \omega \cdot t$$

La dernière égalité doit être variable à tout moment.

À l'instant t_1 pour lequel : $\omega \cdot t_1 + \varphi = 2 \cdot \pi$

c'est-à-dire : $\omega \cdot t_1 = 2 \cdot \pi - \varphi$

parce que $\cos(2 \cdot \pi - \varphi) = \cos \varphi$

il s'ensuit que $\omega_0^2 - \omega^2 = \frac{f}{A} \cdot \cos \varphi$ (32)

À l'instant t_2 de sorte que $\omega \cdot t_2 + \varphi = \frac{\pi}{2}$

parce que $\cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = \sin \varphi$

la relation (31) devient: $2 \cdot \delta \cdot \omega = -\frac{f}{A} \cdot \sin \varphi$

En portant au carré les deux dernières relations et en les additionnant, on obtient:

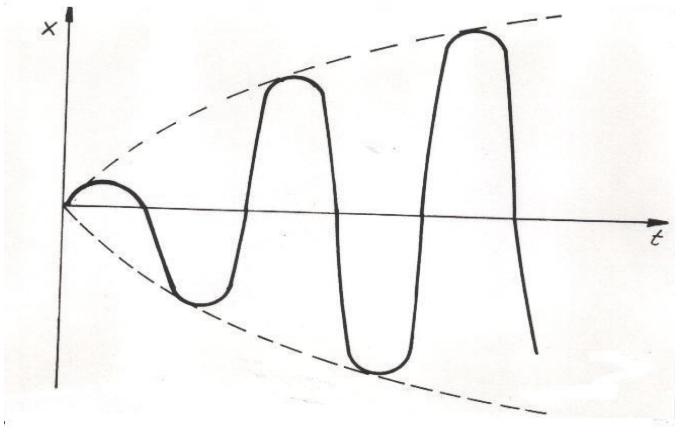
$$A = \frac{f}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4 \cdot \delta^2 \cdot \omega^2}}$$

En divisant (33) par (32) on obtient: $\operatorname{tg} \varphi = \frac{2 \cdot \delta \cdot \omega}{\omega^2 - \omega_0^2}$

Les relations obtenues résolvent le problème posé de manière que dans un régime stationnaire, la solution de l'équation (29) est:

$$x = \frac{f}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4 \cdot \delta^2 \cdot \omega^2}} \cdot \cos\left(\omega \cdot t + \operatorname{arctg} \frac{2 \cdot \delta \cdot \omega}{\omega^2 - \omega_0^2}\right)$$

Si le corps est initialement au repos et qu'une force périodique extérieure commence à s'exercer sur lui, alors il commence à effectuer des oscillations forcées dont l'amplitude augmente jusqu'à atteindre la valeur maximale donnée par la relation (20).



Des relations (34) et (35) on voit que l'amplitude A et la phase initiale des oscillations forcées dépendent de la pulsation de la force extérieure.

La valeur de la pulsation de la force extérieure est appelée **pulsation de résonance** et le **phénomène de développer une oscillation forcée d'amplitude maximale** sous l'action de la force extérieure est appelé dans ce cas **RÉSONANCE**.

La pulsation de résonance est obtenue à partir de la condition d'extrême $\frac{dA}{d\omega} = 0$ et en effectuant la dérivation on obtient $\omega_{rez} = \sqrt{\omega_0^2 - 2 \cdot \delta^2}$

La valeur maximale de l'amplitude s'appelle **amplitude de résonance** et est obtenue en remplaçant la valeur de la pulsation de résonance dans l'expression $A_{rez} = \frac{f}{2 \cdot \delta \cdot \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}}$

Si la résonance du milieu est zéro

alors à partir de la relation (23) on obtient: $\omega_{rez} = \omega_0$

c'est - à - dire que dans ce cas, la résonance est obtenue quand la pulsation de la force périodique extérieure est égale à la pulsation d'oscillation .

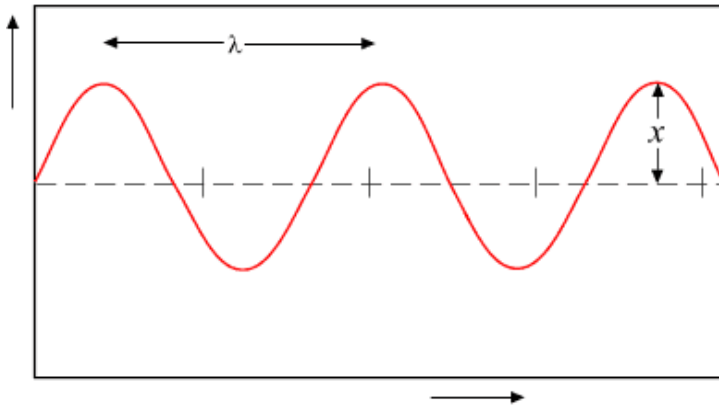
3. THÉORIE DES ONDES

INTRODUCTION A LA THEORIE DES ONDES

Définition: Le lieu géométrique de tous les points ayant la même phase est appelé **ONDE**.

- λ - la longueur d'onde c' est la distance minimale entre deux points dans l'espace qui oscillent en phase

x - l'amplitude



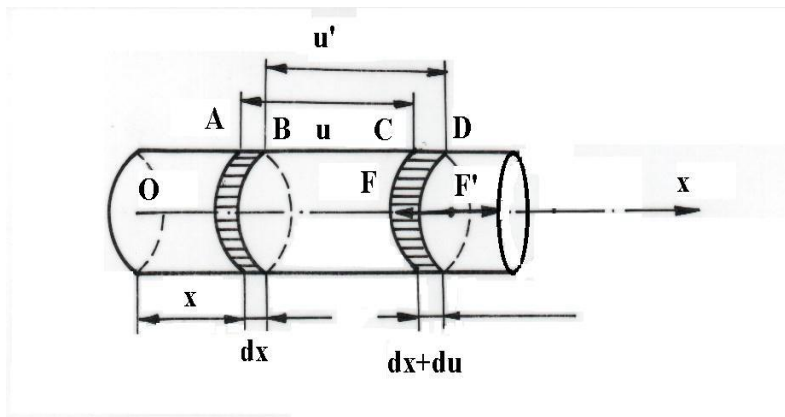
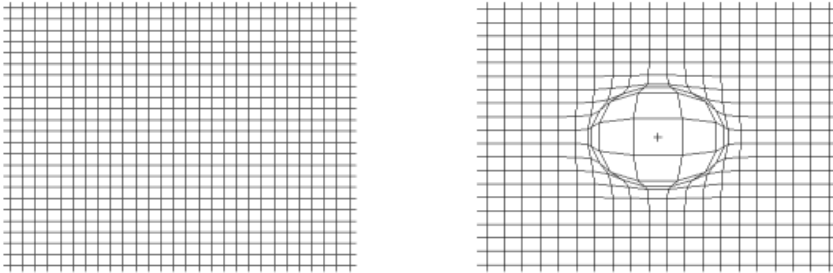
CLASSIFICATION DES ONDES

Définition:

L'ensemble des oscillations du point matériel d'un milieu élastique est appelé onde élastique.

3.1. ONDES LONGITUDINALES

Ondes pour lesquelles la vitesse instantanée de chaque particule est parallèle à la direction de propagation des ondes dans les points où se trouve la particule. Quand une onde longitudinale se propage se créent des vibrations de pression locales.



Si dans le fil se propage une perturbation le long de l'axe Ox, alors l'élément dx se déforme (allongement ou compression) selon la loi de Hooke et donne naissance à la force: $F = SE \frac{\partial u}{\partial x} = k \frac{\partial u}{\partial x}$ (4)

Considérons la perturbation qui se propage le long d'un fil élastique dans lequel les ondes longitudinales se propagent dans la direction Ox.

Elles produisent des déformations élastiques locales.

Les forces qui s'exercent sur des sections différentes sont différentes de sorte que la section S à gauche de l'élément $(dx + du)$ subit la force F et la section S' à droite de l'élément $(dx + du)$ subit la force F', leur résultante étant:

$$F' - F = \Delta F = \frac{\partial F}{\partial x} \cdot \Delta x \quad (5)$$

À part l'effet de distorsion les deux forces ont par leur résultante un effet accélérateur. On peut écrire la deuxième loi de Newton:

$$\Delta m \cdot \frac{\partial^2}{\partial t^2} = F + \Delta F - F = \Delta F \quad (6)$$

Mais $F = F(x)$, de sorte que $F(x) + \Delta F = F(x + \Delta x)$

Ensuite, on écrit le développement en série Taylor de la force F sous la forme:

$$F(x + \Delta x) = F(x) + \Delta x \cdot \frac{\partial F}{\partial x} + \Delta x^2 \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial^2 x^2} + \dots = 0 \quad (7)$$

Les termes d'ordre supérieur sont négligés.

La variation de la force a la forme:
$$\Delta F = \frac{\partial F}{\partial x} \cdot \Delta x \quad (8)$$

et en même temps
$$\Delta m \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial F}{\partial x} \cdot \Delta x \quad (9)$$

Étant donné l'effet de déformation, une deuxième relation est obtenue entre x et u : $\frac{E}{S} = E \cdot \varepsilon$ ou

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

L'équation aux dérivées partielles des ondes élastiques longitudinales est:

$$\frac{\rho}{E} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (15)$$

La solution de cette équation est: $u = f_1(x - ct) + f_2(x + ct) \quad (16)$

où f_1 et f_2 sont des fonctions arbitraires et

c est la vitesse de propagation des ondes élastiques longitudinales :

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (17)$$

Donc, on peut écrire:
$$\boxed{\frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}}$$

Si l'on considère la propagation dans une direction quelconque ou s'il s'agit de l'onde dans l'espace, on peut démontrer que l'équation de la propagation des ondes dans l'espace est:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (18)$$

et la fonction du membre gauche est le Laplacien:

Donc, on peut écrire l'équation aux dérivées partielles des ondes pour leur propagation dans l'espace

$$\Delta u = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (19.1)$$

ou

$$\left(\Delta - \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial t^2}\right)u = 0 \quad (19.2)$$

Dans les équations dans lesquelles apparaît $\frac{\partial u}{\partial t}$ le phénomène d'absorption des ondes atténuées apparaît aussi.

Équations aux dérivées partielles des ondes

- **équation aux dérivées partielles des ondes élastiques** $\frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$
- **équation aux dérivées partielles pour la propagation des ondes dans l'espace**

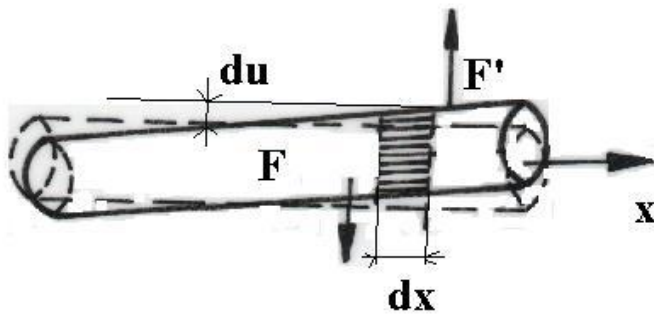
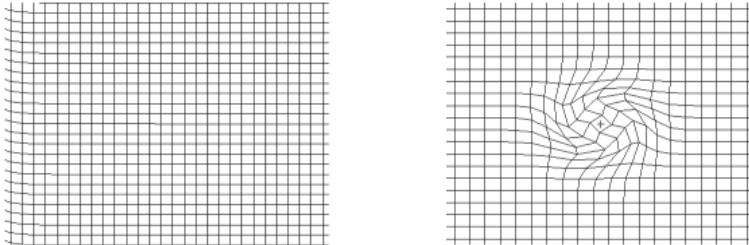
$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

c est la vitesse de propagation des ondes longitudinales

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 2,997924 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

3.2. ONDES TRANSVERSALES

Les ondes pour lesquelles la vitesse instantanée d'une particule est perpendiculaire à la direction de propagation des ondes



Soit une barre qui en état non déformé est tracée avec une ligne en pointillé, comme illustré dans la figure.

Si l'on frappe la barre transversalement, elle va commencer à vibrer et à un moment donné, elle sera dans une position déterminée par la ligne continue sur la figure.

Une section élémentaire de la barre va se déplacer transversalement par rapport à la position d'équilibre, après sa déformation, avec la valeur du .

La section dx est soumise aux forces F' et F qui s'exercent tangentiellement aux surfaces S' et S des sections et produisent une déformation de cisaillement.

Cette déformation de cisaillement sera caractérisée par la grandeur:

$$\gamma = \frac{\partial u}{\partial x} \quad (30)$$

La déformation de cisaillement est proportionnelle à la force tangentielle par unité de surface

$$\gamma = \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{1}{G} \frac{F}{S} \quad (31)$$

Donc, la force s'exerçant sur le milieu considéré au cas de la propagation transversale des ondes élastiques a la forme:

$$F = G.S. \frac{\partial u}{\partial x} \quad (32)$$

G est appelé le module de cisaillement.

La résultante des forces F' et F s'écrit:

$$F' - F = \frac{\partial F}{\partial x} dx \quad (33)$$

et produit sur l'élément dx un effet accélérateur qui selon le deuxième principe de la dynamique s'

$$\text{écrit: } \frac{\partial F}{\partial x} dx = \rho.S.dx. \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (34)$$

Dans cette relation ρ est la densité du milieu pris en compte et S est la section de la barre à un moment donné, donc on peut écrire:

$$\frac{\partial F}{\partial x} = \rho.S. \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (35)$$

Étant donné que la force a la forme: $F = G.S. \frac{\partial u}{\partial x}$

$$\text{alors: } \frac{\partial F}{\partial x} = G.S. \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (36)$$

Et ainsi on obtient l'équation aux dérivées partielles de propagation des ondes transversales dans une

$$\text{barre: } \frac{\rho}{G} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (37)$$

où la vitesse de propagation des ondes transversales est $v = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$

L'équation des ondes devient:

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (38)$$

L'équation des ondes dans le cas tridimensionnel devient:

$$\begin{aligned} \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \\ \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= \Delta u \end{aligned} \quad (39)$$

où Δu est appelé laplacien de la fonction u .

La solution de cette équation a la forme: $u(x, t) = f_1(x - vt) + f_2(x + vt)$

EQUATION ET SOLUTION DE L' EQUATION DES ONDES

équation temporelle des ondes $\omega^2 + \frac{1}{T} \frac{d^2 T}{dt^2} = 0$

Solution temporelle $T = C_1 e^{i\omega t} + C_2 e^{-i\omega t}$

équation spatiale des ondes $\frac{1}{X} \frac{d^2 X}{dx^2} + k^2 X = 0$

Solution spatiale $X = D_1 e^{ikx} + D_2 e^{-ikx}$

Solution générale de l'équation des ondes $u(x, t) = e^{\pm i(\omega(\pm kx))}$

4. THERMODYNAMIQUE

L'objet de la thermodynamique est l'étude des lois physiques des systèmes macroscopiques, lois liées aux processus thermiques existant dans ces corps, loi de l'évolution de ces systèmes et en particulier de leur comportement à l'équilibre.

Le système physique étudié peut être formé par un gaz, un corps solide avec des propriétés élastiques, la radiation électromagnétique à l'équilibre thermique.

La thermodynamique est basée sur trois principes très généraux, qui résument les résultats d'un grand nombre d'expériences d'un genre particulier: ce sont des expériences négatives, à savoir l'échec des tentatives pour faire fonctionner les machines gratuitement. Ainsi, les deux principes de la thermodynamique posent que certaines grandes classes de phénomènes ne peuvent pas se produire. Le premier principe nie la possibilité de transformer entièrement la chaleur en travail mécanique.

ÉTAT D'UN SYSTÈME THERMODYNAMIQUE

GRANDEURS QUI CARACTÉRISENT LE SYSTÈME THERMODYNAMIQUE

LE SYSTÈME THERMODYNAMIQUE est une portion de l'univers délimitée de sorte que les objets macroscopiques (corps ou champs) qu'elle renferme sont en interaction avec l'environnement dans son ensemble.

LE SYSTÈME ISOLÉ est un système thermodynamique dans lequel il n'y a pas d'échange d'énergie ni aucun composant extérieur.

LE SYSTÈME ADIABATIQUE ISOLÉ est un système qui ne peut interagir avec l'extérieur que par l'exécution d'un travail.

LE SYSTÈME FERMÉ est un système dans lequel il n'y a pas d'échange de substance entre le système et le monde extérieur.

1. **LES ÉTATS STATIONNAIRES** sont les états qui ont les caractéristiques suivantes:

- les paramètres qui les définissent ne varient pas au cours du temps,
- présentent des gradients constants pour les grandeurs caractéristiques,
- présentent une consommation d'énergie.

LES ÉTATS STATIONNAIRES sont des états d'équilibre ou de non-équilibre.

1.1. **LES ÉTATS D'ÉQUILIBRE** sont les états qui ont les caractéristiques suivantes:

- les paramètres intensifs ont la même valeur en chaque point du système,
- l'état du système ne varie pas au cours du temps, ne change pas les conditions extérieures,
- l'état du système ne change pas tant que le système n'est pas traversé par des flux externes qui impliquent le transport de substance.

1.2. **LES ÉTATS DE NON-ÉQUILIBRE** sont les états qui ont les caractéristiques suivantes :

- présentent des gradients non nuls pour les grandeurs caractéristiques,
- leurs paramètres évoluent au cours du temps.

PARAMÈTRES D'ÉTAT

L'état d'un système thermodynamique est caractérisé par les valeurs que certains paramètres prennent à un moment donné.

LES PARAMÈTRES D'ÉTAT sont représentés par un certain nombre de grandeurs physiques qui caractérisent ses propriétés macroscopiques.

Les paramètres utilisés pour décrire l'état du système peuvent dépendre l'un de l'autre. On choisit un nombre minimum de paramètres pour décrire l'état.

Les paramètres peuvent être:

PARAMÈTRES EXTERNES: qui ne dépendent que des coordonnées généralisées des champs extérieurs avec lesquels le système interagit – le champ de gravitation ou n'importe quel champ de forces peut être un paramètre externe.

PARAMÈTRES INTERNES: quand ils dépendent aussi bien des coordonnées généralisées des corps extérieurs que des valeurs moyennes des coordonnées et des vitesses des particules.

LES PARAMÈTRES PEUVENT ÊTRE MÉCANIQUES OU THERMODYNAMIQUES.

Les paramètres mécaniques peuvent être:

- **paramètres de force** qui dépendent des forces externes agissant sur le système (force, pression)

- **paramètres de position**- montrant la position du système par rapport à l'extérieur (le volume, la surface).

(C.Motoc, Fizica, vol.I- Fizica clasica, Ed.All, 1997)

LES PROCESSUS THERMODYNAMIQUES peuvent être :

LES PROCESSUS RÉVERSIBLES sont des processus dans lesquels le système peut revenir à son état initial seulement s'il passe par les mêmes états intermédiaires que dans les processus directs.

LES PROCESSUS IRRÉVERSIBLES sont des processus dans lesquels l'état initial ne peut pas être atteint sur le même chemin et les états intermédiaires sont des états de non équilibre .

LES PROCESSUS QUASI-STATIQUES sont des processus très lents, processus pour lesquels les états intermédiaires peuvent être considérés comme des états d'équilibre.

LES PROCESSUS NON-STATIQUES sont des processus dans lesquels la transition de l'état initial à l'état final se fait par une succession d'états de non équilibre.

4.1.POSTULATS DE LA THERMODYNAMIQUE

LE PREMIER POSTULAT : Un système isolé arrive toujours après un intervalle de temps à l'état d'équilibre thermodynamique et ne peut jamais sortir par lui-même (si les paramètres sont maintenus constants) de cet état.

Le premier postulat de la thermodynamique conduit à l'existence de toute une série de fonctions d'état du système en équilibre thermodynamique. Il s'appelle aussi **le principe général de la thermodynamique**.

LE SECOND POSTULAT: Deux systèmes A et B qui peuvent échanger de la chaleur sont en contact thermique. Si les systèmes thermodynamiques mis en contact n'échangent pas de chaleur entre eux, on dit qu'ils sont dans un état d'équilibre thermique.

Le second postulat pose que l'équilibre thermique est transitif.

Il en résulte que l'état d'équilibre thermique d'un système est donné par les paramètres externes et par une grandeur physique appelée température empirique ou tous les paramètres internes d'un système dans l'état d'équilibre thermodynamique sont fonction des paramètres externes et de la température empirique. A l'équilibre thermique, la température empirique a la même valeur pour tous les systèmes qui sont en contact thermique.

LE SECOND POSTULAT DE LA THERMODYNAMIQUE peut être énoncé de la manière suivante: tous les paramètres internes (B_i) d'équilibre d'un système physique sont fonction des paramètres externes (A_K) et de la température (T), à savoir: $B_i = B_i(A_1, A_2, \dots, A_n, T)$.

Ce postulat relatif à l'existence de la température comme un paramètre d'état particulier d'un système d'équilibre s'appelle **LE PRINCIPE ZÉRO de la thermodynamique** parce que pareillement au premier principe et aussi au deuxième principe qui établissent l'existence d'une fonction d'état, ce principe établit l'existence de la température comme fonction d'état des systèmes en équilibre.

4.2. PRINCIPE ZÉRO DE LA THERMODYNAMIQUE

Enoncé: «Le principe zéro de la thermodynamique permet de définir la température comme une grandeur physique mesurable par l'association univoque de valeurs numériques. »

APPLICATION DU PRINCIPE ZERO DE LA THERMODYNAMIQUE : MESURE DE LA TEMPERATURE

La détermination pratique de la température nécessite l'utilisation d'une échelle de température en rapport avec les propriétés thermiques d'une substance. Nous considérons que l'état thermodynamique de la substance est complètement déterminé par un paramètre externe X et un paramètre interne Y . La température empirique θ est:

$$\theta = \theta(X, Y) \quad (1)$$

Si $Y = \text{constant}$, nous avons: $\theta = \theta(X)$

On peut établir un système standardisé, appelé THERMOMÈTRE, de sorte que la température empirique θ dépende linéairement d'un paramètre d'état X : $\theta = a + bX$

Pour déterminer les constantes a et b , on doit fixer deux isothermes de référence, auxquelles nous attribuons les valeurs θ_1 et θ_2 :

$$a = \frac{\theta_1 X_2 - \theta_2 X_1}{X_2 - X_1} \quad ; \quad b = \frac{\theta_2 - \theta_1}{X_2 - X_1} \quad ; \quad \theta = \frac{\theta_1 X_2 - \theta_2 X_1}{X_2 - X_1} + \frac{\theta_2 - \theta_1}{X_2 - X_1} X$$

Sur la base de ces raisonnements ont été élaborées plusieurs échelles de température.

TEMPERATURE EMPIRIQUE – PROPRIÉTÉS

Sur la base de ces raisonnements ont été élaborées plusieurs échelles de température.

La température empirique est un paramètre scalaire ayant les propriétés suivantes :

- C'est un **paramètre intensif** qui prend les mêmes valeurs pour les états d'équilibre d'un ensemble des isothermes quel que soit le système thermodynamique auquel il appartient.
- Les états qui ne sont pas dans une relation d'équilibre thermodynamique ont des températures différentes.

En utilisant un procédé de mesure approprié on peut associer à chacun des ensembles d'états isothermes une valeur de la température empirique.

MESURE EFFECTIVE DE LA TEMPERATURE EMPIRIQUE :

Conditions nécessaires pour la mesure effective de la température empirique

- ▶ le choix du corps thermométrique
- ▶ le choix des propriétés thermométriques
- ▶ la détermination de la valeur initiale A_0 et de la valeur finale A .
- ▶ le choix d'un ensemble de référence M_0 de systèmes isotropes ayant comme élément représentatif un état de conductivité maximale d'un système particulier choisi expressément à cet effet. Cet état peut être par exemple celui d'un système constitué de l'eau pure, de la glace pure et de la vapeur d'eau pure. Les trois états sont en équilibre thermodynamique et forment le point triple de l'eau.

ÉCHELLES DE MESURE DE LA TEMPERATURE EMPIRIQUE

L'ÉCHELLE KELVIN:

Cette échelle de mesure de la température est fixée à $\theta_0 = 273.16$

L'unité est appelée Kelvin (K) et c'est la température du point triple de l'eau.

Cette échelle de mesure de la température empirique a le point 0 non défini parce que la température 0 K est fondamentalement inaccessible.

Techniquement à présent on peut mesurer la valeur de 0K qui est en même temps (-273°C) .

Nous sommes donc en droit de l'appeler

L'ÉCHELLE EMPIRIQUE DE KELVIN.

Elle a été proposée en 1848 par le scientifique anglais Lord Kelvin .

Rien ne peut être refroidi autant , même si l'on a obtenu une température de $0,000007\text{ K}$.

L'ÉCHELLE CELSIUS:

Dans la pratique, la plus souvent utilisée est l'échelle Celsius dont les températures sont liées à celles de l'échelle Kelvin par l'équation: $\theta_{\text{celsius}} = \theta_{\text{Kelvin}} - 273,16$

L'unité est appelée degré Celsius ($^\circ\text{C}$) et c'est la température du point triple de l'eau.

L'échelle Celsius fixe les isothermes de référence suivantes:

- l'isotherme correspondant à l'équilibre entre la glace et l'eau, à une pression $p_0 = 1\text{ atm}$, pour laquelle $\theta_1 = 0^\circ\text{C}$.
- l'isotherme correspondant à l'équilibre entre l'eau et la vapeur d'eau à une pression $p_0 = 1\text{ atm}$., pour laquelle on considère la température empirique $\theta_2 = 100^\circ\text{C}$.

L'ÉCHELLE FAHRENHEIT

Aux États-Unis et autres pays anglophones à l'exception de la Grande-Bretagne, l'échelle Fahrenheit est largement utilisée.

Le lien entre la température en degrés Fahrenheit et l'échelle Celsius est:

$$\theta_{Fahrenheit} = \frac{9}{5} \theta_{celsius} + 32$$

L'échelle Fahrenheit fixe les mêmes isothermes de référence que l'échelle Celsius, mais leur attribue les températures $\theta_1 = 32 \text{ F}$ et $\theta_2 = 212 \text{ F}$.

En 1724, Gabriel Fahrenheit a utilisé pour la première fois le mercure comme liquide thermométrique. Le mercure se dilate beaucoup, n'adhère pas au récipient et reste à l'état liquide d'agrégation pour un large intervalle de températures.

Le thermomètre indique 32°F au point de congélation de l'eau et 212°F est le point d'ébullition à la pression atmosphérique normale.

Cette échelle de température est utilisée aux États-Unis.

L'échelle de Fahrenheit est aujourd'hui utilisée aux États-Unis, à Belize et aux Îles Caïman.

Au Canada, elle est, selon la loi, utilisable au titre d'échelle complémentaire.

Dans les autres pays du Commonwealth, où elle était largement utilisée, elle a été remplacée par l'échelle Celsius au cours de la seconde moitié du xx^e siècle.

Exemple de transformation:

$$\theta_{Fahrenheit} = \frac{9}{5} \theta_{celsius} + 32$$

$$\theta_{celsius} = (\theta_{Fahrenheit} - 32) \cdot \frac{5}{9}$$

$$100 = \frac{9}{5} \theta_{celsius} + 32$$

$$\theta_{celsius} = (100 - 32) \cdot \frac{5}{9} = 37.77^\circ\text{C}$$

$$\theta_{Fahrenheit} = \frac{9}{5} \theta_{celsius} + 32$$

$$\theta_{celsius} = (\theta_{Fahrenheit} - 32) \cdot \frac{5}{9}$$

$$100 = \frac{9}{5} \theta_{celsius} + 32$$

$$\theta_{celsius} = (100 - 32) \cdot \frac{5}{9} = 37.77^\circ\text{C}$$

DILATATION

La mesure de la température est basée sur les propriétés reproductibles des systèmes thermodynamiques telles que :

- La dilatation thermique des solides, des liquides et des gaz (thermomètres)
- L'influence de la température sur la tension de contact entre deux conducteurs (thermocouples).
- L'influence de la température sur la résistance électrique pour les conducteurs et les semi-conducteurs (thermomètres à résistance, thermocouples ou thermoéléments).

La dilatation est le phénomène sur lequel est fondée la mesure de la température au moyen de thermomètres.

La dilatation est le phénomène par lequel un corps change de volume en raison de l'échange de chaleur sans produire un travail.

→ **SOLIDES:**

- **Linéaire :** $l=l_0(1+ \alpha \cdot \Delta t)$
- **Superficielle:** $A=A_0(1+ 2\alpha \cdot \Delta t)$
- **Volumique:** $V=V_0(1+ 3\alpha \cdot \Delta t)$

où $\alpha = \Delta l / l_0 \cdot \Delta t$, le coefficient de dilatation linéaire

→ **FLUIDES:**

$\gamma = \Delta V / V_0 \Delta t$, le coefficient de dilatation thermique volumique;

la relation devient, au voisinage de 0 ° C: $V=V_0(1+\gamma t)$

ΔV = variation réelle du volume de liquide due à une variation de température .

INSTRUMENTS POUR LA MESURE DE LA TEMPERATURE

THERMOMÈTRES CLASSIQUE

1. LES THERMOMÈTRES CLINIQUES À MERCURE peuvent être utilisés pour mesurer la température du corps humain. Ils ont un obstacle (un col étroit) à la partie inférieure du tube de sorte que le liquide ne revient pas dans le réservoir immédiatement après la mesure.

2. LES THERMOMÈTRES HABITUELS - mesurent la température en utilisant l'expansion du liquide: plus la température est élevée, plus le liquide se dilate et la valeur indiquée augmente.

Le mercure est utilisé dans les thermomètres en raison de ses propriétés exceptionnelles. Il peut mesurer une large gamme de températures, de -40 °C à 356°C, et jusqu'à 570°C sous pression, à l'état liquide.

Il se dilate régulièrement en fonction des variations de la température absolue. Il fonctionne bien dans des tubes capillaires, qu'il ne « mouille » pas et est facilement obtenu à l'état pur.

D'autres substances utilisées sont les suivantes:

- **l'alcool**- qui peut être utilisé à des températures inférieures au mercure (-80 °C) et
- **le pentane** (C_5H_{12} - alcane) - qui peut être utilisé à (-200 °C).

3. THERMOMÈTRES À MAXIMUM ET À MINIMUM – enregistrent les températures les plus basses ou les plus élevées. Ils sont souvent combinés en un seul thermomètre à maximum et à minimum.

3.1. LE THERMOMÈTRE À MAXIMUM avec enregistrement automatique de Daniel Rutherford (inventé en 1794) est constitué d'un tube à mercure à l'intérieur duquel se trouve un petit morceau d'acier situé au-dessus du niveau du liquide.

Puisque le liquide se dilate quand la température augmente, il pousse le morceau d'acier. Quand le liquide se contracte, le morceau reste en place, marquant la température la plus élevée atteinte depuis la fixation du thermomètre.

L'instrument peut être remis à zéro avec un aimant.

3.2. LE THERMOMÈTRE À MINIMUM contient de l'alcool au lieu du mercure.

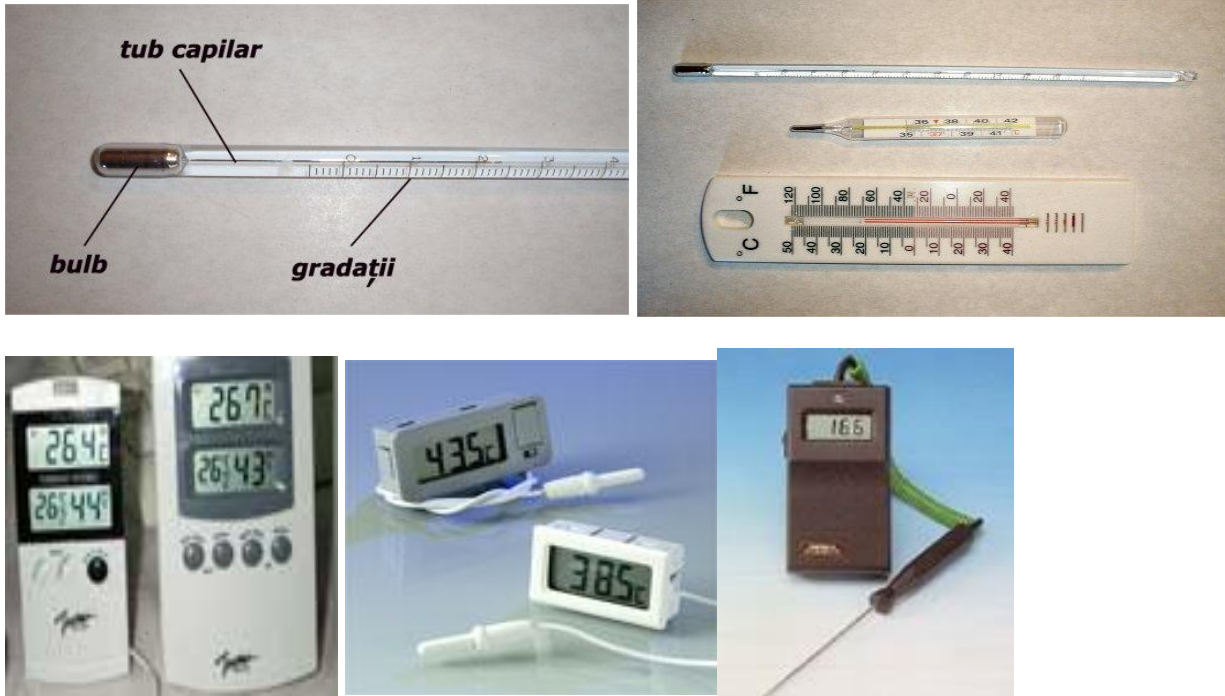
À l'intérieur se trouve un petit morceau de verre dont l'extrémité supérieure atteint la surface du liquide. À mesure que l'alcool se contracte, le verre est entraîné par l'alcool. Pendant la dilatation il conserve sa position, son extrémité indiquant la température la plus basse atteinte.

- **LE THERMOMÈTRE MÉTALLIQUE** a deux bandes métalliques à coefficients de dilatation thermique différents qui sont soudées ensemble et tordues en spirale à l'intérieur avec le métal ayant le plus grand coefficient de température.

Comme la lamelle intérieure se dilate plus lorsqu'elle est chauffée, la spirale se défait. De même, une diminution de la température provoque la torsion en spirale. Une aiguille peut être attachée à un tel instrument destiné à indiquer les variations de température.

- **LA THERMOMÈTRE À GAZ** est plus sensible, à coefficient élevé de dilatation du gaz. Il mesure les variations de température par l'enregistrement de la variation correspondante de la pression.

Cependant, ce type de thermomètre a tendance à être grand et encombrant, nécessitant de grandes quantités de liquides dont la température doit être mesurée.



THERMOMÈTRE EN VERRE À LIQUIDE

Ce type de thermomètre est utilisé pour mesurer la température locale dans l'intervalle de 200-1050 °C. Le principe de fonctionnement des Thermomètre en verre à liquide est basé sur l'expansion d'un liquide dans un espace confiné.

Ces thermomètres sont en verre transparent, avec une bonne qualité thermique et un coefficient de dilatation maximale 2,55 .

Le liquide thermométrique peut être:

- pentane: 200 ... 20°C;
- alcool: 110 ... 75°C;
- toluène: 80 ... 100 °C;
- mercure: 35 ... 800 °C;
- alliage de gallium: 0 ... 1050°C.

DIFFÉRENTS TYPES DE THERMOMÈTRES

- ▶ a) Le **thermomètre à capillaire massif** (figure a.) a un capillaire avec un diamètre approximativement égal au réservoir.
- ▶ b) Le **thermomètre tubulaire** (figure b.) possède escalier et réservoir montés sur l'extrémité de la tige, en prolongement du corps tubulaire. L'échelle graduée est dessinée sur une plaque opaque à l'intérieur du corps tubulaire.
- ▶ c) Le **thermomètre à capillaire non protégé** (figure c.) a à l'extrémité supérieure un tube capillaire plié et fixé à une plaque sur laquelle est tracée l'échelle graduée.

DIFFÉRENTS TYPES DE THERMOMÈTRES

- a) Le thermomètre capillaire massif est muni d'un capillaire dont le diamètre est approximativement égal à celui du réservoir.
- b) Le thermomètre tubulaire comporte une échelle graduée et un réservoir montés à l'extrémité de la tige, dans le prolongement du corps tubulaire. L'échelle graduée est tracée sur une plaque opaque à l'intérieur du corps tubulaire.
- c) Le thermomètre capillaire non protégé comporte, à son extrémité supérieure, un tube capillaire coudé fixé sur une plaque sur laquelle est dessinée l'échelle graduée.

Thermomètre numérique infrarouge sans contact TH1004, Laica [8013240200736]

Le thermomètre numérique infrarouge pour le front détecte la température corporelle avec précision sans causer de douleur ni d'inconfort

La mesure est facile et rapide grâce à la technologie infrarouge

Temps de mesure : 1 seconde.

La mesure s'effectue sur le front, sans contact avec la peau ; il peut également prendre la température au niveau de l'oreille, ainsi que la température de liquides ou de surfaces.

Mode d'emploi :

Pour effectuer la mesure, placez le thermomètre à une distance de 0 à 5 mm du front et appuyez sur le bouton O / I.

Le thermomètre émettra un bip indiquant que la mesure a été effectuée. Le résultat s'affiche à l'écran et s'affiche en couleur en fonction de la valeur de la température mesurée :

- Vert (36,0-37,1 °C),
- Jaune (37,2-38,1 °C)
- Rouge (38,2-43,0 °C).

La température peut être mesurée en degrés Celsius (°C) ou en degrés Fahrenheit (°F)



Thermomètre numérique TH3106, Laica [8033224601601]

Le thermomètre numérique Laica TH3106 est un appareil facile à utiliser pour mesurer la température.

Le thermomètre est équipé d'un écran LCD

. C'est un appareil de surveillance de la température sûr et facile à utiliser, doté d'un écran LCD facile à lire, et l'ensemble ne contient aucune substance dangereuse telle que le verre ou le mercure.

- Le thermomètre est doté d'une tête flexible et résistante à l'eau.
- Une alarme sonore retentit à la fin de la mesure.

- Il peut être utilisé par voie buccale, axillaire ou rectale.
- Il mémorise la dernière température mesurée.
- Il fonctionne avec une pile 1,5 V LR/SR-41 incluse dans l'emballage, qui peut être remplacée.
- La pile offre une autonomie d'environ 100 heures en fonctionnement continu

Caractéristiques techniques :

Mesure la température en 60 s

Plage de mesure : 32-42 °C

Mémorise les dernières valeurs mesurées

Poids : 10 g

Dimensions de l'écran : LCD : 2,1 x 0,9 (cm) ;

dimensions du thermomètre : L = 12,4, l = 1,8

Autonomie de la pile : 200 h



THERMOMÈTRES À RÉSISTANCE MÉTALLIQUE

Le fonctionnement des thermomètres à résistance métallique est basé sur la variation de la résistance électrique d'un conducteur de température:

$$R_T = R_{T_0} \left[1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2 + \dots \right] \quad (1)$$

où: R_T – la résistance du conducteur à la température T °C;
 R_{T_0} – la résistance du conducteur à la température de base T_0
(habituellement 0°C);
 α, β les coefficients qui dépendent de la nature du matériau.

La variation de résistance est détectée et convertie en un signal électrique, en général par des circuits en pont. L'intervalle de mesure principal est compris entre 100 °C - 500 °C.

Le thermomètre à résistance métallique est basé sur un fil métallique avec la propriété que sa résistance augmente / diminue avec l'augmentation / la diminution de la température.

Le thermomètre à résistance métallique est basé sur un fil métallique avec la propriété que sa résistance augmente / diminue avec l'augmentation / la diminution de la température.

Conditions à remplir par les matériaux utilisés comme capteur:

- avoir une résistivité élevée;
- avoir les mêmes propriétés sur toute la plage de température;
- résister à la corrosion;
- être stables dans une plage de température;
- résister à des cycles répétés de température;
- avoir des caractéristiques de résistance - température reproductibles;
- réagir rapidement aux changements de température;
- pouvoir être utilisés pour la production de fils très minces.

Le matériau utilisé pour produire la résistance métallique est caractérisé par un coefficient α de température qui représente la pente de la droite reliant les points qui donnent la résistance à 0°C - 100°C.

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100R_0}$$

où: α - coefficient de température
 R_{100} - résistance à 100 °C [Ω]
 R_0 - résistance à 0 °C [Ω]

Les matériaux courants pour la résistance métallique sont les métaux purs (platine, nickel, cuivre) et les alliages de métaux tels que le nickel-fer.

Pour réaliser les thermorésistances sont utilisés des matériaux performants avec un coefficient de température élevé et des valeurs reproductibles de la résistance dans un large intervalle de température.

Habituellement on utilise du platine (Pt) (- 200 °C à + 600 °C), du nickel (Ni) (- 60 °C à + 180 °C) ou, plus rarement, du cuivre (Cu) et des alliages d'or (Au) ou d'argent (Ag).

THERMISTORS

Ils sont basés sur la variation de la résistance électrique des matériaux semi-conducteurs en fonction de la température.

Le principe de fonctionnement est le même que celui du capteur à résistance métallique, la différence résidant dans le matériau dont la résistance est faite.

En fonction du matériau semi-conducteur, ils sont :

- **thermistors à coefficient de température négatif** dans lesquels la résistance est diminuée lorsque la température augmente (la majorité ont un coefficient de température négatif);
- **thermistors à coefficient de température positif**, dans lesquels la résistance augmente lorsque la température augmente.

Les thermistors sont des semi- conducteurs (avec un coefficient de variation de la température négatif) fabriqués en mélanges d'oxydes métalliques ou en germanium pur. La variation de la résistance électrique avec la température peut être décrite par l'équation:

$$R_{\theta} = R_0 e^{-b\theta} = R_0 \left(1 - \beta\theta + \frac{\beta^2}{\theta^2} - \dots \right) \quad (1)$$

où R_{θ} - résistance des thermistors à la température θ ;

R_0 - résistance des thermistors à la température initiale θ_0 ;

θ - température à un moment donné;

b – coefficient qui dépend du matériau ($b = 0,03$ à $0,06 \text{ deg}^{-1}$);

β - coefficient qui dépend de la température (facteur de proportionnalité).

$$\beta = \frac{1}{R_0} = \frac{dR_0}{d\theta} = -\frac{b}{\theta^2} \quad (2)$$

Le coefficient β est négatif. Il dépend fortement de la température, étant environ 10 fois plus élevé que celui des thermorésistances .

L'application est généralement - 70 °C à + 300 °C.

MESURE DE LA TEMPERATURE AVEC DES THERMOCOUPLES

Les matériaux qui mis ensemble présentent un effet Seebeck forment un thermocouple. Dans un fil métallique dont les extrémités ont des températures différentes $T_A > T_B$ se produit une différence de potentiel électrique U_{AB} provoquée par le fait que les électrons de conduction de l'extrémité avec une température plus élevée ont une énergie cinétique plus élevée et se propageront vers l'extrémité plus froide. De cette façon, l'extrémité chaude aura une charge positive et l'extrémité froide du fil sera chargée négativement. Notez que si les porteurs mobiles de charge sont des trous, charges positives, alors l'extrémité chaude aura une charge négative et l'extrémité froide une charge positive.

C'est la raison pour laquelle l'effet thermoélectrique ou effet Seebeck est utilisé pour déterminer le type de porteurs de charge libres dans un semi-conducteur. La tension thermoélectromotrice (t_{tem}) qui apparaît U_{AB} est directement proportionnelle à la différence de température entre les extrémités du fil: $U_{AB} = V_A - V_B = S \cdot (T_A - T_B)$ (1)

où S est le coefficient Seebeck, une propriété de la matière dont le fil est exécuté.

La solution du problème était de prolonger les thermoélectrodes par d'autres conducteurs de la même nature, en général même du même matériau. De cette façon, au contact entre les fils du thermocouple et les conducteurs de prolongement, la formation d'un thermocouple n'est pas possible donc la force thermoélectromotrice n'apparaît pas.

Ces fils sont appelés câbles de compensation et sont complètement distincts du thermocouple, la connexion étant exécutée seulement au montage du thermocouple.

La fonction du câble de compensation est de déplacer la soudure froide de la proximité de la température maximale dans un lieu à une température constante.

La soudure froide va se former à la connexion entre le câble de compensation et le câble de raccordement. Les thermocouples sont exécutés de différents métaux ou alliages.

La tension thermoélectromotrice des différents thermocouples dépend du matériau dont les thermoélectrodes sont exécutés de même que de la température des soudures chaude et froide.

La relation entre la température et la force thermoélectromotrice peut être exprimée par une équation du second degré: $E = a + bt + ct^2$

où E est la force thermoélectromotrice résultante, lorsque t est la température de la soudure chaude et la température de la soudure froide est constante (généralement 0°C) et a , b et c sont trois constantes dont les valeurs sont déterminées par la mesure de la tension thermoélectromotrice à des températures fixes connues (température de solidification de l'antimoine, de l'argent et de l'or). La valeur des constantes a , b et c ne dépend que de la matière des thermoélectrodes. Les courbes représentant la relation entre la température et la tension thermoélectromotrice sont appelées des courbes internationales.

Chaque type de thermocouple possède sa propre courbe internationale.

4.3.PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE

L'énergie interne U d'un système thermodynamique est une grandeur d'état dont la variation ΔU est égale à la différence entre la chaleur Q et le travail W changés par le système avec l'extérieur :

$$\Delta U = Q - W = U_2 - U_1$$

Pour les systèmes fermés qui n'échangent pas de substances avec le milieu, la relation est: $\Delta U = U_2 - U_1 = Q - W$

où $\Delta U = U_2 - U_1$ est la variation de l'énergie interne du système dans le processus de l'état 2 à l'état 1.

Q est la chaleur reçue ($Q > 0$) ou chaleur cédée ($Q < 0$) par le système, est le travail effectué par le système ($W > 0$) ou travail effectué sur le système ($W < 0$).

Pour les systèmes thermodynamiques ouverts, l'expression du premier principe de la thermodynamique est:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = Q - W + T$$

Où T est l'énergie du système de transport reçue ou transmise par l'échange des particules avec le milieu.

Si le processus thermodynamique est élémentaire, ou infinitésimal, on écrit: $\delta U = \delta Q - \delta W + \delta T$

Nous avons noté δQ , δW et δT pour souligner que ce sont des grandeurs élémentaires, de processus, ils ne sont pas différentiel total exactes.

Pour les systèmes thermodynamiques fermés :

Pour $N = \text{const.}$ on peut écrire $dU = \delta Q - \delta W$

Pour les processus thermodynamiques qui sont cycliques on peut écrire:

$$dU = 0, \delta Q - \delta W = 0, \delta W = \delta Q$$

Cette égalité conduit à la conclusion qu'il est impossible d'obtenir une machine thermique qui pourrait effectuer un travail mécanique dans un processus cyclique, sans recevoir de la chaleur de l'extérieur [un perpetuum mobile de premier case I].

Puisque l'énergie interne U est une fonction d'état, dU est un différentielle totale exact on peut écrit:

$$\oint dU = 0$$

Nous pouvons dire que l'énergie interne U caractérise la réserve d'énergie d'un système thermodynamique, qui - en principe - peut être transférée sous forme de chaleur ou par travail mécanique. Pour les systèmes thermodynamiques situés dans les champs électriques ou magnétiques qui sont polarisés ou magnétisés.

Pour la polarisation de l'unité de volume d'un diélectrique homogène, situé dans un champ électrique avec l'intensité E , le travail mécanique effectué est $\Delta W_p = E dP$

où P est le vecteur de polarisation qui dépend de l'intensité du champ électrique E et de la température T

$$P = P(E, T) = D - \epsilon_0 E = \epsilon_0 (\epsilon_0 - 1) E = \lambda_e(T) \cdot \epsilon_0 E$$

où $\lambda_e(T) = \epsilon_r(T) - 1$ est la susceptibilité électrique de la substance.

Le travail effectué pour la magnétisation de l'unité de volume d'une substance magnétique isotrope est :

$$\delta W_m = H dM$$

où H est l'intensité du champ magnétique et M est la magnétisation :

$$M = M(H, T) = B - \mu_0 H = \mu_0 H (\mu_r - 1) = \lambda_m(T) \mu_0 H$$

où $\lambda_m(T)$ - de la susceptibilité magnétique de la substance.

Ainsi, un système thermodynamique simple, situé dans les champs électriques et magnétiques à l'extérieur peut être considéré comme un système caractérisé par trois forces généralisées:

$$F_1 = p, F_2 = E, F_3 = H$$

Les trois coordonnées généralisées sont: $x_1 = V$, $x_2 = p$, $x_3 = M$

et le travail mécanique est: $\delta W = \sum F_i x_i = p.dV + H.dp + H.dM$

Si μ_j est le potentiel chimique par rapport à une seule molécule, et N_j est le nombre de molécules du composant j dans le système, alors il en résulte que le potentiel chimique est une force généralisée et le nombre de molécules peut être interprétée comme une coordonnée généralisée: $\delta T = \sum \mu_i.dN_i$

4.4.LE DEUXIÈME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE

FORMULATION DE THOMSON

Dans une transformation monotherme cyclique le système ne peut pas transférer le travail mécanique à l'extérieur. Si la transformation monotherme cyclique est aussi irréversible, le système reçoit du travail mécanique de l'extérieur.

FORMULATION DE CLAUSIUS

Il est impossible de réaliser un moteur qui fonctionne sur un processus cyclique qui ne produit aucun autre effet que le transfert de la chaleur d'un corps plus froid à un autre plus chaud.

FORMULATION DE KELVIN

Il est impossible de réaliser un processus cyclique qui ne produit aucun autre effet que l'extraction de la chaleur d'un réservoir et sa transformation en travail mécanique.

Ou: "il n'existe pas de moteur fonctionnant de manière cyclique à partir d'une seule source de chaleur."

FORMULATION DE CARATHÉODORY

À proximité de tout état d'équilibre thermodynamique d'un système il existe des états qui ne peuvent être atteints par un processus adiabatique.

LE DEUXIEME PRINCIPE DU POINT DE VUE DE LA STATIQUE:

Dans un système isolé les processus surviennent dans le sens d'augmentation de la probabilité thermodynamique de c'est -à-dire d'états plus ordonnée par plus désordonnée .

LE DEUXIEME PRINCIPE EN UTILISANT L'ENTROPIE:

Dans une transformation réversible élémentaire, le rapport entre la chaleur échangée et la température thermodynamique de la source est une différentielle totale qui par définition est l'entropie : $\Delta S = \Delta Q / T$

La formulation du second principe de la thermodynamique pour les processus irréversibles ou loi de la croissance de l'entropie

L'entropie d'un système isolé ne peut être jamais décroissante: $\Delta S > 0$ ou $S_B - S_A > 0$

4.5.LA TROISIÈME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE

FORMULATION du troisième PRINCIPE de la thermodynamique:

l'entropie absolue du système thermodynamique tend vers zéro lorsque la température absolue tend vers zéro Kelvin.

FORMULATION du troisième PRINCIPE de la thermodynamique ou le Théorème de Nernst : l'isotherme de zéro absolu coïncide avec l'adiabatique .

Les données expérimentales ont conduit à la conclusion que l'entropie des systèmes thermodynamiques tend vers une valeur constante lorsque la température absolue T tend vers zéro absolu.

Max Planck a postulé que pour T tend vers 0 K, l'entropie tend vers zéro: l'entropie absolue d'un système thermodynamique tend vers zéro lorsque la température absolue tend vers 0 K:

Ce rapport est l'un des énoncés éventuels du troisième principe de la thermodynamique.

CONSÉQUENCES DU TROISIÈME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE

1. Peu importe le processus effectué par un système thermodynamique, sa capacité calorifique s'annule avec la température absolue .

$$\lim_{T \rightarrow 0K} C = \lim_{T \rightarrow 0K} \left(T \frac{\partial S}{\partial T} \right) = \lim_{T \rightarrow 0K} \left(T \frac{\partial S}{\partial \ln T} \right) = 0$$

En particulier, pour obtenir $\lim_{T \rightarrow 0K} C_v = \lim_{T \rightarrow 0K} \left(T \frac{\partial S}{\partial \ln T} \right) = 0 ; \lim_{T \rightarrow 0K} \left(T \frac{\partial S}{\partial \ln T} \right) = 0$

Cela signifie que la température $T \rightarrow 0K$ l'équation thermique d'état des gaz parfait n'est pas valable non plus.

2. On peut montrer que pour $T \rightarrow 0K$, le coefficient de dilatation thermique α et le coefficient thermique de la pression β tend vers zéro.

Par exemple, pour $T \rightarrow 0K$, les solides ne sont plus compressibles.

3. $T \rightarrow 0K$, l'entropie du système ne peut être modifiée par une action, d'où une autre formulation du troisième principe de la thermodynamique; « L'isotherme zéro absolu coïncide avec l'adiabatique".

4. La signification physique de l'annulation de la capacité calorifique à $T = 0 K$ est: « La température de 0K représente l'état dans lequel le système ne peut plus donner de chaleur étant donné que l'état d'énergie minimale est atteint."

5. Par conséquent, la validité du troisième principe de la thermodynamique conduit à la conclusion que; La température 0 K est fondamentalement inaccessible.

4.6. APPLICATIONS DU PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE EN BIOPHYSIQUE

On montré expérimentalement que:

-Dans les phénomènes qui se produisent dans une seule forme d'énergie, la quantité d'énergie est conservée .

- Dans les phénomènes qui transforment une forme d'énergie en une autre, la transformation est faite dans des quantités équivalentes.

En 1842 - 1850 R. Mayer, J.Joule et H.Helmholtz constatent que chaque fois que le travail effectué par un système est transformé en chaleur, ou vice versa, entre ces formes d'énergie, il existe une équivalence, et il est fait la détermination de l'équivalent mécanique de la calorie . Il existe une relation quantitative entre les différents types d'énergie pris en compte.

Sur la base du premier principe de la thermodynamique on a pu formuler une loi générale de la conservation de l'énergie, selon laquelle l'énergie ne peut être créée ni détruite, elle peut seulement se transformer d'une forme à l'autre dans des quantités équivalentes. Par conséquent, le premier principe de la thermodynamique a été appelé le principe de conservation de l'énergie.

Ce principe montre l'existence d'un paramètre d'état caractéristique à tout système appelé par Clausius (1850) l'énergie interne du système U , qui est un paramètre qui dans chaque état du système a une valeur déterminée. Ce paramètre exprime la capacité du système à effectuer des actions de toute nature (mécanique, osmotique, chimique, électrique).

Si le système a des échanges d'énergie avec l'extérieur, son énergie interne varie d'un montant égal à la somme de tous ces échanges.

Lorsque il y a une variation de l'énergie du mouvement désordonné (agitation thermique) des molécules ou des énergies d'interaction (désordonnés) de molécules , le système échange la chaleur avec l'extérieur Q , lorsqu'il y a une variation de l'énergie du mouvement ordonné d'une série de molécules du système, le système échange le travail mécanique W avec l'extérieur, de sorte que se produise des déplacements au l'échelle macroscopiques .

Lorsque les réactions chimiques se produisent dans le système, l'énergie interne varie en raison des réactions qui se produisent, elles se reflètent à l'extérieur par un échange de travail ou un échange de chaleur.

Dans les cas des organismes vivants qui sont des systèmes ouverts le transfert d'énergie entre le système et le milieu est assuré aussi par l'échange de substance.

Avec l'échange de molécules sont transférées toutes les formes d'énergie associées avec elles.

La variation d'énergie interne ΔU d'un système biologique, à transition d'un état à un autre sera donnée par la somme algébrique de la quantité de chaleur Q et toutes les formes de travail W_m - mécanique, W_o - osmotique, W_c – chimique, échangées de ce système avec le milieu , c'est-à-dire que:

$$\Delta U = Q + W_m + W_c + W_o + \dots$$

On fait la convention en biophysique et dans l'équation (1) comme suit:

- le (+) se réfère à la quantité de chaleur et de travail qui est reçue par le système biologique et
- le (-) se réfère à la quantité de chaleur et de travail qui est perdue par le système biologique.

La relation (1) représente une formule générale pour le premier principe de la thermodynamique à partir de laquelle sont dérivées toutes les équations de conservation de l'énergie pour les différents systèmes.

Les organismes vivants sont des systèmes dont l'énergie interne peut augmenter ou diminuer en fonction de diverses conditions (âge, état physiologique, etc.).

Pour une application correcte du premier principe de la thermodynamique pour les organismes vivants, on doit garder à l'esprit que les systèmes biologiques sont des systèmes ouverts, de sorte que la conservation de l'énergie ne se pose que pour le système fermé constitué de l'organisme avec son milieu.

La loi de la conservation de l'énergie pour les organismes vivants est comme suit:

$$E_m = W + Q + E_d \quad (1)$$

S'il est appliqué à un organisme, le premier principe de la thermodynamique se met sous la forme suivantes :

$$E_m = W + Q + E_d \quad (2)$$

où E_m est l'énergie provenant de l'environnement

W est le travail effectué par l'organisme

Q est la chaleur dégagée par l'organisme

E_d est l'énergie stockée dans les réserves de l'organisme

Si les animaux à sang froid peuvent obtenir de l'énergie sous forme de chaleur, le processus est simplifié si les corps sont au repos, donc un travail mécanique n'est pas effectué ($W = 0$) et l'organisme n'a pas mangé depuis au moins 12 heures, c'est-à-dire qu'il ne prend pas d'énergie à partir de l'environnement ($E_m = 0$).

Dans ces conditions, on peut écrire: $0 = Q + E_d$ - (3)

La relation ci-dessus montre que l'organisme produit de la chaleur au détriment de ses propres réserves d'énergie qui sont diminuées par l'utilisation: $Q = -E_d = E_u$ (4)

E_u est l'énergie utilisée par l'organisme.

La détermination de la production de chaleur dans le corps humain, dans ces conditions extrêmes mentionnés ci-dessus, constitue le test clinique du métabolisme de base qui définit la valeur de référence à laquelle se rapporte l'effet de divers facteurs qui influent sur le métabolisme énergétique.

La principale source d'énergie pour vivre dans le monde est le rayonnement solaire.

Il a été calculé qu'il est 9.10^{22} kcal / s, dont seulement une très petite partie $\{1/(2.10^9)\}$ est sur la surface de la terre et seul un faible pourcentage de celui-ci est capté par les plantes et utilisé pour synthétiser a partie du soleil, du dioxyde de carbone, l'eau minéraux et les substances organiques riches en énergie (biosynthèse).

Ces substances organiques constituent la source d'énergie pour les organismes hétérotrophes qui comprennent aussi l'homme.

Après que l'homme primitif a commencé à utiliser la nourriture animale, entre les humains et les plantes vertes s'est interposé un autre stade de la consommation d'énergie, de sorte que l'efficacité énergétique est plus faible.

Suite à des recherches de conclure que, en général, la transformation des denrées alimentaires d'origine végétale en aliments d'origine animale implique une perte d'énergie de 80-90%.

Mais la protéine animale est un aliment supérieur qualitativement aux produits végétaux.

4.7. APPLICATIONS DU DEUXIÈME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE EN BIOPHYSIQUE

Si un système effectue un travail mécanique, électrique ou osmotique en diminuant son énergie cinétique d'une quantité ΔU , le travail effectué, $-W$ est inférieur à ΔU parce qu'une partie de l'énergie interne se transfère dans la chaleur l'énergie Q . Cette énergie "dégradée" est égale au produit de la température absolue T du système et par l'augmentation ΔS d'un paramètre d'état, appelée entropie du système.

Si le premier principe de la thermodynamique a utilisé le paramètre d'état de tous système appelée énergie interne (U), Principe II introduit un nouveau paramètre qui caractérise chaque état d'un système appelé l'entropie (S), dont la particularité est que par tout processus spontané il augmente.

Par conséquent, le deuxième principe de la thermodynamique a également appelé la loi de l'entropie croissante.

Si le système est isolé son entropie augmente au fil du temps, l'évolution du système allant vers le maximum d'entropie, où toute l'énergie interne du système a été convertie en chaleur et ne peut plus être convertie en travail utile.

Il en résulte que de l'énergie interne U d'un système à la température T , ne peut être convertie en travail mécanique qu'une partie, qui est appelée l'énergie libre du système F : $F = U - TS$ (5)

APPLICATIONS DU DEUXIÈME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE EN BIOPHYSIQUE POUR LES SYSTEMES ISOLÉS

Dans les systèmes isolés où l'énergie interne U est constante l'augmentation de l'entropie implique de toute évidence, la diminution de l'énergie libre selon les relations ($F = U - TS$):

$$\Delta F = \Delta U - T \cdot \Delta S$$

$$U = \text{constant}; \Delta U = 0$$

$$\Delta S > 0 \rightarrow \Delta F = T \cdot \Delta S < 0 \quad (6)$$

Donc le deuxième principe de la thermodynamique pose que par tous processus qui se produisent dans un système isolé son énergie libre F diminue et son entropie S augmente.

Comme indiqué dans le premier principe de la thermodynamique la variation de l'énergie interne ΔU est donnée par: $\Delta U = Q - W$ (7)

qui se compose de deux termes:

Q représente l'échange de chaleur (la chaleur reçue) avec l'extérieur en raison du mouvement désordonné des molécules.

W représente l'échange de travail mécanique (ou un autre type de travail) en raison du mouvement macroscopique ordonné dans le cas d'une variation du volume due aux pressions externes d'une variation de la surface en raison des tensions de surface, du transport de charge électrique dû à une différence de potentiel (dans la relation (7) W est négatif).

Si dans l'équation (7) Q est la quantité de chaleur absorbée par le système et W est considéré comme le travail mécanique W en raison de variation de volume ΔV ,

$$\text{Alors la relation devient } \Delta U = Q - p \cdot \Delta V \quad (8)$$

Au cours des transformations chimiques en l'absence de travail mécanique et à volume constant, la variation d'énergie interne donnée par la relation (8) devient: $\Delta U = Q$

Dans ce cas, Q est la quantité de chaleur résultant de l'effet thermique isochore (à volume constant). Cette quantité de chaleur est mesurée en utilisant une bombe calorimétrique complètement étanche où se produisent les réactions chimiques.

APPLICATIONS DU DEUXIÈME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE EN BIOPHYSIQUE POUR LES SYSTÈMES OUVERTS

Dans le cas des processus biologiques qui se produisent dans l'atmosphère libre sous pression constante, processus appelés pour cette raison isobares, il est utile d'utiliser à la place de l'énergie interne (U) la grandeur appelée enthalpie : $H = U + pV$ (9)

Variation d'enthalpie est:

$$dH = dU + p.dV + V.dp \quad (10)$$

$$dW = p.dV \text{ travail effectué par le système.}$$

On prend en compte de relation : $dU = dQ + p.dV$

$$\text{alors l'équation (10) devient } dH = dQ + V.dp \quad (11)$$

Dans les processus biologiques $dp = 0$, l'équation (11) devient $dH = dQ$, ce qui signifie que la variation de l'enthalpie est mesurée par effet thermique isobare du processus.

La quantité de chaleur (variation de l'enthalpie) isobare obtenue par la combustion de diverses substances biochimiques est à peu près la même pour les aminocides, les protéines et les hydrates de carbone, mais elle est environ 3 fois plus grande pour les lipides, ce qui explique la fonction des réserves énergétiques des graisses dans l'organisme.

Le paramètre d'État qui mesure la capacité réelle d'un système de faire le travail à pression constante est **l'enthalpie libre G défini par l'équation: $G = H - T.S$** (12)

Ce paramètre thermodynamique montre quelle partie de l'énergie interne d'un système peut être transformée en travail mécanique à pression constante,

G est aussi appelée énergie libre de Gibbs.

Dans les processus biologiques qui sont isobares, la possibilité d'obtenir une quelconque forme de travail mécanique, osmotique, électrique est exprimée par la variation d'enthalpie libre au cours du processus.

Les paramètres thermodynamiques sont définis ici sont :

L'énergie interne (U),

L'énergie libre (F),

L'enthalpie (H),

L'enthalpie libre (G)

L'entropie (S)

sont des grandeurs physiques largement utilisés pour caractériser les états et les transformations de tout système, notamment des systèmes biologiques et écologiques.

La DEUXIÈME PRINCIPE de la thermodynamique montre que par tout processus qui se produit dans un système isolé son énergie et l'entropie libre F et son entropie S augmente.

Si le processus est quasi-statique ou irréversible le système peut être restauré à son état initial dans l'environnement extérieur sans changement et que le système a reçu le montant de de chaleur dQ_{rev} maintenant à une température constante T, alors l'entropie du système augmente de : $dS = [(dQ_{rev}) / T]$ (13)

Si le processus est non-statique ou irréversible (le système ne peut pas être restaurée à son état initial sans changement dans l'environnement pour produisent des changements) dans la chaleur et une partie de l'énergie libre du système.

Si le processus est non statique ou irréversible, le système ne peut pas être restauré à son état initial sans changement dans l'environnement et que le système ait reçu le montant de dQ_{rev} de chaleur, avec le maintien de la température T , l'entropie du système augmente avec: $dS > [(dQ_{rev}) / T]$ (14)

L'entropie du système augmente à la suite de n'importe quel processus seulement si le système est isolé. Ceci est l'énoncé du deuxième principe de la thermodynamique classique, qui a étudié seulement les systèmes isolés.

Dans les systèmes ouverts, tels que les organismes vivants, l'entropie peut même être diminuer dont à la condition qu'elle augmente dans le milieu.

Si un organisme vivant se voit attribuer un milieu limité, l'ensemble l'organisme – milieu peut être considéré comme un système isolé du reste du milieu et au système isolé peut être appliqué deuxième principe de la thermodynamique

La notion d'entropie a été introduit en 1865 par Clausius. La signification physique de la notion d'entropie a été introduite par Boltzmann qui a lié cette notion de la structure interne du système (moléculaire ou atomique).

Il est connu qu'un système se trouve dans l'un des états macroscopiques, bien que certaines parties composants (molécules ou atomes) soient disposés différemment les uns des autres.

Si N indique le nombre de dispositions des parties d'un système, correspondant à un état macroscopique du système et S l'entropie thermodynamique du système dans cet état, alors, selon la

relation établie par Boltzmann: $S = k \cdot \ln N$ (15)

où k est la constante k de Boltzmann $= 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J / K}$.

où l'entropie S du système est directement proportionnelle au logarithme naturel du nombre N de dispositions des parties composantes du système.

Si l'ordre du système augmente, le nombre de liaisons entre les molécules du système augmente aussi. En conséquence, les molécules peuvent se disposer en moins de configurations et donc la valeur de N diminue, ce qui diminue aussi l'entropie S du système. Si l'ordre croissant du système est un moyen de diminution de l'entropie du système, à l'inverse, une perturbation du système permettra un plus grand nombre d'arrangements des molécules, ce qui signifie une augmentation de l'entropie.

En conclusion, nous pouvons dire que deuxième principe de la thermodynamique est une loi générale de la nature qui pose que:

Tous les processus qui se produisent dans les systèmes isolés se déroulent dans le sens de l'augmentation de l'entropie de ces systèmes, c'est –à-dire dans le sens de la diminution du degré de leur organisation. Le déroulement de ces processus se produit dans le sens de la baisse de la capacité de système d'effectuer un travail mécanique (la baisse de l'énergie libre).

Selon ce principe, pour un système isolé, une diminution de l'entropie est considéré comme un phénomène hautement improbable.

L'interprétation physique du deuxième principe de la thermodynamique est la suivantes de la diminution de l'entropie et s'ensuivrait que l'ordonnance du systèmes resterait constant ou augmenterait.

Dans les organismes vivants, les aliments qui présentent un état d'énergie relativement faible sont transformés en substances ayant un contenu énergétique plus élevé et l'état structurel plus ordonné. Cela contredit le deuxième principe de la thermodynamique à première vue.

Après la formulation du principe de l'augmentation de l'entropie, considéré comme valide pour tous les processus a été noté le comportement diamétralement opposé des organismes et du monde vivant dans son ensemble, dont l'évolution va dans le sens de l'augmentation de la complexité structurelle et la diversification des fonctions, donc de la diminution de l'entropie.

Le DEUXIÈME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE ne décrit pas correctement la situation des organismes vivants qui, pendant au moins une partie de leur vie développent et compliquent leur structure en synthétisant des macromolécules complexes en les organisant dans une architecture supramoléculaire bien définie.

Le DEUXIÈME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE sous forme classique s'applique seulement aux systèmes isolés (pas d'échange de substance avec l'environnement), tandis que les systèmes biologiques sont des systèmes ouverts, de sorte que Le DEUXIÈME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE sous forme classique ne peut pas être appliqué aux systèmes biologiques.

E. Schrödinger a montré que les principes de la thermodynamique ont été formulés avant que les systèmes biologiques aient étudiés en profondeur. Par conséquent, Schrödinger recommande la prudence dans l'application des principes de la thermodynamique pour les organismes vivants qui sont des systèmes ouverts dans lesquels se produisent aussi des processus irréversibles.

Dans un système sans échange de substances avec l'environnement, les processus qui s'y produisent sont limités par le nombre de substances disponibles dans le système qui peuvent entrer dans les réactions réciproques, et lorsque la réaction est terminée, il ya un état d'équilibre, caractérisé par la constance dans le temps les propriétés du système. Conditions thermodynamiques de cet équilibre thermodynamique résultent de l'énergie libre minimale du système et de la valeur maximale de l'entropie.

Dans un système ouvert, il existe une entrée et une sortie des substances en continu.

Au lieu de l'équilibre thermodynamique du système caractérisé par la vitesse des réactions chimiques et la diffusion qui doit être constante.

L'État d'équilibre thermodynamique et l'état stationnaire se ressemblent par le fait que le système maintient en permanence ses propriétés.

Dans un État d'équilibre thermodynamique il n'intervient aucune variation de l'énergie libre, lorsque l'énergie libre tandis que dans une état stationnaire varie à une vitesse constante, à savoir: $(dF) / (dT) = 0$

Pour un organisme vivant il peut y avoir un nombre illimité d'états stationnaires en fonction des conditions intérieures et extérieures du système.

Dans l'état stationnaire d'une système ouvert, l'entropie reste constante mais sa valeur diffère de la valeur maximale.

L'état d'équilibre ou stationnaire est maintenu parce que le système reçoit en permanence de l'énergie libre de l'environnement à savoir, un montant qui compense à la limite la variation de l'énergie libre du système.

Pour un système qui n'a pas d'échanges de substance avec l'environnement dans le cas de l'équilibre thermique, l'entropie reste constante dans le temps, à savoir sa variation dans le temps est égale à zéro: $(dS) / dt = 0$

Pour un système ouvert l'entropie augmente généralement dans le temps, à savoir: $(dS) / dt > 0$

Mais l'entropie des systèmes ouverts peut aussi diminuer s'il cèdent de l'entropie au milieu extérieur.

La formule de Prigogine de la variation par unité de temps de l'entropie d'un système ouvert est la suivante:

$$[(dS) / dt] = [(dS_i) / dt] + [(dS_e) / dt]$$

où

- $[(dS_i) / dt]$ est la variation de l'entropie par unité de temps résultant des changements dans le système (dans les processus irréversibles)
- $[(dS_e) / dt]$ est la variation de l'entropie par unité de temps résultant de l'interaction du système avec l'extérieur. La grandeur peut être positif ou négatif. Est négative en raison de

l'importation de l'entropie négative externe, ce qui est équivalent à la situation où le système donne de l'entropie dans l'environnement .

Si $[(dSE) / dt]$ dépasse en valeur absolue le terme $[(dSI) / dt]$ alors l'entropie du système diminue.

Dans la formulation devenu célèbre Schrödinger a indiqué: les organismes vivants "évitent" l'augmentation de leur entropie, en prenant de l'environnement extérieur de l'entropie négative. Cela signifie que les organismes reçoivent de l'énergie libre externe, soit sous forme d'énergie rayonnante si les plantes sont photosynthétisantes soit sous forme d'énergie chimique stockée dans les aliments pour animaux et que les écosystèmes éliminent les déchets de l'activité métabolique supplémentaire (produits de l'assimilation et de la chaleur).

Selon la théorie de Schrödinger, les animaux se nourrissent d'énergie négative.

Les substances prises à l'extérieur, telles que le glucose ($S = 50,7 \text{ kcal / mol.K}$) oxygène ($S = 48,9 \text{ kcal / mol.K}$) ont une entropie plus faible que les substances résultant de l'oxydation des substances organiques: CO_2 ($S = 49,0 \text{ kcal / mol.K}$) et l'eau ($51,1 \text{ kcal / mol.K}$). Ainsi l'entropie d'un système ouvert peut non seulement augmenter, mais également à diminuer.

La diminution de l'entropie est très lente et serait due au fait que l'énergie libérée dans les processus métaboliques est consommée par les systèmes biologiques.

La diminution de l'entropie au cours de l'évolution d'un organisme a comme résultat un degré plus élevé d'organisation dans cet organisme en raison de l'importation de substance et d'énergie externe de l'entropie négative

Il peut y avoir des processus dont certains accompagnés d'une diminution de l'entropie et 'autres de sa croissance, de sorte que la variation totale d'entropie dans ledit espace soit positive. Un tel couplage se trouve dans de nombreux processus irréversibles qui se produisent dans le monde vivant et le monde inanimé.

Des recherches récentes montrent que la voie de la production d'énergie dans les cellules tumorales est modifiée. Dans la cellule normale prédomine le processus de production d'énergie en voie aérobie qui a un rendement plus élevé.

Dans les cellules tumorales prédomine la glycolyse anaérobie , dont le rendement est faible.

Énergétique des Cellules tumorales ressemble avec l'Énergétique des Cellules embryonnaires. Il reste à étudier dans le futur le changement de l'énergétique cellulaire dans des conditions pathologiques.

La Thermodynamique des processus irréversibles ne comprend jusqu'à présent que de petits écarts à l'équilibre thermodynamique.

La théorie des systèmes ouverts est appliquée aux phénomènes d'adaptation et à de nombreux problèmes de la physiologie et de la biochimie des microorganismes.

La Thermodynamique des systèmes ouverts offre de nouveaux points de vue à la biophysique pour examiner les systèmes biologiques.

Il est prévu que de nombreux phénomènes inexplicables trouveront la bonne explication, avec le développement de la thermodynamique biologique dans l'étude des systèmes biologiques:

- principes unificateurs de la thermodynamique avec la théorie de l'information;
- interactions médicamenteuses avec les systèmes biologiques;
- influence des facteurs physiques de milieu sur les systèmes biologiques;
- phénomènes de croissance, vieillissement, et les phénomènes de pathologie maligne.

4.8. CALCUL DU TRAVAIL MECANIQUE, DE LA CHALEUR ET DE LA VARIATION DE L'ENERGIE DANS LES PROCESSUS THERMODYNAMIQUES SIMPLES

CAS GÉNÉRAL

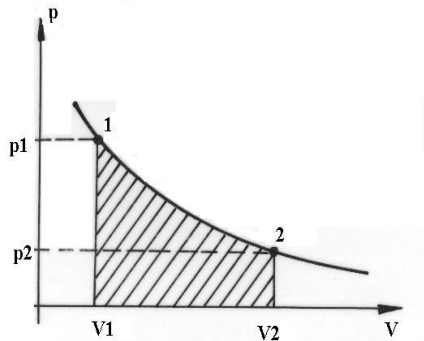
Le travail en thermodynamique est calculé en utilisant la formule: $W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p.dV = A_{12V_2V_1}$

p- est la pression du gaz considéré;

dV est la variation de volume élémentaire;

W_{12} est le travail du 1 au 2

$A_{12V_2V_1}$ est la zone formée par la courbe de la pression de 1-2, les perpendiculaires descendues de l'état initial à l'état final sur l'axe des deux volumes.



Quand $p=\text{const}$ nous avons: $W_{12} = p.\Delta V = p(V_2 - V_1) = A_{12V_2V_1}$

Variation de l'énergie interne: $\Delta U = \nu C_V \Delta T$

ν est la quantité de substance;

C_V est la chaleur molaire isochore;

ΔT est la variation de la température à partir de l'état initial à l'état final

Cette forme d'expression est valable pour tout type de transformation.

la chaleur : $Q=\Delta U+W$

TRANSFORMATION POLYTROPIQUE: $p.V^n = \text{const}$

LE TRAVAIL

Dans une transformation polytropique, le volume de gaz idéal varie de V_1 à V_2 ,

Le travail effectué par un gaz parfait est

$$W_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p_1 V_1^n \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^n} = \frac{p_1 V_1^n}{n-1} \left[V^{-n+1} \right]_{V_1}^{V_2}$$

$$\text{Ou : } W_{1-2} = \frac{p_1 V_1^n}{n-1} (V_2^{1-n} - V_1^{1-n}) = \frac{1}{n-1} [p_2 V_2^{1-n} V_2^n - p_1 V_1^{1-n} V_1^n] = \frac{1}{n-1} [P_2 V_2 - p_1 V_1]$$

$$\text{Ou : } W_{1-2} = \frac{1}{n-1} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{\nu \cdot R}{n-1} (T_2 - T_1)$$

Variation de l'énergie interne $\Delta U = \nu C_v \Delta T$

Chaleur reçue ou donnée des gaz parfaits pendant le processus de polytrophe.

Si c_v et c_p sont les chaleurs spécifiques molaires alors

$$Q_{1-2} = U_2 - U_1 + W_{1-2} = \nu c_v (T_2 - T_1) + \frac{\nu R}{n-1} (T_2 - T_1)$$

$$\text{Ou } Q_{1-2} = \nu c_v (T_2 - T_1) + \frac{\nu (c_p - c_v)}{n-1} (T_2 - T_1) = \nu c_v \frac{n-\gamma}{n-1} (T_2 - T_1)$$

TRANSFORMATION ADIABATIQUE : $pV^\gamma = \text{const.}$

Dans une transformation adiabatique $dQ = 0$ (pas d'échange de chaleur avec l'extérieur) a le coefficient polytropique de la forme $n = \gamma$, de sorte que le travail a la forme: $W_{1-2} = \frac{\nu R}{\gamma - 1} (T_1 - T_2)$

À partir des relations de liaison entre la chaleur molaire isochore, isobare et la constante universelle des gaz R : $C_p - C_v = \nu R$;

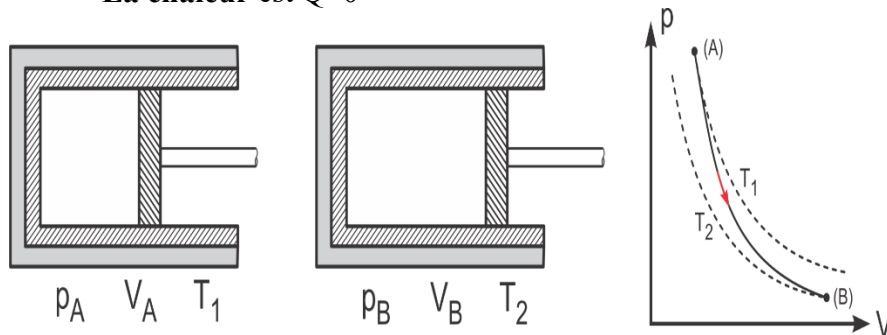
$$\frac{C_p}{C_v} = \gamma \text{ Coefficient adiabatique}$$

$$W_{1-2} = c_v(T_1 - T_2) = U_1 - U_2 = -\Delta U$$

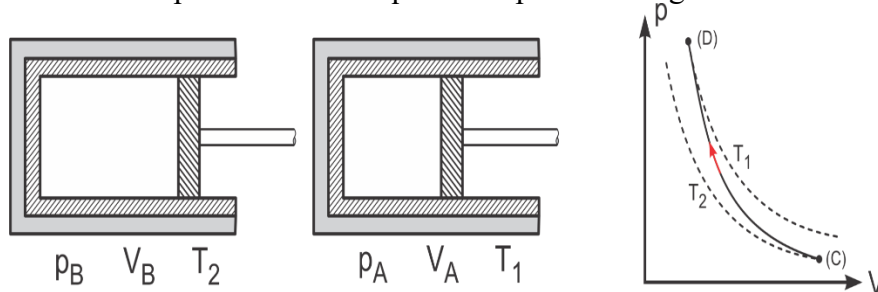
Dans les processus adiabatiques **le travail** effectué est le résultat de la diminution de la chaleur des gaz parfaits. $W_{1-2} = \frac{\nu R}{\gamma - 1} (T_1 - T_2)$

La variation de l'énergie interne est : $\Delta U = \nu C_v \Delta T$

La chaleur est $Q=0$



Pendant l'expansion adiabatique la température du gaz idéale baisse



Pendant la compression adiabatique la température du gaz idéale augmente



S.D. Poisson(1781 – 1840)

En pratique, il est impossible d'atteindre une transformation adiabatique parfaite (il est impossible d'éliminer l'échange parfait de chaleur avec l'environnement) et il est également difficile pour réaliser une transformation isotherme parfaite.

Dans la pratique, les transformations sont "polytrophe" (transformations intermédiaire entre les transformations isotherme et les transformations adiabatiques). Équation d'une transformation polytrophe

$$p_1 \cdot V_1^n = p_2 \cdot V_2^n = \text{const.}$$

de l'état initiale "1" à l'état finale "2") est: $(1 \leq n \leq \gamma)$

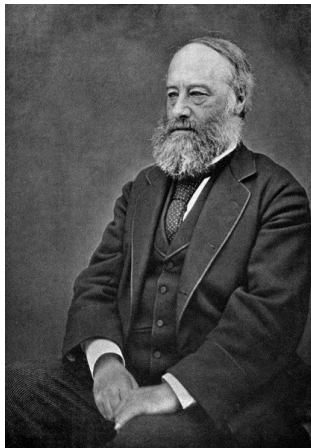
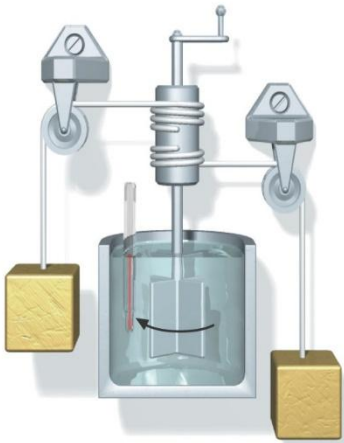
L'ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR

L'expression de la Quantité de Chaleur: cal & kcal introduite par Nicolas Clément

1 cal (« calorie gramme ») est la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'un gramme d'eau à partir de 4,5 °C à 5,5 °C

1 kcal (calories « grand » ou (« calorie kilogramme »)) est la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'un kilogramme d'eau de 5,5 °C à 4,5 °C

La quantité de chaleur est une forme d'énergie – Pour prouver et déterminer l'équivalence ont établi **1 cal = 4,18400 J**



James Prescott Joule (1818-1889)



Julius Robert von Mayer (1814-1878)

CAS PARTICULIER : TRANSFORMATION IZOTHERME ($T=\text{const.}$)

Dans une transformation isotherme $n = 1$ ($p.V = \text{const.}$),

$T=\text{const.}$ Et $\Delta T=0$

L'équation de transformation isotherme est $PV = \text{const} = P_1V_1 = P_2V_2$

LE TRAVAIL

Il est calculé par la formule

on remplace

LE TRAVAIL

Variation de l'énergie interne: $\Delta U = 0$

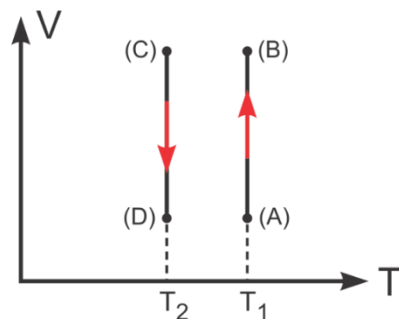
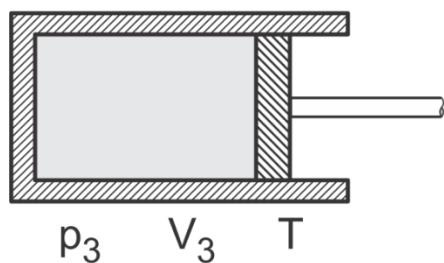
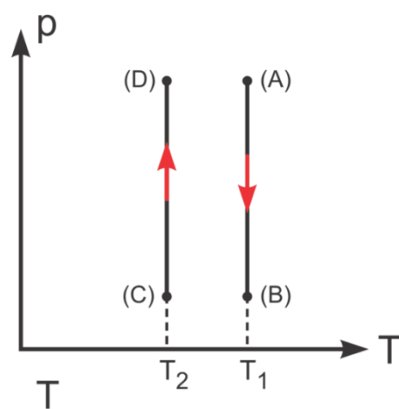
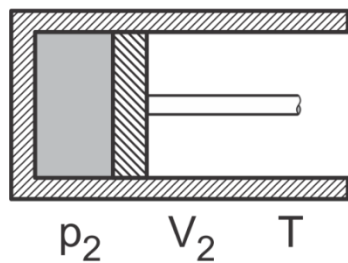
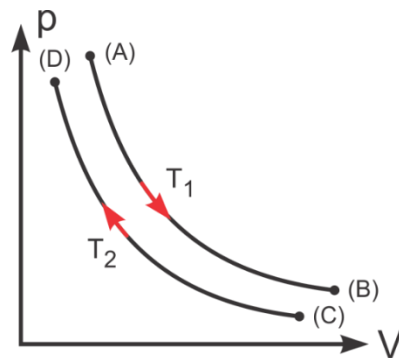
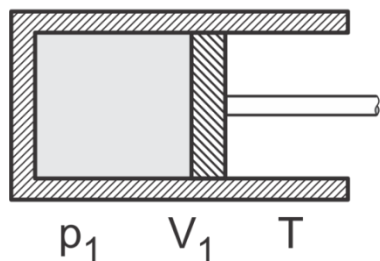
($\Delta U = v.C_v. \Delta T$ – la formule generale)

Parce que $\Delta T = 0$ – en raison d' une température constante, il n'existe aucune variation de température

Chaleur: on l' obtient ici du principe I de la thermodynamique : $Q = \Delta U + W$.

Parce que la variation d'énergie interne est nulle, la chaleur est égale au travail: $Q = W$

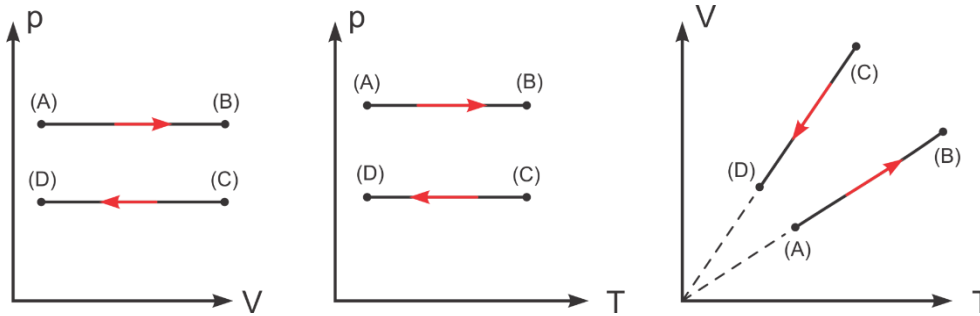
TRANSFORMATION IZOTHERME (T=CONST.)
LOI DE BOYLE-MARIOTTE



(A) → (B) Expansion isotherme (T_1)
 (C) → (D) Compression isotherme (T_2)
 $T_1 > T_2$

Loi de Boyle-Mariotte : $p_A \cdot V_A = p_B \cdot V_B$

TRANSFORMATION ISOBARE (P=CONST) – LOI DE CHARLES



(A) → (B) Chauffage isobare $\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B}$

(C) → (D) Refraîchissement isobare $\frac{V_C}{T_C} = \frac{V_D}{T_D}$

équation thermique de gaz d'idéal : $p \cdot V = \nu \cdot R \cdot T$
(Mendeleev – Clapeyron)

Transformation generale

$(p_A, V_A, T_A) \rightarrow (p_B, V_B, T_B)$ pour le gaz ideal

$$\frac{p_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{p_B \cdot V_B}{T_B}$$

R : constante universala a gazului ideal (*H.V. Regnault*)

$$R = 8,3144 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} ; R = 0,08205 \text{ l} \cdot \text{atm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Pour la **TRANSFORMATION ISOBARE** on suppose que **p = constante**

Donc, $p_2 = p_1$ et $n = 0$

Le travail est: **$W_{1-2} = p_1 (V_2 - V_1) = \nu R (T_2 - T_1)$**

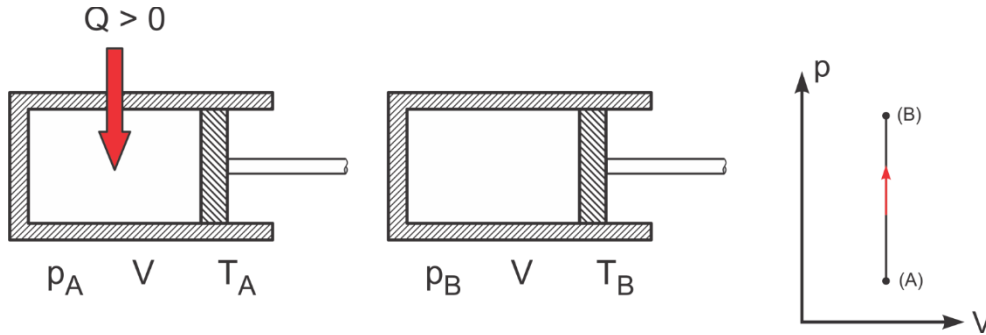
La variation de l'énergie interne est : $\Delta U = \nu C_V \Delta T$

La chaleur s'obtient ici du premier principe de la thermodynamique:

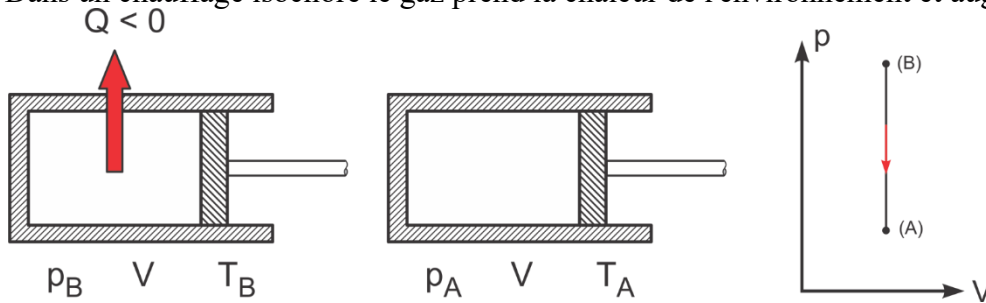
$$Q = \Delta U + W = \nu C_V \Delta T + \nu R \Delta T = \nu C_p \Delta T$$

TRANSFORMATION ISOCHORE ($V=\text{const}$) :

Loi de Gay-Lussac



Dans un chauffage isochore le gaz prend la chaleur de l'environnement et augmente la pression du gaz



Dans une refroidissement isochore le gaz donne à l'environnement la chaleur et réduit la pression de gaz

$$\frac{p_A}{T_A} = \frac{p_B}{T_B}$$

Pour la TRANSFORMATION isochore on suppose que $n = \pm\infty$

Pour la TRANSFORMATION isochore on suppose que $V=\text{const}$.

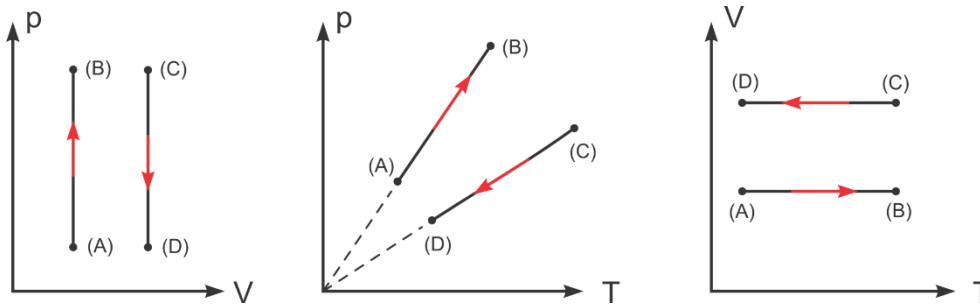
Le travail est $W_{1-2} = 0$ ($W = p \cdot \Delta V$, et $V = \text{const}$, $\Delta V = 0$)

Parce que le volume de l'état initial 1 coïncide avec celui de l'état final 2

La variation de l'énergie interne: $\Delta U = \nu C_V \Delta T$

La chaleur: on l'obtient ici du premier principe de la thermodynamique :

$$Q = \Delta U + W = \nu C_V \Delta T$$



(A) → (B) chauffage isochore $\frac{p_A}{T_A} = \frac{p_B}{T_B}$

(C) → (D) refroidissement isochore $\frac{p_C}{T_C} = \frac{p_D}{T_D}$

Dans une transformation isochore le gaz idéal n'effectue pas de travail mécanique sur l'environnement et l'environnement idéal n'effectue pas de travail mécanique sur le gaz idéal ($W = 0$).

Pour $1 < n < \gamma$, la chaleur spécifique c_n est négative.

Dans cette transformation, le gaz qui se dilate, effectue un travail mécanique supérieur à celui de la chaleur fournie par le gaz.

Pour effectuer un travail mécanique, le gaz consomme une partie d'énergie interne.

Ainsi pour l'indice polytropique n compris entre 1 et γ existe une transformation particulière qui se produit et le gaz se refroidit, mais il a reçu de la chaleur de l'extérieur.

- Pour les gaz diatomiques: $C_v = 5/2R$ et $C_p = 7/2R$
- Pour les gaz monoatomiques: $C_v = 3/2R$ et $C_p = 5/2R$

4.9.CALCUL DES POTENTIELS THERMODYNAMIQUES

ENTROPIE S

Les expériences réalisées avec le même système thermodynamique, par exemple un gaz parfait, montrent que:

Les isothermes ne se croisent pas;

Les adiabatiques ne se croisent pas;

Un adiabatique et un isotherme approprié ne se croisent que dans un seul point dans le plan (V, p) .

Tous ces résultats expérimentaux montrent que, entre les paires de paramètres (S, T) et (p, V) existe un raccordement sans équivoque.

À savoir, à une paire de valeurs p1, V1 correspond une seule paire de valeurs S1, T1.

Par conséquent, pour tous les systèmes thermodynamiques, on obtient les dépendances univoques:

- $P = P(T, S)$;
- $V = V(T, S)$;

Entropie absolue du gaz idéal

La liaison entre la chaleur élémentaire et la variation d'entropie

De la discussion précédente il résulte que entre la chaleur élémentaire et la variation d'entropie existe une relation de proportionnalité: $dS = \delta Q / \alpha$

Ou $\frac{dQ}{dS} = T$

où α est un facteur essentiel qui transforme la valeur élémentaire δQ dans une différentielle totale exacte dS

La définition d'entropie : $\frac{dQ}{T} = dS$

Formules d'entropie pour les différents processus thermodynamiques

- ▶ pour le processus isobare $dQ_p = \nu \cdot c_p \cdot dT$; $dS_p = \nu c_p \frac{dT}{T}$
- ▶ pour le processus isochore $dQ_v = \nu \cdot c_v \cdot dT$; $dS_v = \nu c_v \frac{dT}{T}$
- ▶ pour le processus isotherme $dQ_T = \nu RT \frac{dV}{V}$; $dS_T = \nu R \frac{dV}{V}$
- ▶ pour le processus adiabatique $\delta Q = 0$; $dS = 0$

ÉQUATION FONDAMENTALE DE LA THERMODYNAMIQUE

Il apparaît donc $Q_{1-2} = \int_{S_1}^{S_2} T dS$. ou $dQ = T.dS$

équation fondamentale de la thermodynamique des processus quasi-statiques et réversibles: $dU = dQ - dW$

$$dU = T.dS - p.dV$$

En termes géométriques la chaleur a la même signification dans $[S, T]$ que le travail dans $[V, p]$,

PROPRIÉTÉS DE L'ENTROPIE ABSOLUE

L'entropie absolue S est une fonction d'état et dS est un différentiel total exact et: $\oint dS = 0$

Dans les processus adiabatiques et quasi-statiques, l'entropie absolue est conservée [$S = \text{constant}$, $dS = 0$]

L'entropie absolue est une fonction d'états additifs c'est-à-dire pour plusieurs sous-systèmes on obtient:

$$S = \sum_{k=1}^N S_k$$

L'entropie est définie jusqu'à une constante arbitraire S_0 additif, qui ne peut être déterminée par la deuxième loi de la thermodynamique.

Cependant, la variation d'entropie entre deux états est bien définie $S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$

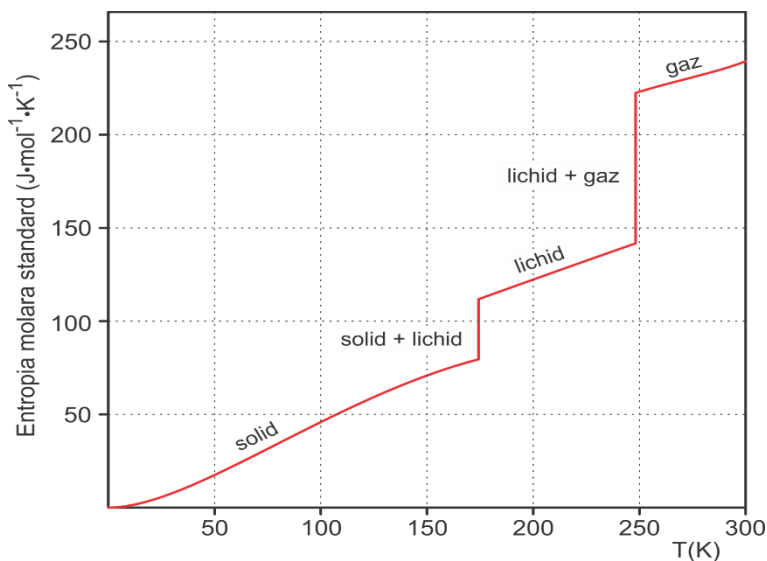
Les potentiels thermodynamiques sont introduits pareils à l'énergie potentielle en mécanique $\delta W = F dx = -dE_p$.

Si l'énergie potentielle est minimale, le système est dans un équilibre stable

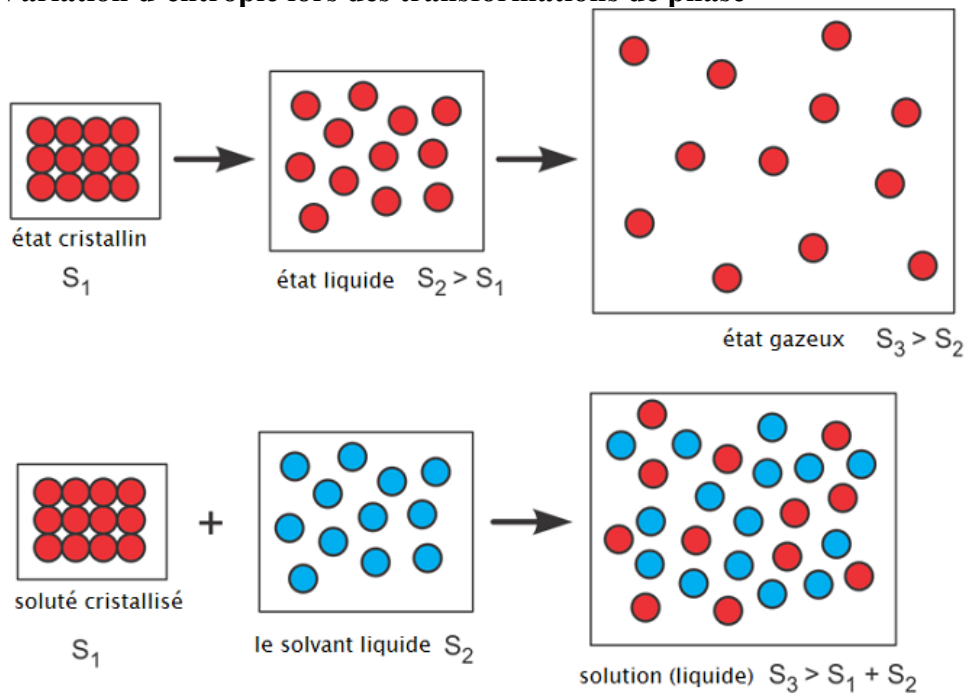
De même les potentiels thermodynamiques satisfont aux exigences:

leur dérivée par rapport à une coordonnée généralisée est une force généralisée.

Quand le potentiel thermodynamique est minimal, le système est dans un état d'équilibre thermodynamique.



Variation d'entropie lors des transformations de phase



L'entropie d'un système thermodynamique est en corrélation avec le degré de "désordre" (nombre de degrés de liberté) interne au système

L'ÉNERGIE INTERNE U

- ▶ L'équation fondamentale de la thermodynamique des processus est:
- ▶ $dU = dQ - p.dV = T.dS - p.dV$
- ▶ où l'énergie interne U est une fonction d'états de variables thermodynamique S et V : $U = U(S, V)$

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_V dS + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_S dV$$
$$T = \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_V ;$$

Donc, nous pouvons écrire

$$p = \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_S$$

L'ENERGIE LIBRE F

L'énergie libre F est défini par l'équation: $F = U - T.S$

Lorsque dans le système considéré le volume V et la température absolue T varient, on peut écrire

$$dF = dU - (T.dS + S.dT) = (T.dS - p.dV) - (T.dS + S.dT) =$$

$$dF = -S.dT - p.dV$$

c'est-à-dire l'énergie libre F est une fonction des variables V et T:

$$F = F(T, V)$$

$$dF = \left(\frac{\partial F}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial F}{\partial V} \right)_T dV$$

$$S = - \left(\frac{\partial F}{\partial T} \right)_V$$

où:

$$p = - \left(\frac{\partial F}{\partial V} \right)_T$$

Ceci est la première relation de Gibbs-Helmholtz. .

L'énergie libre est la partie de l'énergie interne que le système peut changer avec le milieu et la quantité de l'énergie **$E_l = TS$ est appelée l'énergie liée**, parce qu'elle ne peut pas être éliminée par le système.

Dans **les processus isothermes** : $dF = -p.dV = -dW$

$$W = - \int_1^2 dF = F_1 - F_2$$

Il en résulte que la diminution de l'énergie libre représente le travail effectué par le système thermodynamique des processus isothermes.

L'ENTHALPIE H

L'enthalpie H est définie par l'équation: $H = U + pV$

D'où on peut obtenir: $dH = dU + p.dV + V.dp$

Lorsque dans le système considéré la pression et l'entropie varient on peut écrire l'expression de l'enthalpie H : $dH = T.dS + V.dp$

Quand $H = H(S, P)$
$$dH = \left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_p dS + \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_S dp$$

Et
$$T = \left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_p$$

$$V = \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_S$$

Si le processus thermodynamique est isobare ($p = \text{const}$) alors: $dH = T.dS = dQ$

La variation d'enthalpie dans les processus thermodynamiques représente la chaleur isobare reçue ou donnée par le système.

Nous pouvons écrire la relation: $U = H - p.V$

$$U = H - pV = H - p\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_S$$

L'ENTHALPIE LIBRE G

L'enthalpie libre de la fonction thermodynamique G est donnée par l'expression

$$G = H - T.S = U + p.V - T.S$$

Dans les systèmes où il y a des plages de pression et de température on peut écrire pour la variation d'enthalpie libre la formule

$$dG = + V.dp - S.dT$$

où $G = G(p, T)$ Alors
$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T dp + \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p dT$$

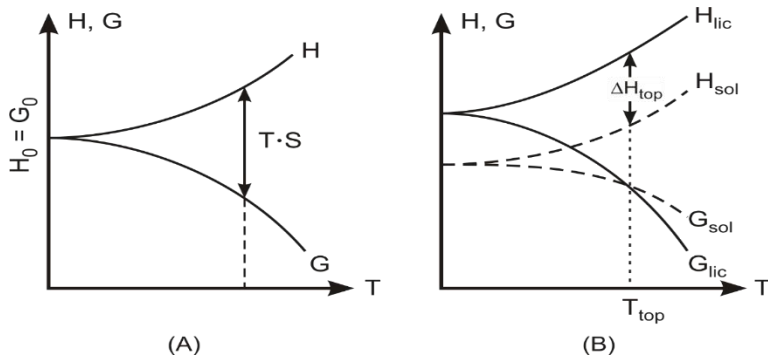
et
$$V = \left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T$$

$$S = -\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p$$

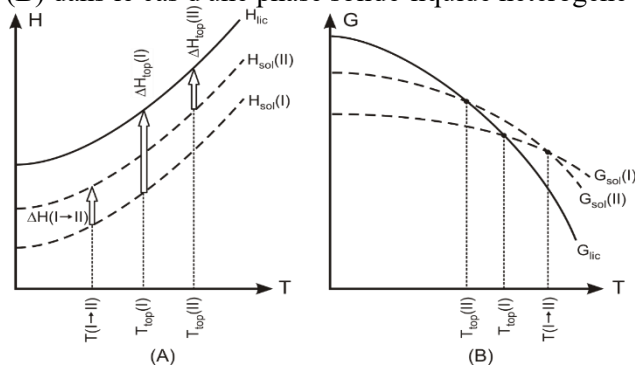
L'enthalpie H peut être exprimée en termes de enthalpie libre

$$H = G + TS = G - T\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p$$

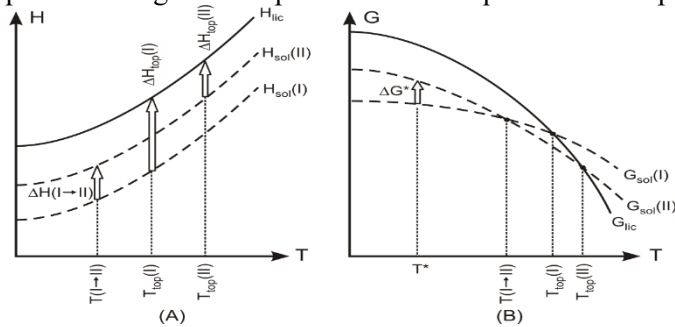
Ceci est la deuxième relation de Gibbs-Helmholtz.



Variation d'enthalpie et d'enthalpie libre en fonction de la température
 Enthalpie H et enthalpie libre G de Gibbs variation en fonction de la température.
 (A) dans le cas d'une phase homogène
 (B) dans le cas d'une phase solide-liquide hétérogène



Variation d'enthalpie H (A) et enthalpie libre G de Gibbs (B) en fonction de la température- dans le cas d'une phase hétérogène de séparation solide-liquide avec une polymorphisme monotropique



La variation de l'enthalpie (A) et l'enthalpie libre de Gibbs (B) en fonction de la température dans le cas d'une phase hétérogène de séparation solide-liquide avec polymorphisme énantiotropes

$$\Delta G^* = R \cdot T^* \cdot \ln \frac{S^*(II)}{S^*(I)} \text{ ou } S^* - \text{solubilité au température } T^*$$

4.10.APPLICATIONS DU DEUXIEME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE. CYCLES ET MOTEURS THERMIQUE

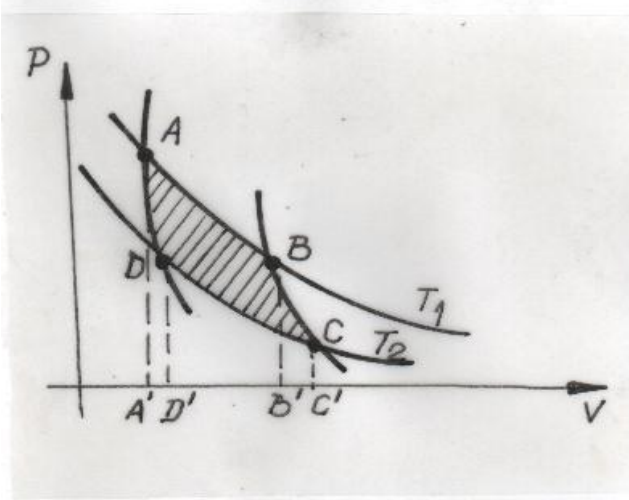
CYCLE CARNOT. THÉORÈME DE CARNOT

Conformément au postulat de Kelvin, il n'est pas possible qu'un moteur monotherme existe.

Nous essayons alors de construire un moteur bithermique qui est un moteur utilisant des températures $T_1 \neq T_2$ des deux sources de chaleur. En plus des deux sources de chaleur, nous aurons besoin aussi d'un troisième corps appelé corps de travail. Un tel système qui sera en contact avec deux sources de chaleur devra transformer la quantité de chaleur en travail mécanique sans produire d'autres changements dans le système qui effectue la transformation.

L'ingénieur français Sadi Carnot a abordé ce problème et a proposé en 1824 le processus cyclique qui porte son nom.

CYCLE CARNOT



La figure donne le graphe Carnot

A→B - le gaz se dilate isotherme

Il absorbe de la chaleur d'une source chaude : $Q_{AB} = Q_1 > 0$.

B→C - expansion adiabatique aux dépens de l'énergie interne du gaz

En point C, le système entre en contact avec la source froide de T_2 et grâce au travail mécanique cédé au milieu extérieur le gaz va se comprimer isotherme de C à D.

C→D - compression isotherme.

D→A - compression adiabatique:

$$Q_{DA} = 0$$

Après l'exécution complète le cycle conformément au premier principe de la thermodynamique il résulte que $W = Q_1 - Q_2$.

W = le travail mécanique pour le cycle complet

Il en résulte que pendant tout le cycle on a produit du travail mécanique. En résulte qu'il fonctionne comme un moteur.

On peut démontrer que n'importe quel cycle de moteur (réversible ou irréversible) qui fonctionne entre les températures T_1 et T_2 peut produire un travail seulement si la source absorbe la chaleur de la source chaude et dégage de la chaleur de la source plus froide, mais pas vice versa.

En parcourant le cycle résultant dans une manière inverse il résulte que

$-W = -Q_1 + Q_2$ + donc une machine frigorifique.

CALCUL DU RENDEMENT DU CYCLE CARNOT

Par définition, le rendement d'un cycle thermique est le suivant: $\eta = \frac{W}{Q_1}$

W = travail effectué dans un cycle

Q_1 = chaleur absorbée par la source chaude

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1} < 1$$

AB - transformation isotherme: $Q_1 = R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{V_B}{V_A}$

CD - transformation isotherme: $Q_2 = R \cdot T_2 \ln \frac{V_C}{V_D}$

On peut donc écrire le rendement du cycle Carnot comme : $\eta = 1 - \frac{R \cdot T_2 \cdot \ln \frac{V_C}{V_D}}{R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{V_B}{V_A}}$

Tenant compte de la transformation adiabatique de B à C et de D à A , il résulte que: $T_2 < T_1$

Le rendement du cycle Carnot aura la forme: $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

$$T_1 \cdot V_B^{\gamma-1} = T_2 \cdot V_C^{\gamma-1}$$

$$T_2 \cdot V_D^{\gamma-1} = T_1 \cdot V_A^{\gamma-1}$$

$$\frac{T_1 \cdot V_B^{\gamma-1}}{T_1 \cdot V_A^{\gamma-1}} = \frac{T_2 \cdot V_C^{\gamma-1}}{T_2 \cdot V_D^{\gamma-1}} \frac{T_1 \cdot V_B^{\gamma-1}}{T_1 \cdot V_A^{\gamma-1}} = \frac{T_2 \cdot V_C^{\gamma-1}}{T_2 \cdot V_D^{\gamma-1}}$$

Le rendement du cycle Carnot a la forme suivante:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

► THÉOREME DE CARNOT

Parmi les nombreux moteurs qui fonctionnent entre les mêmes températures T_1 et T_2 tous les moteurs n'ont pas le même η , tandis que les moteurs irréversibles ont un η qui ne dépasse jamais le η du moteur réversible.

$$\eta(irev) = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad \text{et} \quad \eta(rev) = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad \text{et} \quad \eta(irev) = \eta(rev)$$

Le rendement d'un moteur thermique qui fonctionne après le cycle Carnot est

$$\eta_c = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

On peut démontrer assez simplement que le rendement du cycle Carnot ne dépend pas de la nature du corps.

Aussi l'égalité du Clausius est valide pour un cycle quasi-statique arbitraire, étant donné que n'importe quel cycle peut être approximé par une suite d'isothermes et adiabatiques

Si $T_1 = T$, $Q_1 = Q$ et $T_2 = T_0$ et $Q_2 = Q_0$

$$\text{nous pouvons écrire : } \frac{Q}{T} = \frac{Q_0}{T_0} \quad T = T_0 \frac{Q}{Q_0}$$

Il est évident que, dans cette expression, la chaleur Q et Q_0 joue le rôle d'une propriété thermométrique indépendante du système thermodynamique. Si T_0 définit la température de référence, T est la température absolue car T ne dépend pas du système thermodynamique utilisé.

Par convention a été établie l'isotherme de référence, correspondant au point triple de l'eau, où $T_0 = 273,16$ K. Il faut remarquer que cette relation –ci définit le point de zéro absolu.

Pour $Q = 0$ on peut obtenir $T = 0$, ce qui signifie que l'isotherme zéro absolu fusionne avec l'adiabatique. Ceci est la différence fondamentale entre l'échelle de température empirique et l'échelle de température absolue.

Dans toutes les échelles de température empirique θ , la température ponctuelle $\theta_0 = 0$ n'est pas définie d'une façon univoque. Étant donné que le point de la température $T = 0$ K, on a $Q = 0$. Cela prouve que la température $T = 0$ K a une signification physique particulière.

Le refroidissement des corps à une température en dessous de la température ambiante à l'extérieur est réalisée par réfrigération, fonctionnant sur des cycles terminés dans le sens anti-horaire.

Pour ces installations nous avons les relations suivantes: $W = |Q_1| - Q_2$

La caractéristique d'une installation de réfrigération est donnée par le rapport de l'effet de réfrigération:

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{|Q_1| - Q_2}$$

Si η est l'efficacité du cycle aller dans le sens horaire, alors:

$$W = \eta \cdot |Q_1|, \quad Q_2 = |Q_1| (1 - \eta), \\ \varepsilon = Q_2 / W = Q_2 / [|Q_1| - Q_2] = (1/\eta) - 1$$

Les pompes à chaleur efficaces sont caractérisées par : $K = |Q_1| / W = 1/\eta$

Pour les systèmes de réfrigération fonctionnant sur un cycle de Carnot inversé, on obtient: $\varepsilon = T_2/[T_1 - T_2]$, si $K = T_1/[T_1 - T_2]$

MOTEUR OTTO

Les Moteurs qui fonctionnant d'après le cycle en 4 temps inventé par Nikolaus Otto en 1876, qui implique un cycle à 4 temps et un moteur à combustion interne.

C'est le cycle le plus utilisé dans l'automobile et industrie d'aujourd'hui.

Un cycle à 4 temps est plus efficace que le cycle à 2 temps même si plusieurs éléments qui se déplacent sont nécessaires.

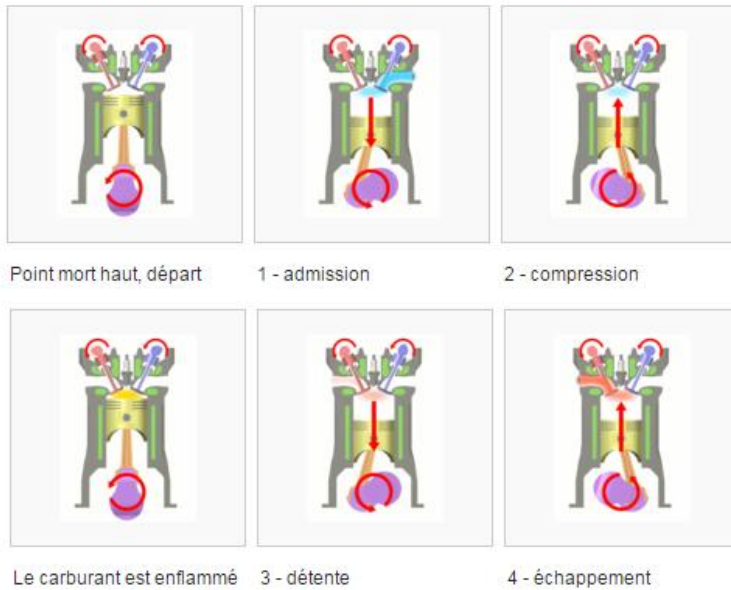
Le cycle Otto à 4 temps fonctionne de 30 rpm à 1000 rpm pour atteindre respectivement la limite de 6000 rpm

Admission : Le cycle commence au point mort haut, quand le piston est à son point le plus élevé. Pendant le premier temps le piston descend (admission), un mélange d'air et de carburant venant du carburateur ou de l'injection est aspiré dans le cylindre via la soupape d'admission.

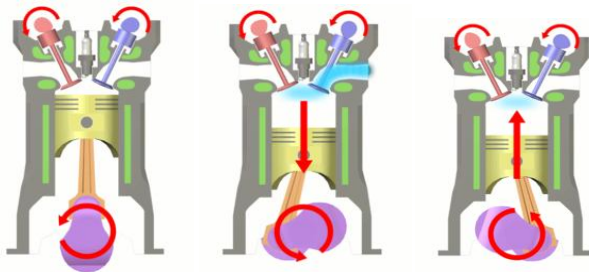
Compression : La soupape d'admission se referme, le piston remonte comprimant le mélange admis.

Combustion-Détente : Le mélange air-carburant est alors enflammé, habituellement par une bougie d'allumage, aux environs du deuxième point mort haut (remontée complète du piston). La pression des gaz portés à haute température produit une explosion lors de la combustion et force le piston à descendre pour le troisième temps (combustion-détente). Ce mouvement est le seul temps moteur (produisant de l'énergie directement utilisable).

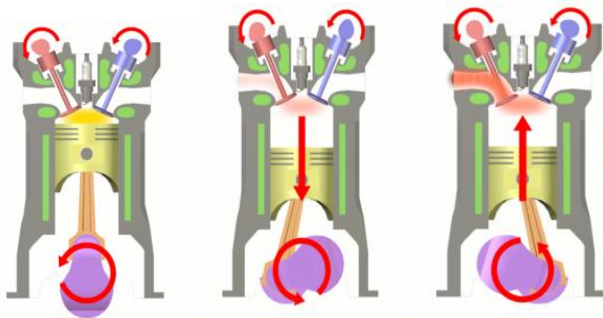
Échappement : Lors du quatrième et dernier temps la soupape d'échappement s'ouvre pour évacuer les gaz brûlés poussés par la remontée du piston..



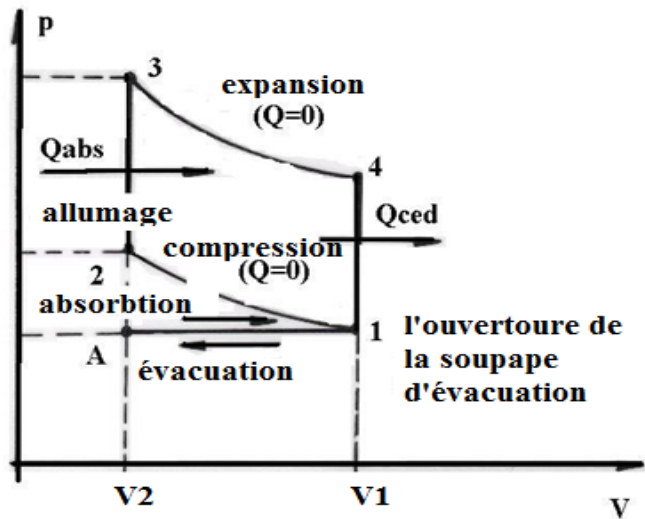
CYCLE OTTO -TEMPS DU FONCTIONNEMENT



Positions de start , admission et compression.



Allumage de carburant, Combustion-Détente , Échappement



Ce cycle est caractérisé par quatre temps ou mouvements linéaires du piston :

Admission : $A \rightarrow 1$, $p_1 = \text{const.}$

(Absorption) : (processus isobarique)

Compression : $1 \rightarrow 2$, $Q=0$: (transformation adiabatique)

Combustion-Détente : $2 \rightarrow 3$: $V_2 = \text{const}$

$3 \rightarrow 4$: $Q=0$

$4 \rightarrow 1$: $V_1 = \text{const}$

Échappement : $1 \rightarrow A$, $p_1 = \text{const}$

Si on note $\varepsilon = V_1/V_2$ - le rapport de compression où coefficient adiabatique

CALCUL DE RENDEMENT DU MOTEUR OTTO :

Le rendement de cycle Otto a alors l'expression: $\eta = 1 - \varepsilon^{1-\gamma}$

où γ est le coefficient adiabatique.

La forme générale pour le calcul du rendement d'un moteur thermique est: $\eta = 1 - \frac{|Q_{ced}|}{Q_{abs}}$

Où Q_{ced} est la chaleur perdue, $Q_{ced} < 0$

Et Q_{abs} est la chaleur absorbée, toujours est : $Q_{abs} > 0$

1-2: transformation adiabatique:

$Q_{12} = 0$ il n'y a aucun échange de chaleur à l'extérieur

2-3 : transformation isochore:

$V_2 = \text{const} \rightarrow dV = 0 \rightarrow W_{23} = 0$

$$Q_{23} = \nu \cdot C_v (T_3 - T_2) > 0 \rightarrow Q_{\text{abs}} = Q_{23}$$

Parce que la température dans l'état 3 est plus élevée que dans l'état 2, nous pouvons conclure que de 2 à 3, nous avons la chaleur absorbée

(la chaleur est positive).

3-4 transformation adiabatique: $Q_{34} = 0$ l'échange de chaleur avec l'extérieur ne se produit pas:

$$V_1 = \text{const.} \rightarrow dV = 0 \rightarrow W_{41} = 0$$

4-1 transformation isochore: $Q_{41} = \nu \cdot C_v (T_1 - T_4) < 0 \rightarrow Q_{\text{ced}} = Q_{41}$

Parce que la température à l'état 1 est moindre que dans l'état 4

De 4 à 1 la chaleur sera cédée (négative)

$$\text{Ainsi le rendement du moteur Otto a la forme suivante: } \eta = 1 - \frac{\nu \cdot C_v (T_4 - T_1)}{\nu \cdot C_v (T_3 - T_2)} \quad \eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

Pour la transformation adiabatique de 1 à 2 on peut écrire l'équation de Poisson

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}; \quad \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_2}{T_1}; \quad T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{\gamma-1}$$

Pour la transformation adiabatique de 3 à 4 on peut écrire l'équation de Poisson

$$T_3 V_3^{\gamma-1} = T_4 V_4^{\gamma-1}; \quad \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{\gamma-1} = \varepsilon^{\gamma-1} = \frac{T_4}{T_3}; \quad T_4 = T_3 \cdot \varepsilon^{\gamma-1}$$

$$\text{LE RENDEMENT DU MOTEUR OTTO EST: } \Rightarrow \eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_4 \varepsilon^{\gamma-1} - T_1 \varepsilon^{\gamma-1}} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{\varepsilon^{\gamma-1} (T_4 - T_1)}$$

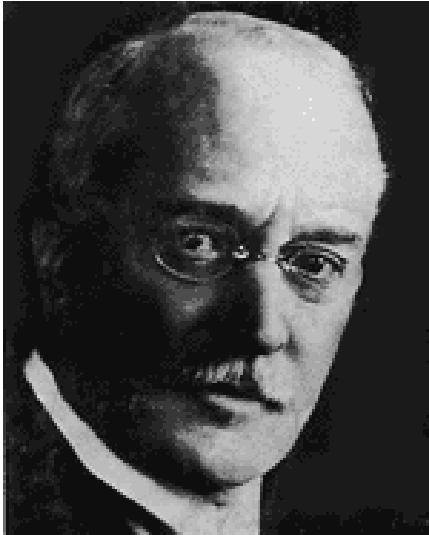
$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}}$$

$$\eta = 1 - \varepsilon^{1-\gamma}$$

On constate que le rendement dépend seulement du rapport de compression ε et du coefficient adiabatique γ .

MOTEUR DIESEL

HISTOIRE



Rudolf Diesel
(1858 - 1913)

Rudolf Diesel (1858 - 1913) était intéressé dans les moteurs.

Dans sa jeunesse, il a été impressionné par Lenoir et le système de moteurs à vapeur qui fonctionnaient dans cette période.

Pendant la période de ses études avec le professeur Linde., un inventeur célèbre de son temps Diesel a appris que pour les moteurs thermiques on peut améliorer les performances. Il a évoqué le jeune Français Sadi Carnot (1796 - 1832), qui a découvert le cycle idéal qui porte son nom: cycle de Carnot .

La combustion est le processus sous-jacent dans les moteurs thermiques.

Diesel vise maintenant à poursuivre la construction d'un tel moteur.

En 1890, il a une idée géniale d'un processus de combustion: un moteur fonctionnant à base de l'air qui est comprimé à une pression de 200 bar.

A ce stade, le fuel lourd comme l'huile ou diesel est injecté par un injecteur dans l'air, a.i .. Se réchauffer à une pression plus élevée.

Les températures élevées conduisent à l' autocombustion immédiate

du carburant ce qui entraîne la déconnexion de la bougie

Le principe n'a pas été aussi simple qu'il y paraît. La conversion à la pratique était problématique. Les pressions et les températures élevées n'ont pas été obtenus avant.

Le premier moteur expérimental a été construit en 1893 à l'usine d'automobile à Augsburg (MAN) en Allemagne.

Un moteur construit en 1896 a convaincu les ingénieurs que le rendement de 25% obtenu par le moteur diesel n'a jamais été atteint au paravant. Le rapport de compression est encore faible et la pression maximale de service du moteur est de 30 bar, même minime, et l'injection de carburant supplémentaire n'a pas été possible. Il était nécessaire pour utiliser l'injection d'air d' une procédure complexe qui a nécessité des composants supplémentaires au moteur chers et lourds.

Ce moteur était accepté généralement seulement avec beaucoup de difficultés en raison des problèmes économiques, et avec le carburant qui était très cher. Il y avait des litiges sur les brevets déjà apparus.

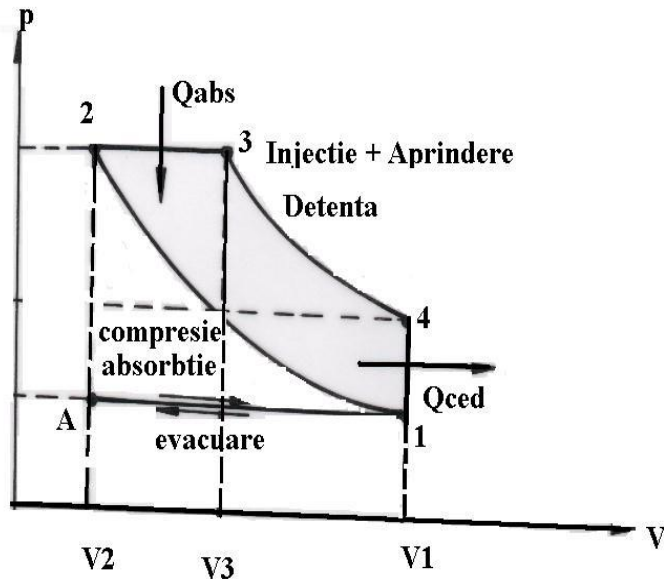
Rudolf Diesel a été impliqué dans des disputes sur le brevetage de ses résultats et se bat pour ses droits .

Il a demandé d'obtenir un moteur diesel, afin d'avoir enfin son propre moteur.

Ce fut seulement en 1908, quand il a décidé de breveter ses résultats. Il a mis au point un petit moteur qui est utilisé dans les voitures et les camions avec une petite entreprise suisse SAURER.

Diesel est mort en 1913 sans croire en la réussite de son moteur.

CALCUL DE RENDEMENT DU MOTEUR DIESEL:



Les temps du fonctionnement du moteur Diesel sont:

1. **Aspiration A → 1**
(processus isobarique): $p_1 = \text{const.}$
2. **Compression: 1 → 2:**
(transformation adiabatique): $Q = 0$
3. **Allumage et détente:**
 - 2 → 3 : $p_2 = \text{const}$
 - 3 → 4 : $Q = 0$
 - 4 → 1 : $V_1 = \text{const}$

Dans l'état 3 se produit l'injection et l'allumage, et dans l'état final on ouvre la soupape d'échappement.

4 **Evacuation : 1 → A:** $P_1 = \text{const.}$ (processus isobarique)

Moteur Diesel Moteur à 4 temps

1. Absorbition
2. Compression
3. Allumage et expansion
4. Évacuation

La forme générale pour le calcul du rendement d'un moteur thermique est: $\eta = 1 - \frac{|Q_{ced}|}{Q_{abs}}$

Q_{ced} - la chaleur résiduelle $Q_{ced} < 0$

Q_{abs} = chaleur absorbée $Q_{abs} > 0$

Les rapports de compression sont donnés comme suivants : ρ et ε

$$\rho = \frac{V_3}{V_2} \text{ et } \varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$$

- **1-2 transformation adiabatique** $Q_{12}=0$, Il n'y a aucun changement de chaleur
- **2-3 transformation isobare** $p_2=\text{const.}$

$$Q_{23} = \nu \cdot C_p \cdot (T_3 - T_2) > 0 \rightarrow Q_{abs} = Q_{23}$$

parce que la température dans l'état 3 est plus élevée que dans l'état 2

la chaleur à partir de 2 à 3 est absorbée (a une valeur positive)

- **3-4 transformation adiabatique** $Q_{34}=0$ il n'y a pas de changement de chaleur
- **4-1 transformation isochore** : $V_1=\text{const} \rightarrow dV=0 \rightarrow W_{41}=0$

$$Q_{41} = \nu \cdot C_v \cdot (T_1 - T_4) > 0 \rightarrow Q_{ced} = Q_{41}$$

- Le Rendement du cycle Diesel est le suivant: $\eta = 1 - \frac{\nu \cdot C_v (T_4 - T_1)}{\nu \cdot C_p (T_3 - T_2)}$

$$\eta = 1 - \frac{C_v (T_4 - T_1)}{C_p (T_3 - T_2)}$$

$\frac{C_p}{C_v} = \gamma$ - Le coefficient adiabatique est le rapport entre la chaleur molaire isobarique et chaleur molaire isochore

Après le remplacement on obtient pour le rendement: $\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{\gamma \cdot (T_3 - T_2)}$

Pour la transformation 1-2 on utilise l'équation de Poisson

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \quad \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_2}{T_1} \quad T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{\gamma-1}$$

Pour la transformation 2-3 on utilise l'équation d'une transformation isobare :

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \Rightarrow \frac{V_3}{V_2} = \rho = \frac{T_3}{T_2} \Rightarrow T_3 = T_2 \cdot \rho$$

Pour la transformation 3-4 on utilise l'équation de Poisson

$$T_3 V_3^{\gamma-1} = T_4 V_1^{\gamma-1} \quad T_2 \cdot \rho \cdot V_3^{\gamma-1} = T_4 V_1^{\gamma-1}$$

$$T_1 \cdot \varepsilon^{\gamma-1} \cdot \rho \cdot V_3^{\gamma-1} = T_4 \cdot V_1^{\gamma-1} \quad T_4 = T_1 \cdot \varepsilon^{\gamma-1} \cdot \rho \cdot \left(\frac{V_3}{V_1} \right)^{\gamma-1}$$

$$\frac{V_3}{V_1} = \frac{\rho}{\varepsilon} \quad T_4 = T_1 \cdot \rho^\gamma$$

Le rendement du cycle Diesel

$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{\gamma \cdot (T_3 - T_2)}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_1 \cdot \rho^\gamma - T_1}{\gamma \cdot (T_2 \cdot \rho - T_2)} = 1 - \frac{T_1 (\rho^\gamma - 1)}{\gamma \cdot T_1 \varepsilon^{\gamma-1} (\rho - 1)}$$

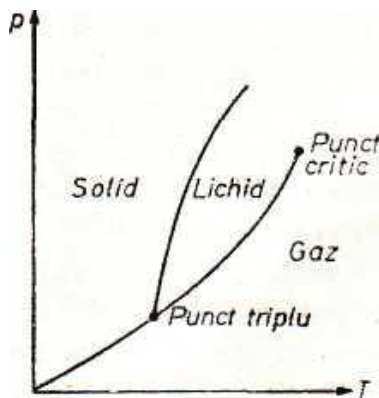
$$\eta = 1 - \frac{\rho^\gamma - 1}{\gamma \cdot (\rho - 1) \varepsilon^{\gamma-1}}$$

Le rendement du moteur diesel ne dépend que du rapport du coefficient de compression et du coefficient adiabatique .

5. PHYSIQUES DES LIQUIDES

5.1. PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES LIQUIDES. INTRODUCTION

Avant de définir l'état liquide et les propriétés générales des liquides, on va décrire l'état solide et l'état gazeux par rapport à l'état liquide. À une pression suffisamment faible, dans le schéma (PT) il y a deux états d'agrégation en équilibre, l'état solide et l'état gazeux (voir Fig. 1.1, qui représente le schéma pour l'argon).



Sous l'action des sollicitations extérieures, LES SOLIDES se déforment constamment.

Du point de vue théorique, il y a un modèle idéal pour les solides, *le réseau cristallin* dans lequel tous les nœuds sont occupés par des particules qui oscillent autour des nœuds en question. Cette oscillation détermine le mouvement thermique d'un solide.

Les gaz ont de la fluidité (la propriété d'écoulement), ils ont une très faible densité comparablement aux solides (comme en fait par rapport aux liquides) et sont très compressibles.

Il y a un modèle théorique pour LE GAZ aussi, *le gaz idéal*, un ensemble de molécules entre lesquelles il n'existe pas de forces d'interaction, les collisions entre les particules et les parois sont du type central et élastique. Le mouvement continu et parfaitement désordonné (chaotique) des particules de gaz caractérise le mouvement thermique du gaz.

À une pression supérieure, au-dessus du point triple (voir Fig. 1.1), il y a un nouvel état de la matière, l'état liquide entre l'état solide et de l'état gazeux.

Parce que l'état liquide est entre l'état solide et l'état gazeux, les liquides se déforment continuellement contrairement au solide qui se déforme constamment et par rapport à l'état gazeux, ont une densité beaucoup plus élevée et la compressibilité beaucoup plus faible dans les régions éloignées.

On peut conclure que les liquides sont différents des gaz par la densité qui est supérieure, la compressibilité qui est plus petite et l'existence d'une surface libre apparente et sont différents des solides parce qu'ils se déforment en permanence et présentent la fluidité (propriété d'écoulement).

On peut donner une **définition générale de l'état liquide**, évidemment pas tout à fait rigoureuse: **l'état liquide est un état de la matière, stable, intermédiaire entre la région de stabilité de l'état solide et celle de l'état gazeux pour une densité et une température données.**

Ce n'est pas tout à fait une définition rigoureuse, ce qui peut être vu immédiatement, parce que l'eau est une exception à cette règle ayant une densité à 4°C supérieure à 0°C quand elle est à l'état solide.

Mais la définition donnée - avec les propriétés de l'état liquide par rapport à l'état solide et à l'état gazeux - peut donner une image assez complète de l'état liquide.

CLASSIFICATION DES LIQUIDES

Les liquides peuvent être classés en six groupes, comme suit:

1. Liquides composés de molécules approximativement sphériques avec des forces d'interaction du type van der Waals (par exemple, Ar, CH₄, etc.);
2. Liquides constitués de molécules diatomiques telles que H₂, N₂, etc., similaires à ceux du type 1, mais qui peuvent avoir des moments quadripolaires ;
3. Métaux liquides, tels que Na, Hg, etc., dans lesquels les forces de Coulomb entre les molécules jouent un rôle important;
4. Liquides polaires, tels que HBr, dont les molécules ont des moments dipolaires électriques;
5. Liquides associées dont les molécules ont des liaisons d'hydrogène, tels que, par exemple, l'eau;
6. Liquides composés de grands groupes de molécules, où le mouvement interne joue un rôle décisif.

Certains des liquides contenus dans les catégories 1, 2 et 3 forment un groupe distinct et sont appelés **LIQUIDES SIMPLES**. C'est seulement pour ce type de fluides qu'on peut construire une théorie unifiée ayant des résultats en bon accord avec les données expérimentales.

Les liquides des autres groupes de liquides forment la classe

DES LIQUIDES COMPLEXES qui ne peuvent être décrits de manière satisfaisante en théorie, pour différents types de liquides et pour différentes gammes de température étant créées diverses théories qui décrivent qualitativement ces liquides.

LES LIQUIDES SIMPLES sont les liquides avec des molécules sphériques ayant l'interaction des forces du type van der Waals, non saturés et non ciblés, sans moments dipolaires entre elles.

Cette classe de liquides comprend seulement les métaux liquides purs et quelques liquides diatomiques et polyatomiques, mais un grand nombre d'informations et de méthodes de calcul qui s'appliquent à ces liquides peuvent être utilisées de manière sélective dans des liquides complexes aussi.

Toute la théorie de l'état liquide est à la recherche des expressions mathématiques pour diverses grandeurs physiques, pour calculer ces expressions sur la base de modèles et comparer enfin les résultats avec les données expérimentales. La théorie est basée sur l'hypothèse que seules deux particules peuvent interagir simultanément et on néglige systématiquement l'interaction de trois ou plusieurs particules. En outre, il est supposé que la structure de chaque molécule et l'interaction mutuelle (interaction entre des atomes constitutifs) peuvent être déterminées théoriquement. En réalité, la mécanique quantique peut résoudre cela dans des cas très simples et donc on préfère travailler avec des potentiels d'interaction empiriques.

Le mouvement thermique d'un corps solide est fait du mouvement de vibration des particules autour des nœuds du réseau, tandis que le mouvement thermique d'un gaz est un mouvement continu et désordonné.

Le mouvement thermique des particules de fluide est un mouvement intermédiaire entre le mouvement thermique d'un gaz (mouvement de translation désordonnée) et le mouvement thermique d'un solide (mouvement de vibration), une combinaison de mouvement de translation et de mouvement de vibration, sans exclure les mouvements de rotation.

En termes de structure, on imagine le fluide comme ayant des centres autour desquels s'ordonnent des particules sur la distance de plusieurs rayons moléculaires, centres ayant un mouvement de translation. L'ordre se décompose et se forme continuellement, comme si le centre d'ordonnance diffusait à l'intérieur du fluide. Quantitativement, cette diffusion se caractérise par le temps t_0 , le temps où un centre d'oscillation se déplace sur une distance égale à la distance interatomique.

Les liquides simples ont le coefficient de diffusion de l'ordre de $10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$ et

le diamètre moléculaire a est de l'ordre de 3-4 Å, ainsi le temps t_0 qui caractérise l'existence de la structure locale est de l'ordre de 10^{-11} s; pour les matières solides, t_0 peut monter à l'ordre des jours.

Les liquides se comportent comme les solides pour des temps plus petits que t_0 , l'ordre se décompose pour se former à nouveau immédiatement autour d'un autre centre. Si une force externe est appliquée pendant des intervalles de temps très petits - inférieurs à t_0 , alors les liquides montrent la déformation élastique (compressions, expansions et même cisaillements) comme les solides, déformations qui ont pu être mises en évidence expérimentalement.

Les solides présentent un ordre structural à longue distance, tandis que **l'ordre dans les liquides est un ordre à une faible distance de quelques diamètres moléculaires.**

Pour les gaz, en termes d'énergie, l'énergie thermique joue un rôle prédominant en comparaison des forces d'interaction, qui peuvent être négligées (ou ne jouent qu'un rôle de second ordre).

Pour les solides, les forces d'interaction sont prédominantes, la chaleur ne joue qu'un rôle perturbateur. Dans le cas des liquides, cependant, les forces d'interaction ainsi que l'énergie thermique jouent le même rôle, étant également répandues.

Nous pouvons exprimer la caractéristique du mouvement thermique des liquides: c'est un mouvement désordonné, comme celui des gaz, mais chaque molécule interagit simultanément avec un certain nombre de molécules voisines.

De la caractéristique du mouvement thermique des liquides, du fait que les forces d'interaction et l'énergie thermique ont la même pondération on voit la difficulté de choisir un modèle de fluide parfait.

5.2. MODÈLES DE LIQUIDES

La théorie de l'état liquide a été développée dans trois directions distinctes qui ont été déterminées essentiellement par le modèle adopté pour l'état liquide.

- **LA PREMIÈRE DIRECTION** - qui est apparue en fait la **première - est celle dans laquelle l'état liquide est étudié de façon similaire à l'état gazeux, le modèle du gaz van der Waals jouant un rôle décisif dans la théorie des liquides.** Le passage de l'état liquide se produit continuellement, les liquides ne sont que de simples gaz condensés qui maintiennent la notion de parcours moyen libre. Il n'y a dans ce modèle aucun ordre. Les liquides sont étudiés de la même manière que les gaz dans le modèle appelé cinétique (*the kinetic model*).
- **LA SECONDE DIRECTION** dans le développement de la théorie de l'état liquide a commencé dans la période 1927-1931, avec les œuvres de Zernike, Prins, Debye, Lenke, etc, qui ont obtenu les **premières** données röntgenographiques pour les liquides et donc la première information sur l'ordre existant dans les liquides. Le succès de ces œuvres a été assez grand pour identifier l'état liquide à l'état solide, en utilisant les mêmes méthodes de calcul.
- **LA TROISIÈME DIRECTION** dans le développement de la théorie des liquides a commencé par les œuvres d'Hildebrand en 1953, qui s'élève contre la conception cristalline, ce qui crée une théorie propre des liquides.

Dans cette conception sont maintenues les hypothèses valables dans les deux conceptions précédentes selon lesquelles la transition de l'état gazeux à l'état liquide se produit en permanence, mais il y a un ordre local, ordre qui se rompt et se forme en permanence pendant le temps de relaxation τ_0 . La théorie mathématique du nouveau concept est la théorie des fonctions de corrélation qui a été créée avant 1953 par Kirkwood, Bogoliubov (1942), Born (1947) et qui, malheureusement, présente beaucoup de difficultés en termes de mathématiques. Dans cette théorie, la fonction radiale de distribution $g(r)$ joue un rôle fondamental, comme nous le verrons dans ce qui suit.

Les trois stades de la théorie de l'état liquide ne se sont évidemment pas développés successivement; il y avait des périodes pendant lesquelles le modèle cristallin était abandonné après une série d'échecs pour reprendre les études de modélisation cinétique et revenir ensuite, sur d'autres plans, au modèle cristallin. Aucune théorie moderne des liquides ne s'est développée de manière unitaire dans une période de temps bien définie.

Le partage fait est dicté plutôt par des considérations didactiques de façon à former une idée plus claire et complète sur la théorie de l'état liquide.

Sont apparus de nombreux modèles cristallins pour l'état liquide, modèles qui, aujourd'hui, ne présentent qu'un rôle historique parce qu'on a vu que l'état liquide ne pouvait pas être confondu avec l'état solide. Cependant, le modèle cristallin a été amélioré par de nombreux changements, de sorte qu'aujourd'hui, pour certains domaines de températures, le modèle cristallin est également utilisé avec de bons résultats, en particulier pour la simplicité et la facilité de calcul, qui le rendent plus accessible que d'autres modèles.

Le modèle cristallin qui a été amélioré, existe dans les options suivantes:

- le modèle de réseau cellulaire (*the lattice-cell model*)
- le modèle Lennard- Jones et Devonshire,
- le modèle de groupe de cellules (*the cell-cluster model*)
- le modèle de trou (*the hole model*) et
- le modèle à effet tunnel (*the tunnel model*)

MODELE CINETIQUE DES LIQUIDES

Le fait qu'autour du point critique il y a une transition continue de l'état gazeux à l'état liquide a conduit à la conclusion - en fait fausse - qu'entre les liquides et les gaz il n'y avait aucune différence.

Dans LE MODÈLE CINÉTIQUE, les liquides sont considérés comme des gaz comprimés, en gardant la notion de parcours libre moyen, notion qui, en fait, est tout à fait inappropriée pour les liquides, étant donné que chaque molécule du liquide est en interaction avec les voisins les plus proches.

La théorie a été améliorée en 1935 par Yvon, qui détermine la probabilité d'une configuration composée d'un petit nombre de molécules. Plus tard, a été introduite l'approximation de superposition par Kirkwood et Boggs, qui ont travaillé avec un liquide hypothétique constitué de molécules sphériques.

Born et Green (1947) ont étudié la structure des liquides monoatomiques à partir d'un modèle cinétique et beaucoup plus tard, le modèle calculé en utilisant le calculateur électronique a donné des résultats assez bons pour ces types de fluides dans des régions éloignées des points de solidification, où la théorie cristalline donne de meilleurs résultats.

Le modèle cinétique, avec les bons résultats obtenus pour les liquides monoatomiques, s'est considérablement élargi, d'autant plus que ce modèle peut décrire les phénomènes de transport. Par la suite, de façon indépendante, le modèle a été amélioré par Kirkwood et ses collaborateurs entre 1946-1954 et Born et Green entre 1946-1947. La théorie développée décrit de manière satisfaisante les phénomènes de viscosité et la conductivité thermique des liquides .

MODÈLE CRISTALLIN

LE MODÈLE CRISTALLIN est le modèle dans lequel l'état liquide est conçu de façon similaire à l'état solide , cristallin.

Les premiers modèles, où il y avait une analogie parfaite entre un solide et un liquide et qui étaient très nombreux, ont

été remplacés parce que les résultats expérimentaux ne s'accordaient pas avec les résultats théoriques. Pour cette raison, ces modèles ne présentent actuellement qu'un intérêt historique sur la façon de développer le modèle cristallin.

Par la suite, l'ensemble du système a été remplacé par un réseau cellulaire, dans chaque cellule il existe une particule de fluide. Selon la forme de la cellule et la façon dont la particule peut se déplacer dans cette cellule a été construite une série de modèles cristallins. Les particules peuvent tourner dans la cellule, elle peuvent se déplacer, mais on n'a pas pris en compte les corrélations qui peuvent exister entre les particules – corrélations qui jouent un rôle important et qui ont été prises en considération beaucoup plus tard.

Dès 1946 Frenkel a eu l'intuition de la différence entre un cristal dans lequel il y a un ordre à longue distance et un liquide dans lequel l'ordre n'apparaît qu'à faible distance.

MODÈLE CELLULAIRE

LE MODÈLE CELLULAIRE, dans sa forme initiale, dans lequel chaque cellule est séparée par une particule a dû être changé parce que, finalement, il est équivalent à un réseau cristallin.

Le MODÈLE cellulaire, a été modifié ensuite en deux versions.

Une variante a été proposée par Eyring et ses collaborateurs dans la période 1936-1941 qui a pris en compte la possibilité qu'il y ait des cellules inoccupées.

La détermination du nombre moyen de cellules inoccupées a été faite dans l'approximation quasi-chimique par Guggenheim.

La thermodynamique du modèle cellulaire a été étendue dans les régions limite proches du point critique, le modèle étant sérieusement amélioré par Eyring, Rowlinson et Curtiss.

On va étudier **le plus simple modèle cristallin à savoir le modèle cellulaire**, en termes de quantité.

On considère comme **un système de cellules identiques entre elles, dans chaque cellule étant placée une seule particule de liquide (une molécule) fixée au centre de la cellule. La molécule peut se déplacer dans la cellule, mais son mouvement est complètement indépendant du mouvement des molécules des cellules voisines.**

Le modèle cellulaire simple peut être appliqué autour du point de fusion pour des valeurs précises qui ont été obtenues pour le nombre de voisins les plus proches.

Mais le modèle ne peut pas décrire les fluctuations de densité qui se produisent dans les liquides en raison de leur mouvement thermique et ne peut pas décrire les systèmes à faible densité, sauf dans le point de fusion

Le modèle est cependant très pratique, car l'appareil mathématiques utilisé est simple les calculs peuvent être faits avec facilité, et il peut être appliqué aux liquides monoatomiques ainsi que aux mélanges, aux solutions liquides polaires ou associées.

MODÈLE LENNARD-JONES ET DEVONSHIRE

Le système est divisé en cellules, les centres des cellules formant un réseau cubique à faces centrées.

Le nombre de molécules est égal au nombre de cellules, mais dans ce modèle, les molécules peuvent se déplacer dans la cellule, mais ne peuvent pas sortir de cellule donc les processus d'auto-diffusion sont exclus.

Ce qui est important et nouveau dans ce modèle c'est que les molécules voisines peuvent interagir les uns avec les autres.

La version proposée par Lennard-Jones et Devonshire en 1938, dans laquelle le volume d'une cellule est égal au volume par molécule et ainsi on élimine la distribution des vides dans le système.

La théorie obtenue est comparée avec les données expérimentales, sauf que la pression est quatre fois supérieure à la valeur expérimentale.

Après 1950, Kirkwood a amélioré la théorie de Lennard-Jones tout en estimant que dans chaque cellule il y a une seule particule et pas de corrélation entre les particules, mais il a proposé une condition supplémentaire, à savoir, l'énergie libre du système devrait être minime.

L'énergie du système est considérée comme constituée de deux composantes:

- une composante égale à $[(1/2) \cdot N \cdot E_0]$ est l'énergie du réseau lorsque toutes les molécules sont dans la position d'équilibre,
- et l'autre composant est le champ selfconsistant qui remplace l'interaction d'une particule avec toutes les autres molécules du réseau.

La théorie de LJ et D peut être appliquées facilement aux liquides quantiques, en changeant l'expression de l'intégrale de configuration. De cette façon a été étudié l'hydrogène liquide pour lequel on obtient pour la grandeur v/a^3 la valeur 5/3.

Le modèle de LJ et D a été ensuite amélioré afin d'obtenir un bon accord avec les données expérimentales, non seulement pour les zones où l'état liquide s'approche de l'état solide

MODÈLE DES VIDES

-LES MODÈLE CELLULAIRE, avec toutes ses variantes, et tous ses résultats satisfaisants ne peut pas expliquer les changements ayant lieu dans le liquide.

Pour cette raison on dû abandonner l'idée que chaque cellule est occupée par une molécule, il y a donc des vides vacants.

Le modèle théorique des vides a été développé par Curtiss et Rowlinson:

Le nombre de molécules N est inférieur au nombre de cellules.

MODELE TUNNELAIRE

Le modèle tunnelaire est un modèle unidimensionnel de cellules désordonnée.

L'ensemble du système est imaginé comme étant divisé en sous-systèmes formés de molécules qui se déplacent dans une seule direction comme dans tunnels.

Il est supposé que le mouvement longitudinal et le mouvement transversal dans les tunnels existent, il peut être donc traité séparément.

Si nous avons K tunnels, dans chacun il existe M molécule.

MODÈLE UNIDIMENSIONNELLE

Comme indiqué ci-dessus, le modèle tunnelaire qui décrit le mieux l'état liquide est basé sur un modèle unidimensionnel du liquide, les molécules sont enfilées dans un tunnel. C'est pourquoi nous étudions plus en détail le modèle unidimensionnel d'autant qu'il est très pratique à utiliser lorsque les calculs sont approximatifs.

Ce modèle sera utilisé ci-après.

Le modèle de fluide unidimensionnel est la façon la plus simple d'imaginer la structure d'un liquide et a été proposé par Gürsez. Un système de N particules en équilibre avec un degré de liberté ($V = L$), sont disposées sur l'axe OX de longueur L dans la séquence $0 \leq x_1 < x_2 < \dots < x_N \leq L$ afin de ne pas se chevaucher.

Le modèle actuel - décrivant correctement l'état liquide que son propre modèle commence à partir de liquides, **basé sur le mouvement thermique du liquide varie d'un modèle propre à l'autre, basée sur la motion thermique du liquide**, mouvement thermique liquide différent - des gaz ou des solides en utilisant l'appareil mathématique de fonctions de corrélation.

PHYSIQUE DES FLUIDES

Le problème fondamental est de déterminer la distribution des pression et des vitesses dans un fluide.

5.3.STATIQUE DES FLUIDES

Dans un fluide au repos la pression est isotrope.

Sur chaque élément de surface du liquide s'exerce une force perpendiculaire à la surface et indépendante de l'orientation de l'élément de surface: $d\vec{F} = p d\vec{S}$

PRESSION HYDROSTATIQUE

En raison de leur poids, les couches de fluide exercent des pressions l'une sur l'autre. La variation de pression dp entre deux surfaces de niveau ($z, z + dz$) est donnée par le poids de la couche de fluide d'épaisse dz exercée par unité de surface :

$$dp = -\rho g dz ; \frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g ; \left(\frac{\partial p}{\partial x} > 0 \text{ si } \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \right) \quad (1)$$

Plus généralement,

la pression p dans un fluide est une fonction du point $p = p(x, y, z)$.

Sa variation est due au poids des couches de fluides à savoir la présence du champ gravitationnel (forces massiques). Le gradient de pression qui caractérise la variation de pression dans l'espace et est donné par les dérivées partielles de celui-ci, est un vecteur perpendiculaire aux surfaces de pression constantes (dans le sens d'une pression qui augmente), de sorte qu'il est perpendiculaire aux surfaces de champ gravitationnel constant dans le sens de ce champ.

Dans le cas particulier ci-dessus ces surfaces sont horizontales et le champ vertical est vers le bas, ce pourquoi le gradient de pression est réduit seulement aux composantes vectorielles (dans le système de coordonnées choisi).

En général, nous avons:

$$\text{grad} p = \frac{\partial p}{\partial \vec{r}} \cdot \frac{\vec{r}}{r} = \rho \vec{g} = \rho \vec{\Gamma} = \frac{d\vec{F}}{dV} \quad (2)$$

Le gradient de pression est égal à la force par unité de volume (densité volumique de force).

Au liquide la densité est pratiquement constante et donne par intégration: $p_2 - p_1 = -\rho \cdot g \cdot (z_2 - z_1)$

ou $|\Delta p| = \rho \cdot g \cdot h \quad (3)$

où h est la hauteur de la colonne de liquide

UNITÉ DE PRESSION

$$[p]_{SI} = \frac{[F]}{[S]} = L^{-1}MT^2 = 1 \frac{N}{m^2} = 1Pa$$

$$[p]_{CGS} = 1 \frac{dyn}{cm^2} = 1barye$$

Autres unités actuellement utilisées sont:

Torr (ou mm Hg) est égal à la pression exercée par une colonne de Hg haute de 1 mm dans un champ gravitationnel (standard)

$$1Torr = [\rho gh] = 13,5951 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,80665 \frac{m}{s^2} \cdot 10^{-3} m = 133,322 \frac{N}{m^2} \approx 133,3 \frac{N}{m^2}$$

Une atmosphère physique est égale à 760 Torr:

$$1atm = 760Torr = 760 \cdot 133,322 \frac{N}{m^2} = 101325 \frac{N}{m^2} \approx 1,013 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2} = 1,013bar$$

Une atmosphère technique est:

$$1at = \frac{kgf}{cm^2} = 98066,5 \frac{N}{m^2} \cong 9,8 \cdot 10^4 \frac{N}{m^2}; 1at = 735,392Torr \approx 735Torr;$$

$$1atm = 1,03323at; 1atm = 1,03323at \approx 1,033at$$

MILLIMÈTRE COLONNE D'EAU (mm H₂O)

$$1mmH_2O \approx 9,8 \frac{N}{m^2}; 1atm \approx 10,33mmH_2O;$$

$$1Torr \approx 13,6mmH_2O; 1at \approx 10mmH_2O$$

5.3.1.LOI DE PASCAL

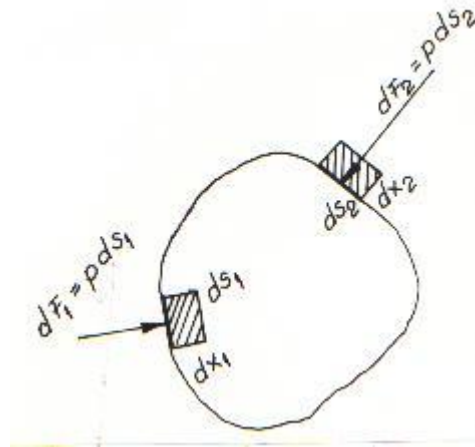


Fig.1 : Loi de Pascal

La pression qui s'exerce de extérieure à la surface d'un fluide incompressible est transmise dans le fluide avec la même intensité dans toutes les directions

La loi peut être déduite des considérations théoriques sur la conservation de l'énergie:

Le travail accompli par la force dF_1 sur la distance dx_1 doit être égale au travail de la force dF_2 sur la distance dx_2 :

$dF_1 dx_1 = dF_2 dx_2$ mais

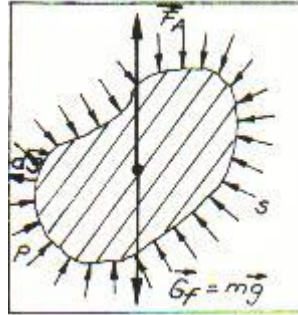
De la condition d'incompressibilité $dS_1 dx_1 = dS_2 dx_2$ lorsque en divisant les deux relations membre à membre nous avons: .

$$\frac{dF_1}{dS_1} = \frac{dF_2}{dS_2} = p \quad (4)$$

$$\oint_S -p \cdot d\vec{S} = \int_V \text{grad} p \cdot dV \quad (5)$$

L'intégrale à droite de relation(5) est le poids du fluide à l'intérieur de la surface fermée S.

5.3.2.LOI D'ARCHIMÈDE



Énoncé:

Un corps immergé dans un fluide est poussé vers le haut avec une force égale au poids du fluide déplacé par le corps.

Démonstration

On délimite à l'intérieur d'un fluide un certain volume V de fluide. Nous pouvons dire que nous l'avons délimité par un film infiniment mince, léger, parfaitement flexible et inextensible ce qui n'affecte pas l'équilibre du volume hydrique ainsi déterminé ou nous pouvons supposer que le volume de fluide s'est "solidifié".

Sur ce volume s'exercent la force de gravité et les forces de pression du fluide restant, forces qui sont perpendiculaires à la surface qui délimite le volume V . Comme ce volume de fluide est en équilibre, la résultante de toutes les forces de pression exercées normalement par le fluide restant sur sa surface doit être égale comme norme et opposée au poids du fluide délimités ayant le point d'application au centre de gravité du volume de fluide considéré.

En remplaçant maintenant le volume de fluide par un volume identique d'un corps quelconque, la résultante des forces de pression exercées par le fluide sur la surface du corps ne change en rien, reste comme précédemment, égale comme norme et opposée au poids du liquide déplacé par le corps, ayant le point d'application au centre de gravité du volume de fluide déplacé (le centre de pression).

Démonstration de la loi d'Archimède basée sur la formule hydrostatique :

La résultante des forces de pression est :

$$\oint_S (-p) d\vec{S} = \int_V (\text{grad } p) dV = - \int_V \rho \vec{g} dV = - \int_V \vec{g} dm = -\vec{G}_f \quad (6)$$

La première intégrale est la somme de toutes les forces des pressions exercées sur une surface fermée S à l'intérieur du fluide et que délimite le volume V .

De l'expression mathématique, nous avons:

La résultante des forces de pression exercées sur une surface enfermée à l'intérieur d'un fluide est égale comme norme et opposée comme sens avec le poids du liquide contenu par cette surface.

Le moment résultant des forces de pression:

$$\oint_S \vec{r} \times d\vec{F} = \oint_S \vec{r} \times (-p) d\vec{S} = - \oint_S p \vec{r} \times d\vec{S} = \int_V \text{rot}(p\vec{r}) dV = \int_V \text{grad } p \times \vec{r} dV = - \int_V \vec{r} \times \vec{g} dm = - \int_V \vec{r} \times d\vec{G}$$

(7)

J'ai utilisé le calcul:

$$\oint_S \vec{a} \times d\vec{S} = - \int_V \text{rot} \vec{a} dV$$

Et

$$\text{rot}(f\vec{a}) = \text{grad } f \times \vec{a} + f \text{rot} \vec{a}$$

Le moment résultant des forces de pression exercées sur une surface fermée d'un fluide est égale comme norme et opposée au moment résultant des forces de pesanteur du volume de liquide contenu par cette domaine.

Le poids apparent d'un corps immergé dans un fluide est donné par:

$$G_a = mg - \rho_f V \cdot g = mg \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_s} \right) \quad (9)$$

$$G_a = mg - \rho_f V \cdot g = mg \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_s} \right) \quad (10)$$

si $\rho_f < \rho_s$ le corps coule

si $\rho_f > \rho_s$ le corps monte à la surface (flotte)

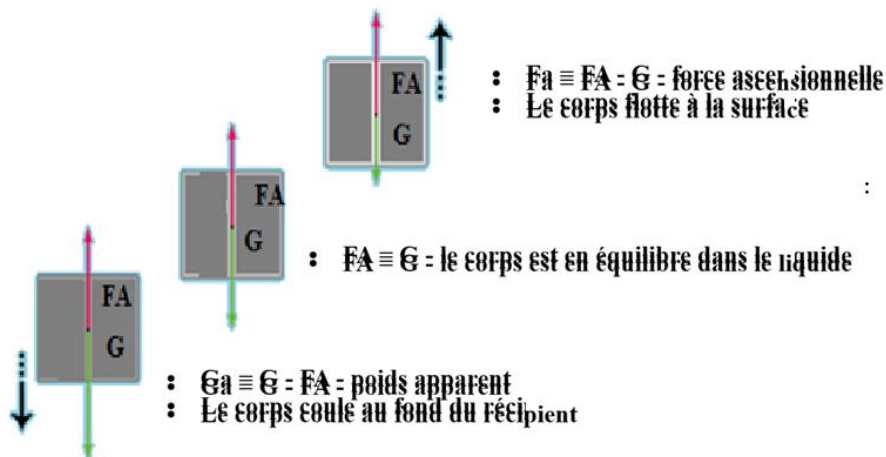
Où

ρ_f est le densité de fluide et

ρ_s est la masse volumique du solide.

Conditions d'équilibre dans un liquide

- $G_a = G - F_A$ - poids apparent
- Le corps coule au fond du récipient
- $F_A = G$ - le corps est en équilibre dans le liquide
- $F_a = F_A - G$ - force ascensionnelle
- Le corps flotte à la surface



Où $G = m \cdot g = \rho_c \cdot V \cdot g$ G est le poids du corps ; $\rho_c = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho_c \cdot V$

où ρ_c est la densité du corps ;

$F_A = \rho_l \cdot V \cdot g$ est la force d'Archimède

ÉCOULEMENT DE FLUIDE

La quantité de liquide dm passant au cours de temps dt par un élément de surface dS est:

$$dm = \rho dS_{\perp} v \cdot dt = \rho d\vec{S} \cdot \vec{v} \cdot dt = \vec{\mu} \cdot d\vec{S} \cdot dt \quad (11)$$

Où

$\vec{\mu} = \rho \cdot \vec{v}$ est la densité d'écoulement du fluide, en nombre égal à la masse de fluide passant par unité de temps par unité de surface placée perpendiculairement à la direction du courant:

$$\mu = \frac{dm}{dS_{\perp} dt} = \rho v; \vec{\mu} = \rho \cdot \vec{v}$$

ÉQUATION DE CONTINUITÉ

Le fluide est caractérisé par la distribution des vitesses (champ vectoriel) $\vec{v} = \vec{v}(\vec{r}, t)$

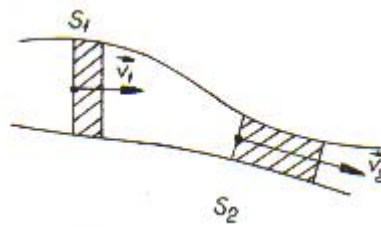
et des pressions (champ scalaire): $p = p(\vec{r}, t)$

Si la vitesse et la pression ne dépendent pas du temps, l'écoulement est stationnaire et est considéré comme une base permanente.

RÉGIME STABLE

Fig.4:

S1 et S2 deux sections où le liquide s'écoule à des vitesses différentes v_1 et v_2



Dans le cas d'un régime stable (permanent) la densité de fluide ne dépend pas du temps $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$

$$\text{et} \quad \text{div} \rho \vec{v} = 0 \quad (21)$$

$$\text{ou} \quad \int_V \text{div} \rho \vec{v} dV = \oint_S \rho \vec{v} d\vec{S} = 0 \quad (22)$$

On applique la dernière équation pour un tube de courant entre deux sections S1 et S2. Sur la surface latérale nous avons: $\vec{v} \cdot d\vec{S} = 0$

$$\text{Voilà pourquoi:} \quad \oint \rho \vec{v} \cdot d\vec{S} = \int_{S_2} \rho \vec{v} d\vec{S} - \int_{S_1} \rho \vec{v} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (23)$$

où les deux intégrales du membre droit se prennent dans le sens de l'écoulement.

$$\text{Par conséquent:} \quad Q_m = \int_{S_1} \rho \vec{v} d\vec{S} = \int_{S_2} \rho \vec{v} d\vec{S} = \text{constant} \quad (24)$$

Dans un régime stable le débit massique Q_m constant est le même dans chaque section d'un tube de courant.

Pour un tube mince, de sorte que la densité et la vitesse du fluide à la section de tube soient pratiquement constantes, on obtient

$$Q_m = \rho_1 v_1 S_1 = \rho_2 v_2 S_2 = \rho v S = \text{constant} \quad (25)$$

FLUIDE INCOMPRESSIBLE

Ainsi, dans le cas d'un écoulement de fluide incompressible, tel que le débit volumique et le débit massique sont constante au long d'une tube de courant.

Prenant les vitesses moyennes sur la section du tube, l'équation (29) devient:

$$Q_v = \langle v \rangle S = \text{const.} \quad (30.1)$$

et

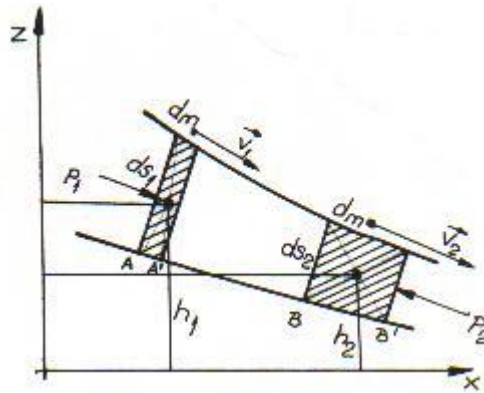
$$Q_m = \langle v \rangle S = \text{const.} \quad (30.2)$$

Là où le tube se rétrécit la vitesse du fluide augmente.

Donc là où les lignes de courant s'épaississent, la vitesse du fluide augmente.

5.3.3.LOI DE BERNOULLI

Figure 5:
Schéma utile pour
la loi de Bernoulli



On a appelé FLUIDE IDEAL un fluide incompressible et sans viscosité.

Les fluides idéaux peuvent être considérés comme incompressibles avec une précision assez bonne. Bien que les gaz soient facilement compressibles, leur compressibilité se produit uniquement à des vitesses proches de la vitesse du son.

L'expérience montre qu'un grand nombre de liquides et même de gaz, si leurs vitesses sont beaucoup plus petites que la vitesse de son, les gradients de la vitesse sont petits, correspondent de manière satisfaisante au fluide idéal.

Nous étudions dans ce paragraphe le flux de fluide parfait.

LOI DE BERNOULLI – Demonstration

Considérons le fluide idéal et un tube de courant infiniment mince, délimité à ses extrémités par deux sections dS_1 , dS_2 et appliquons à la quantité de liquide ainsi délimitée le théorème de variation de l'énergie mécanique.

Pendant dt le système se déplace le long du tube de la position $A'B'$ à la position AB .

Tout se passe comme si de la portion AA' disparaissait la masse

$$dm = \rho \cdot dS_1 \cdot v_1 \cdot dt = \rho \cdot dV \quad (31)$$

avec l'énergie cinétique $\frac{dm \cdot v_1^2}{2}$

et l'énergie potentielle $dm \cdot g \cdot h_1$

Dans la portion BB' apparaît une masse égale (en raison de l'incompressibilité du fluide idéal): $dm = \rho \cdot dS_2 \cdot v_2 \cdot dt = \rho \cdot dV$

avec l'énergie cinétique $\frac{dm \cdot v_2^2}{2}$

et l'énergie potentielle $dm \cdot g \cdot h_2$.

La variation de l'énergie mécanique (cinétique et potentielle) du système est donc:

$$dE = \frac{1}{2} dm (v_2^2 - v_1^2) + dm \cdot g (h_2 - h_1) \quad (32)$$

et doit être égale au travail des forces de pression exercées sur le système considéré:

$$dW = F_1 \cdot dx_1 - F_2 \cdot dx_2 = p_1 \cdot dS_1 \cdot v_1 \cdot dt - p_2 \cdot dS_2 \cdot v_2 \cdot dt = p_1 \cdot dV - p_2 \cdot dV \quad (33)$$

$$\text{Et } dV = \frac{dm}{\rho}$$

Les forces de pression latérales n'effectuent pas de travail et nous n'avons aucune force tangentielle de frottement, le fluide étant supposé parfait (sans viscosité) $dE = dW$

$$\text{Donc: } p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (34)$$

$$\text{ou } p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{const.} \quad (35)$$

la loi Bernoulli

Constanta diffère généralement d'une ligne de courant actuelle à l'autre (c'est la même à l'écoulement sans tourbillons).

- **p est la pression statique**
- **$p_d = (1/2) \cdot \rho \cdot v^2$ - pression dynamique** (due à l'énergie cinétique du fluide est étant égale à l'énergie cinétique de l'unité de volume)
- **$p_p = \rho \cdot g \cdot h$ - position de pression** (ou pression potentielle en raison de l'énergie potentielle est étant égale à l'énergie potentielle de l'unité de volume)
- **La loi de Bernoulli**

La pression totale dans un fluide est constante le long d'une ligne de courant.

La pression statique est exercée sur un élément de surface disposé parallèlement à des lignes de courant, par exemple sur les parois du tube (elle est parfois appelée pression sur les parois) ou exercée sur un élément de surface orienté de manière arbitraire mais déplacé conjointement avec le fluide.

La pression statique est mesurée avec une sonde de pression.

La pression dynamique est mesurée avec le tube de Prandtl.

La pression totale est exercée sur un élément de surface placé perpendiculairement aux lignes d'écoulement et est mesurée avec le tube de Pitot ayant l'ouverture placée perpendiculairement aux lignes de courant.

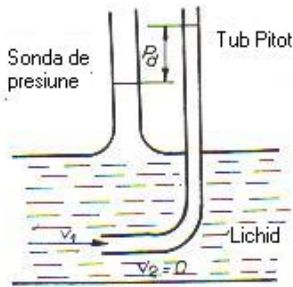
Pour les tubes horizontaux le principe de Bernoulli est:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 = p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{const.}$$

PARADOXE hydrodynamique

Quand les particules entrent dans la portion étroite d'un tube de courant leur vitesse augmente (quand le flux est constant), c'est-à-dire qu'elles se déplacent plus rapidement en conclusion la pression du fluide dans la partie large du tube doit être supérieure à la partie étroite.

Dans la portion étroite du tube la vitesse augmente (conformément à l'équation de continuité) et la pression dynamique augmente aussi, donc la pression statique doit diminuer, c'est-à-dire la pression sur les parois pour que leur somme reste constante, selon l'équation de Bernoulli (le PARADOXE hydrodynamique)

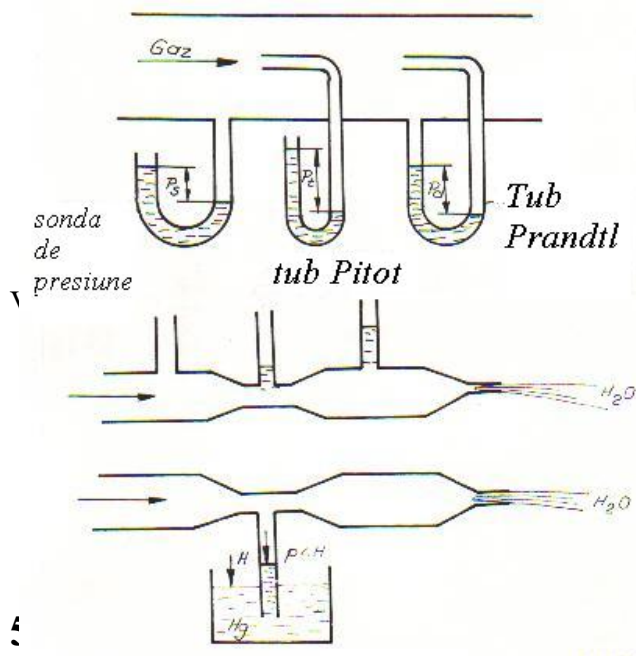


Pulvérisateur, trompe à l'eau, lampes Bunsen

La pression au niveau du col peut même descendre au dessous de la pression atmosphérique de telle sorte que le phénomène d'aspiration peut se produire.

Le nom de cette application pratique inclut: le pulvérisateur, trompe à l'eau, les lampes Bunsen.

Cette application est basée sur le phénomène d'aspiration.



LA VISCOSITÉ

À des vitesses pas trop élevées, l'écoulement des fluides est linéaire (en couches parallèles), c'est-à-dire que les lignes de courant sont bien définies et ne se croisent pas entre elles, chaque particule de fluide glisse et reste toujours dans le même tube de courant.

À des vitesses supérieures, le mouvement du fluide est turbulent, irrégulier, les portions de fluide se mélangent. Il existe aussi l'écoulement du fluide idéal à tourbillons.

Si les couches de fluide glissent les unes contre les autres, entre elles apparaissent les forces de frottement interne ou viscosité.

La couche à vitesse inférieure freine la couche à vitesse supérieure et inversement, la couche à vitesse supérieure freine la couche à vitesse d'écoulement inférieure.

L'apparition de ces forces, situées dans les plans de glissement est expliquée par la variation d'impulsion des couches en raison du passage des molécules d'une couche à l'autre. Nous allons supposer que la direction d'écoulement du fluide est la même partout, et que la vitesse d'écoulement varie sa norme ou module seulement dans la direction perpendiculaire (transversale) à la direction d'écoulement.

L'exemple montre que **la force de frottement interne qui se produit dans le plan de glissement par unité de surface est proportionnelle au gradient de vitesse** c'est-à-dire la **variation de la vitesse avec la distance (LOI DE NEWTON)**:
$$\tau = \frac{dF}{dS} = \eta \frac{dv}{dz} \quad (38)$$

Donc,
$$dF = \eta \frac{dv}{dz} dS \quad (39)$$

Où **η est le coefficient de viscosité dynamique** dépendent de la nature du fluide (et de la température). L'unité de mesure du coefficient de viscosité est la suivante:

$$[\eta]_{S.I.} = \frac{N \cdot m}{m^2 \cdot \frac{m}{s}} = \frac{N \cdot s}{m^2} = Pa \cdot s = \frac{Kg \cdot m \cdot s}{s^2 \cdot m^2} = \frac{Kg}{m \cdot s}$$

$$[\eta]_{S.I.} = \frac{N \cdot s}{m^2}$$

L'Unité C.G.S. est poise (P) (d'après le nom de Poiseuille):

$$1P = 1 \frac{g}{cm \cdot s} = 0,1 \frac{Kg}{m \cdot s}$$

Alors l'unité en **S.I. est DECAPOISE (daP).**

aux liquides : $\eta \sim 10^{-3}$ daP

aux gaz : $\eta \sim 10^{-5}$ daP

VISCOSITÉ CINÉMATIQUE

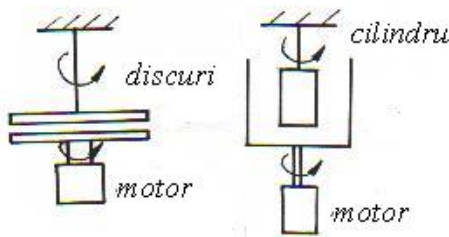
LA VISCOSITÉ CINÉMATIQUE est le rapport de la viscosité et de la densité ρ du fluide: $\nu = \eta / \rho$

Et son unité de mesure est: $[\nu]_{S.I} = 1 \frac{Kg}{m \cdot s} \cdot \frac{m^3}{Kg} = 1 \frac{m^2}{s}$

Dans le système CGS l'unité s'appelle STOKES (St)

$$1St = 1 \frac{cm^2}{s} = 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

- ▶ Aux liquides $\nu \cong 10^{-6} m^2/s$
- ▶ Aux gaz $\nu \cong 10^{-5} m^2/s$ (est plus grande qu'aux liquides)



L'existence du frottement interne (viscosité) est montrée expérimentalement à l'aide d'un fil de suspension d'un disque ou d'un cylindre sous lequel tourne un autre disque ou un autre cylindre. La couche de fluide à proximité immédiate du corps en rotation adhère à ce corps et est entraînée par lui. Les autres couches sont entraînées à des vitesses de plus en plus petites jusqu'à la dernière couche adhérent à l'autre disque ou cylindre sur lequel s'exerce ainsi une force de frottement qui va le faire tourner.

5.3.5.LA FORMULE DE POISEUILLE

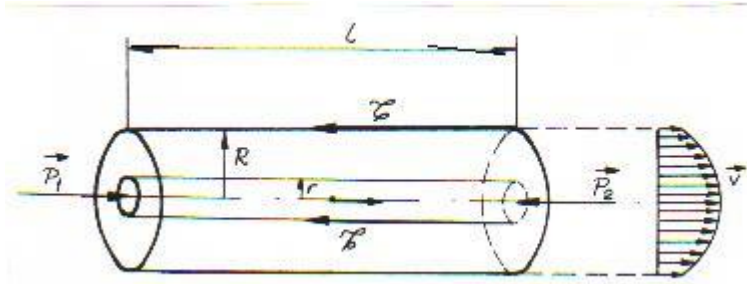


figure 10

Étudions l'écoulement linéaire stationnaire d'un fluide visqueux à travers un tube.

L'écoulement linéaire se produit à des vitesses ou à des diamètres pas trop grands.

Délimitons un tube de courant de rayon r

(voir figure 10). Le fluide de ce tube est soumis aux forces de pression qui s'exercent aux extrémités du tube ayant la résultante $(p_1\pi r^2 - p_2\pi r^2)$ et à la force de frottement interne exercée sur la surface latérale par le reste du fluide à cause de la viscosité.

L'écoulement étant stationnaire (vitesse constante), les forces sont équilibrées: $p_1 \cdot \pi \cdot r^2 - p_2 \cdot \pi \cdot r^2 = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l \cdot \tau$

La force de frottement interne sur la surface latérale exercée par le fluide due à la viscosité est $\tau \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l$

L'écoulement étant stationnaire (vitesse constante), les forces sont équilibrées: $(p_1 - p_2) \cdot \pi \cdot r^2 = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l \cdot \tau$
ou

$$(p_1 - p_2)r = -2l\eta \cdot \frac{dv}{dz} \quad (40)$$

τ - est la force de frottement interne

Le signe moins se pose parce que le signe de moins de gradient de la vitesse.

La vitesse est maximale sur l'axe du tube et diminue sur les parois du tube étant nulle dans la couche adjacente aux parois $\frac{dv}{dz} < 0$.

Par intégration $dv = -\frac{p_1 - p_2}{4l\eta} r dz$,

on obtient : $v = -\frac{p_1 - p_2}{4l\eta} r^2 + C$

La constante C est déterminée par la condition qu'à la paroi pour $r = R$, sa vitesse soit nulle.

$$v(r) = \frac{p_1 - p_2}{4l\eta} (R^2 - r^2) = v_m \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad (43)$$

où

$$v_m = \frac{(p_1 - p_2)R^2}{4l\eta}$$

$$\text{alors} \quad \frac{v}{v_m} = 1 - \frac{r^2}{R^2} \quad (44)$$

La distribution des vitesses est parabolique.

On Pour calculer le débit volumique :

$$Q_v = \int v dS = \int_0^r v \cdot 2\pi r \cdot dr = \int_0^r \frac{2\pi(p_1 - p_2)}{4l\eta} (R^2 - r^2) r dr = \frac{2\pi(p_1 - p_2)}{4l\eta} \cdot \int_0^r (R^2 - r^2) r dr = \frac{\pi(p_1 - p_2)}{8l\eta} R^4 = S_v \quad (46)$$

$$\text{unde } v = \frac{p_1 - p_2}{8l\eta} R^2$$

$$Q_v = \frac{\pi(p_1 - p_2)}{8l\eta} R^4 = S_v \quad (47)$$

$$\text{ou } v = \frac{p_1 - p_2}{8l\eta} R^2$$

Ceci est la formule de Poiseuille (1841).

Le débit Q est proportionnel à la perte de pression (p1-p2) par unité de longueur l du tube et est proportionnel à la quatrième puissance du rayon du tube.

Cette formule peut être utilisée pour déterminer la viscosité des fluides (par exemple dans le viscosimètre OSTWALD).

La loi de Poiseuille explique certains aspects de la physiologie de la circulation sanguine. *Le réseau capillaire humain totalise 10⁵ km.*

En fonction des besoins du corps le débit sanguin peut être facilement ajusté par la contraction ou la dilatation des vaisseaux sanguins.

COUCHE LIMITE. LOI DE STOKES

Quand un corps se déplace dans un fluide, une très mince couche de fluide, entraînée par le corps adhère à sa surface. En régime linéaire, donc à des vitesses pas trop grandes, à proximité du corps se trouve une couche relativement fine, dite **couche limite**, dans laquelle la vitesse diminue jusqu'à zéro et les forces de frottement s'exercent à cause de la viscosité.

On évalue l'épaisseur de la couche limite de la façon suivante: on désigne la longueur et la largeur de la couche limite par h et b . Alors la force de frottement interne, conformément à

$$\text{la loi de Newton est: } F \cong \eta \cdot (v/d) \cdot h \cdot b \quad (48)$$

D'autre part, la force de frottement interne peut être déterminée à partir de la variation d'impulsion du fluide (quantité de mouvement) (de la couche à vitesse nulle à la couche à vitesse v) par unité de temps :

$$F \cong Qm \cdot v = \rho \cdot d \cdot b \cdot v \cdot v = \rho \cdot d \cdot b \cdot v^2 \quad (49)$$

De ces deux expressions il s'ensuit :

$$d \cong \sqrt{\frac{h\eta}{\rho v}} \quad (50)$$

Si le rapport $(h \cdot b)/d = l$ est une longueur caractéristique du corps, alors la force de frottement devient:

$$F = \text{const} \cdot \eta \cdot l \cdot v \quad - \text{loi de Stokes} \quad (51)$$

LOI DE STOKES: la force de frottement F subie par un corps (en régime d'écoulement) est proportionnelle à la viscosité du fluide η , à la dimension linéaire caractéristique l du corps et à sa vitesse v .

Dans le cas de la sphère, on obtient la formule de Stokes

$$F = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v \quad (52)$$

dans laquelle r est le rayon de la sphère.

5.4.APPLICATIONS: HÉMODYNAMIQUES

La physique de la circulation sanguine est une application des lois de l'hydrostatique et de l'hydrodynamique.

L'hémodynamique est aujourd'hui considérée comme un chapitre de la rhéologie, la science de l'écoulement du fluide visqueux.

Les difficultés de mise en œuvre des lois de l'hydrodynamique en hémodynamique tiennent d'extensibilité des vaisseaux, à leur calibre variable en fonction des conditions physiologiques (ce calibre est influencé par la pression artérielle, la teneur en dioxyde de carbone, l'innervation et les hormones) ainsi qu'au caractère non constante du flux vasculaire dans la plupart des parties du système.

La densité du sang humain est d'environ $1,655 \text{ g / cm}^3$.

La pression $1 \text{ mm Hg} = 1331 \text{ dyn / cm}^2$ est équivalente à $1,20 \text{ cm}^3$ de sang.

Dans le cœur, la pression artérielle est pulsatile, avec une moyenne d'environ 100 mm Hg , ce qui correspond à 129 cm^3 de sang.

Dans la position horizontale du corps humain, les pressions artérielles moyennes dans le cerveau et les jambes sont approximativement égales,

Dans la position verticale (orthostatisme) la pression artérielle de 80 mm Hg dans le cerveau est plus petite et elle est plus grande dans les jambes (200 mm Hg)

APPLICATIONS: HYDROSTATIQUE DU SANG

«FACTEUR HYDROSTATIQUE"

Ce facteur explique les accidents d'aviation vus pendant les accélérations aux loopings ainsi que les difficultés de formation au pilotage à un avion de combat multirôle (chasseur léger) .

Dans ces conditions, le sang est soumis à l'action de forces d'inertie correspondant à un multiple de g.

Pour une accélération centripète égale à 3 g, le facteur hydrostatique dans les artères cérébrales la valeur de 111 mm Hg .

En soustrayant cette valeur à la valeur moyenne de 100 mm Hg au niveau du cœur, il en résulte une pression négative à l'intérieur des artères du cerveau, inférieure à la pression atmosphérique; les artères sont aplaties, fermées, le sang ne circule pas dans le cerveau.

Par contre si la force d'inertie est orientée dans la direction opposée, a lieu la congestion du cerveau et des vaisseaux de la rétine, avec des troubles visuels.

Dans l'état d'apesanteur ($g = 0$), les pressions dans le système circulatoire sont indépendantes de la position.

Dans les veines agit la même facteur hydrostatique, sauf que les veines périphériques connexes ont des valves qui fragmentent la colonne de sang. Si une veine de la jambe est canulée et en liaison avec un long tube vertical contenant une solution saline, son niveau augmente près du niveau du cœur (le sujet étant debout et immobile) . Dans le cas de la contraction de muscles de la jambe, les veines sont "massées" et le sang est poussé vers le haut, les valves empêchant le retour du sang vers les zones plus basses (la pompe musculaire). Immobilité en position debout ou assise défavorable en augmentant la pression veineuse, le passage du fluide de la circulation sanguine dans les jambes (œdème dépendant).

Le mouvement du sang dans les vaisseaux sanguins doit surmonter certaines résistances.

Il existe une force d'adhérence entre les liquide et les matières solides qu'il mouillé, force qui empêche le mouvement de la couche de fluide au voisinage de la paroi;

Ensuite, il y a la viscosité qui s'oppose au glissement d'une couche sur une couche voisine de sang. La couche adjacente à la paroi a une vitesse égale à zéro, tandis que la couche axiale a une vitesse maximale. Quand la vitesse est modérée et le diamètre du tube pas très grand, l'écoulement est laminaire (sans tourbillons).

Si le régime d'écoulement est invariable dans le temps l'écoulement est appelé stationnaire.

Dans un tube cylindrique, les couches de fluide en écoulement laminaire et stationnaire sont des cylindres coaxiaux.

Hagen a montré que la vitesse v_r dans un point situé à une distance r de l'axe (où la vitesse est

maximale, v_m) est donnée par:
$$v_r = v_m \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right)$$

où R est le rayon du tube.

Par conséquent, la distribution des rayoons est faite suivant une parabole.

La valeur de v_m dépend du gradient de pression le long du tube, du rayon R et de la viscosité:

$$v_m = \frac{\Delta p}{\Delta x} \cdot \frac{R^2}{4\eta}$$

FLUX SANGUIN

La viscosité de l'eau à la température du corps est de 0,69 centipoises, et

La viscosité du sang est trois ou quatre fois plus grande pour un nombre normal de globules rouges.

Le sang n'est pas un fluide newtonien. Avec l'augmentation du pourcentage de globules rouges dans le volume sanguin, la viscosité augmente rapidement, suivant presque une courbe exponentielle. Lorsque la quantité est supérieure à 70% d'hématocrite le sang ne peut pas être considéré comme un fluide. Dans l'anémie, la viscosité faible peut provoquer des troubles circulatoires et de l'activité cardiaque.

Quand la température diminue, la viscosité du sang augmente beaucoup ce qui est considéré comme un facteur important dans la réduction de la circulation dans les extrémités exposées au froid (ce le cas des gelures).

T. R. Fahraeus et Lindqvist ont constaté que, contrairement à l'eau le valeur du sang diminue nettement si le diamètre du tube est inférieur à 1 mm (effet sigma). Si d est le diamètre de l'érythrocyte, et la viscosité effective dans un tube de rayon infini, la viscosité effective dans un tube de rayon R est donnée

par:
$$\eta_R = \eta_\infty / \left(1 + \frac{d}{R} \right)^2.$$

ÉCOULEMENT LAMINAIRE ET TURBULENT

La loi de Poiseuille montre une relation linéaire entre la pression et le débit, uniquement pour une certaine gamme de vitesses.

La vitesse critique d'écoulement change la pente de la courbe et la courbe s'aplatit.

Le point critique est le point où l'écoulement laminaire se transforme en un écoulement turbulent, tourbillonnaire.

Dans l'écoulement turbulent la résistance n'est pas donnée seulement par la viscosité du fluide, mais également par la perte d'énergie sous forme d'énergie cinétique du vortex.

La vitesse critique est donnée par: $v_c = (K \cdot \eta \rho) / R$

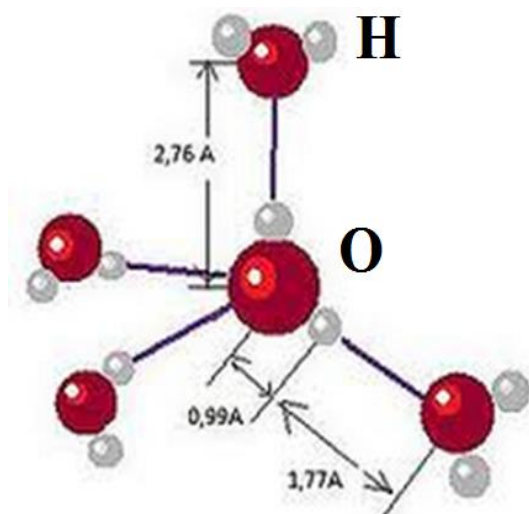
où $K \cong 1000$ s'appelle le nombre de Reynolds (v_c est donnée en cm.s^{-1} , η en poise, ρ en g.cm^{-3} , et R en cm).

Pour aorte ($R = 1 \text{ cm}$), (la viscosité sanguine) $\eta = 0,001 \text{ g.cm}^{-3}$,
 $v_c = 40 \text{ cm.s}^{-1}$.

La vitesse moyenne du sang dans l'aorte peut être calculée à partir du débit, c'est-à-dire en divisant $83 \text{ cm}^3.\text{s}^{-1}$, à l'aire de la section transversale 4 cm^2 ;

$V_m = 20 \text{ cm.s}^{-1}$.

5.5.LA MOLÉCULE D'EAU



O-H=0,99 Å

O-O = 2,76 Å

H-H = 1,77 Å

Il y a dans la nature des isotopes H et O comme suit:

${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_1\text{H}$

${}^{16}_8\text{O}$, ${}^{17}_8\text{O}$, ${}^{18}_8\text{O}$

Il peut exister 18 espèces de molécule d'eau.

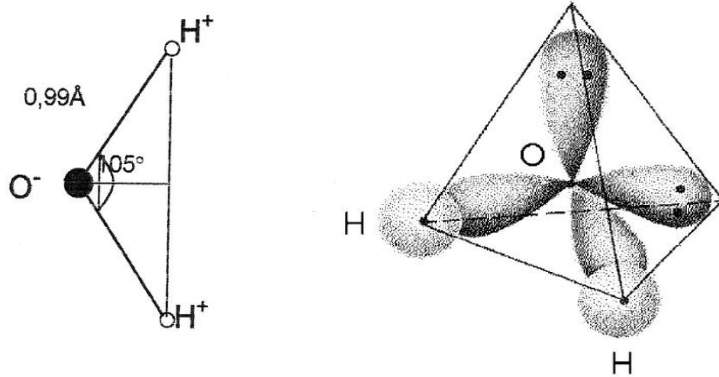
La structure électronique de la molécule d'eau.

${}^1_1\text{H}$ $Z = 1$ $1s^1$

${}^{16}_8\text{O}$ $Z = 8$ $1s^2$ $2s^2$ $2px^2$ $2py^1$ $2pz^1$

1. A Neagu, M. Neagu, Curs de Biofizica pentru facultatea de Medicina Dentara, Ed. Eurobit, 2007.

L' Eau - structure et propriétés physiques



- La molécule d'eau a des atomes coplanaires.
- L'angle entre les deux liaisons O-H = 105° .
- La longueur de la liaison O-H = 0,99 Å.
- L'atome O étant plus électronégatif que H, la paire d'électrons de la liaison covalente O-H est attirée plus vers l'atome O.
- Il existe un moment dipolaire de 1,5 D (Debye) dans la liaison O - H qui donne par une somme vectorielle pour la molécule H_2O un moment dipolaire de 1,84 D.
- L'angle entre les deux liaisons OH est de 105° à 109° – qui est l'angle entre les orbitales hybrides sp^3 .
- Parmi les quatre orbitales de valence sp^3 de l'atome de O, deux sont impliquées dans des liaisons OH et deux ont une paire d'électrons non - participants.
- Les ponts d'hydrogène sont formés entre les liaisons OH et les électrons non - participants de l'atome O.
- La distance entre les deux atomes O dans la molécule d'eau situés aux extrémités d'un pont d'hydrogène est 2,76 Å.
- L'énergie du pont d'hydrogène est 5 kcal / mol.
- L'énergie requise pour la dissolution de la liaison covalente OH est 110 kcal / mol.
- Avec deux liaisons OH et deux paires d'électrons non - participants, une molécule d' H_2O participe à quatre ponts d'hydrogène et pour deux est donneur de protons.
- Les deux liaisons OH et deux paires d'électrons non – participants sont orientées vers le haut au centre d'un tétraèdre.
- Les liaisons de H sous-tendent la formation de structures supramoléculaires pour la glace et l'eau liquide.
- A Neagu, M. Neagu, Curs de Biofizica pentru facultatea de Medicina Dentara, Ed. Eurobit, 2007.

L'eau peut exister dans les états d'agrégation suivants :

SOLIDE ($T < 0^{\circ}\text{C}$)

LIQUIDE ($0-100^{\circ}\text{C}$ et $p = 1 \text{ atm}$)

GAZEUX ($T > 100^{\circ}\text{C}$)

La structure à l'état gazeux est assez vide, avec une densité calculée d'environ $0,9 \text{ g / cm}^3$.

La forme tétraédrique change avec la fonte de la glace, pour le changement de configuration, la chaleur latente de fusion est nécessaire.

La destruction de la configuration du cristal fait que certaines zones du cristal soient occupées par d'autres molécules d'eau, ce qui explique l'augmentation de la densité de l'eau à 4°C lorsque la densité maximale est 1 g / cm^3 . Avec l'augmentation de la température au-dessus de 4°C , il se produit un mouvement thermique suffisant qui diminue la densité des molécules d'eau au-dessus de cette température.

Pour qu'une molécule d'eau se congèle elle devrait donner $1,44 \text{ kcal}$ au milieu (l'énergie des liaisons d'hydrogène de la glace est 10 kcal / mol).

De ce bilan énergétique on peut déduire qu'environ 15% des liaisons d'hydrogène se rompent quand la glace fond.

La conclusion de tout cela est que l'eau contient encore 85% des liaisons d'hydrogène après la décongélation de la glace de sorte que la configuration spatiale change.

Les propriétés physiques de l'eau

Densité	L' eau	1000 kg/m^3
	La glace	920 Kg/m^3
Chaleur latente spécifique	de fusion	340.000 J/kg
	de vaporisation	$2.250.000 \text{ J/kg}$
Chaleur spécifique	L'eau	4185 J/(kg.K)
Tension superficielle	L'eau	$72,8 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$
Résistivité électrique	ρ à 25°C	$182.103 \Omega.\text{m}$
Conductivité électrique	σ à 25°C	$5,5 \cdot 10^{-6} \Omega^{-1} .\text{m}^{-1}$
Permittivité électrique	ϵ_r	80

Effets des solvates sur la structure moléculaire de l'eau

Après la dissolution des substances dans l'eau, se produit le changement de la structure moléculaire de l'eau, en raison des interactions de différents types qui s'exercent entre les molécules d'eau et les molécules ou les ions des solvates.

Suite à la dissolution dans l'eau, un électrolyte fort se dissocie en ions positifs et négatifs.

Entre ces ions et les molécules d'eau se produisent des interactions permanentes du type ion-dipôle, ce qui détermine l'orientation des dipôles de l'eau autour des ions (extrémité chargée de signe opposé situé à proximité de l'ion).

Le phénomène s'appelle hydratation de l'ion.

La **coordinnence** ou **nombre de coordination** ou **indice de coordination** d'un atome d'eau est le nombre d'atomes voisins les plus proches dans les trois directions de l'espace.

Les propriétés de l'eau d'hydratation:

- densité augmentée
- point de fusion et température d'ébullition t augmentés

Ionul	Chifre de coordination
Na ⁺	8
K ⁺	4
Ca ²⁺	10
Cl ⁻	2

ROLE BIOLOGIQUE DE L'EAU

1. **L' eau est le constituant principal de la matière vivante.**
2. L' eau constitue le solvant universel de la matière vivante intra et extracellulaire.
3. L' eau ajuste la pression osmotique des trois secteurs de l'eau par les mécanismes suivants:
 - diffuse à travers les membranes biologiques qui séparent des espaces de fluide,
 - est éliminée ou retenue dans le corps selon les besoins,
 - le volume de fluide peut être obtenu par l'ingestion d'eau.
4. L'eau est le milieu dans lequel se produisent les réactions chimiques et biochimiques multiples du corps (hydrolyse, oxydation, par les ions d'hydrogène elle participe à des réactions enzymatiques).
5. L'eau participe à maintenir une température corporelle constante (thermorégulation).
6. L'eau est un bon solvant pour former une série de solutions moléculaires ou de substances colloïdales, qui circulent de l'environnement interne du corps à la cellule et vice versa. (permet le transport de déchets provenant du métabolisme cellulaire aux organes d'excrétion).
7. L'eau participe à éliminer les déchets de l'organisme par les reins.
8. L'eau joue un rôle important dans la protection du fœtus.

CLASSIFICATION DE L'EAU DU CORPS

Suivant la place où elle se trouve par rapport aux autres cellules:

- intracellulaire
- extracellulaire
 - Interstitielle (extravasculaire)
 - Circulante (intravasculaire)

Suivant sa distribution tissulaire:

- l'eau tissulaire (l'eau qui est contenue dans les tissus)
- l'eau cavitaire (l'humeur aqueuse et vitrée, le liquide céphalo-rachidien)

Suivant l'état chimique:

- l'eau libre
- l'eau liée
- l'eau structurée

L'EAU LIBRE – est l'ensemble des molécules extracellulaires qui circulent à travers les espaces extracellulaires et autour des complexes macromoléculaires de l'intérieur des cellules.

L'EAU LIBRE :

- est le solvant pour les substances en milieu aqueux
- produit une pression osmotique
 - transporte les nutriments de l'environnement extérieur à la cellule
 - transporte les résidus des processus cataboliques de la cellule à l'extérieur

L'EAU LIÉE - est la fraction liée aux macromolécules: protéines, acides nucléiques, complexes macromoléculaires par le biais de groupes polaires, hydrophiles.

La disposition autour des formations protéiques est ordonnée par rapport aux forces électriques présentes à la surface de ces molécules.

L'aspect de la disposition de l'eau est plus désorganisé, plus chaotique à mesure que la distance entre la molécule de protéine centrale et ses couches environnantes augmente.

L'importance de l'eau liée est remarquable du point de vue métabolique, elle indique indirectement le niveau d'activité métabolique de l'organisme. Plus la quantité d'eau liée est grande, plus les échanges avec le milieu environnant sont intenses.

D'après l'analyse RMN, il a été conclu que le volume d'eau liée diminue dans les tumeurs malignes par rapport aux tissus normaux.

Propriétés de l'eau liée:

Elle a une très faible température de congélation (en dessous de 20 ° C).

Elle est hautement résistante à la dessiccation.

Elle ne présente pas de traces de solvant.

Elle ne peut pas traverser la membrane lors des échanges osmotiques entre la cellule et l'environnement interstitiel.

Elle est non- transférable par osmose.

L'EAU STRUCTURÉE est de nature intermédiaire entre l'eau libre et liée.

Elle entre dans la composition des aliments (protéines, glucides et lipides) quand ils sont stockés sous forme de macromolécules.

Par la dégradation des substances stockées, l'eau structurée est libérée et se joint à l'eau libre de l'environnement.

Suivant son origine on distingue:

- l'eau exogène (apportée de l'extérieur du corps, la consommation d'eau par jour chez l'homme est 2 l)
- l'eau endogène (produite par des processus métaboliques est 0,3 l/jour)

Distribution de l'eau corporelle (%)

70% du corps est constitué d'eau

Il y a des variations selon l'âge et le sexe

	L'eau totale	L'eau intracellulaire	L'eau extracellulaire		
			Le plasma	L'eau interstitielle	L'eau totale
Enfants	75	45	4	26	30
Hommes (adultes)	60	40	3	15	20
Femmes (adultes)	50	35	4	11	15

Z.Simon, Fl. Rotemberg, G.I. Mihalas, Biofizica, Lito IMT, 1 989, p.39

L'âge	L'eau totale	L'eau intracellulaire	L'eau interstitielle	Le plasma
Les nouveau-nés	75	35	35	5
Moins de 1 an	70	35	30	5
1-10 ans	60-65	35-40	20-25	5
10-50 ans	55-60	40-45	15	5
Plus de 50 ans	50-55	35-40	10	5

Rodica Caprita, Biofizica, Ed. Mirton, Timisoara, 2000, p.87

Distribution de l'eau corporelle (%) Conformément à (A. Neagu, M. Neagu, Curs de biofizica pentru facultatea de Medicina dentara, Ed. Eurobit , 2007)	
Tissus / organes	L'eau (%)
cheveux ou poiles	4
dentine	10
squelette	30
tissu nerveux	70
poumon	81
cerveau	85
plasma sanguin	93
tissu embryonnaire	97
Distribution de l'eau corporelle (%) Conformément à (Rodica Caprita, Biofizica, Ed. Mirton , Timisoara, 2000, p.87)	
Tissus / organes	L'eau (%)
tissu adipeux	10
Tissu osseux	22
foie	68,3
peau	72
intestin	74,5
cerveau	74,8
muscle	75,6
rate	75,8
poumon	79
cœur	79,2
rein	82,7
sang	83

APPORT ET ELIMINATION DE L'EAU DU CORPS

Lorsque entre la consommation d'eau et de son élimination il n'y a pas de différence quantitative, la balance hydrique est équilibrée

$Q_{\text{apporté}} = Q_{\text{éliminé}}$ –

Où $Q_{\text{apporté}}$, $Q_{\text{éliminé}}$ sont le débit correspondant à l'apport, respectivement à l'élimination de l'eau.

$Q_{\text{apporté}} > Q_{\text{éliminé}}$ – le déséquilibre hydrique est positif – apparaît l'oedème.

$Q_{\text{apporté}} < Q_{\text{éliminé}}$ – le déséquilibre hydrique est négatif – une déshydratation aiguë se produit.

L'apport d'eau en 24 heures est:

- 2500 ml - chez les adultes
- 2700 ml - chez les enfants

Ces quantités proviennent de :

- 1200 ml de l'ingestion d'eau,
- 300 ml de l'oxydation des substances organiques et
- 1000 ml des aliments.

Une ingestion excessive d'eau conduit à l'intoxication hydrique et s'explique par la concentration intracellulaire réduite d'électrolytes.

L'élimination se fait en grande partie par:

- Urine: 1200 ml
- Peau 800 ml.
- Respiration: 400 ml.

La mesure dans laquelle une substance est prise dans le sang et excrétée dans l'urine est exprimée par ce qu'on appelle:

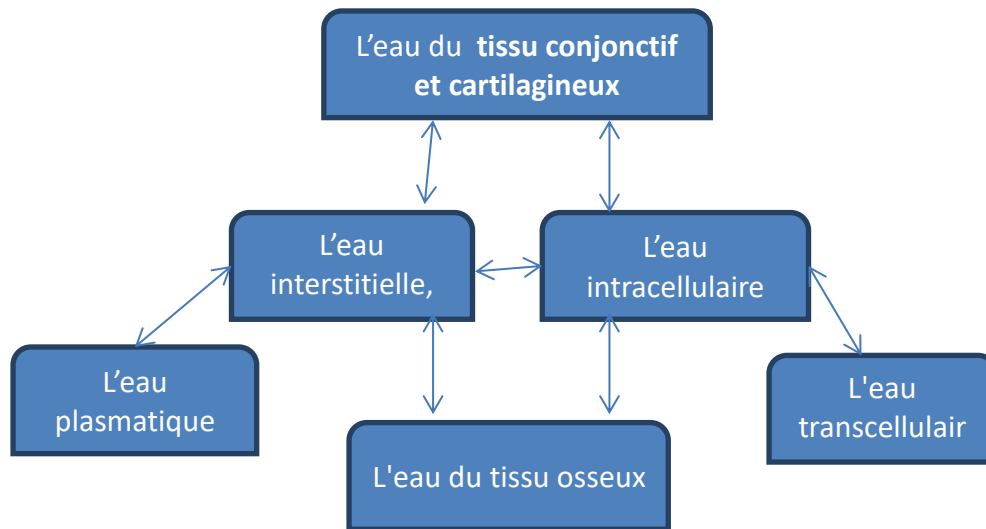
La clairance rénale: définie par: $C_{H_2O} = Q_u / c_p$

où Q_u - la quantité de matière à uriner par unité de temps, et CP - la concentration de la matière dans le plasma.

Les troubles de l'équilibre des fluides génèrent des changements fonctionnels en particulier chez les enfants, car ils ont un métabolisme plus intense qui nécessite un volume d'eau en 24 heures environ six fois plus élevé que chez l'adulte.

La déshydratation aiguë survient d'autant plus fréquemment que l'âge de l'enfant est plus bas. Les prématurés ont une prédisposition plus grande en raison des pertes cutanées massives et des mécanismes de concentration rénale immatures.

Circulation de l'eau entre les différents compartiments du corps



(Z.Simon, Fl. Rotemberg, G.I. Mihalas, Biofizica, Lito IMT, 1989, p.40)

5.6. LIQUIDES – PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

INTRODUCTION

Aujourd'hui, les médecins et les chercheurs croient que l'acidité des liquides et des aliments que nous mangeons contribue à des maladies telles que l'obésité, le cancer et le diabète, et pour contrôler le niveau d'acidité dans le corps il est nécessaire, tout d'abord de faire attention aux aliments que nous consommons, et deuxièmement de boire de l'eau, naturelle ou pétillante, avec un pH neutre.

Le pH du corps humain doit être compris entre 7,3 et 7,8, par ailleurs, le corps est soumis à des risques très élevés, tels que le coma et la tétanisation.

La guérison complète de la maladie chronique se produit uniquement lorsque et si le sang est rétabli à une valeur de pH légèrement alcaline normale.

Toutes les réactions énergétiques biochimiques et électriques correspondant à la vie sont contrôlées par le pH. Le PH du corps affecte tout.

Le pH contrôle tout : le cerveau, le cœur, les processus enzymatiques de l'organisme, l'assimilation des minéraux dans le corps

PASTEUR a promu la théorie de monomorphisme: la maladie est causée exclusivement par des germes ou des bactéries qui envahissent le corps de l'extérieur.

Béchamp a énoncé la théorie du polymorphisme: la maladie provient de l'intérieur du corps.

CLAUDE BERNARD a lancé l'idée que la maladie dans le corps, en tant que processus biologique sera développée et dépendra de l'état et du terrain biologique interne manifeste. La base de ce champ est le pH.

Pasteur a finalement admis le travail de Béchamp et dit: «Bernard avait raison: le microbe ne vaut rien, le milieu est tout"

L'EQUILIBRE CHIMIQUE

Une série de produits chimiques sont en équilibre si la composition chimique des espèces, la température et la pression sont constantes. L'état d'équilibre ne signifie pas que rien ne se passe à l'intérieur de cet ensemble. Au contraire, il se passe beaucoup de choses!

Exemple: $3\text{H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) \leftrightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$

Les molécules d'hydrogène réagissent avec l'azote pour former de l'ammoniac.

Dans le même temps, les molécules d'ammoniac se décomposent en hydrogène et en azote.

Il existe de nombreux facteurs qui influent sur la température de l'équilibre chimique, la pression et la concentration de l'espèce en équilibre. Pour expliquer comment l'équilibre chimique est influencé par ces facteurs, on énonce

Le principe de Le Chatelier: si sur un système qui est dans un état d'équilibre agit une contrainte, le système va réagir pour atténuer cette contrainte.

Si on agit pour hausser la température, le système va réagir pour la diminuer. L'équilibre sera déplacé solde vers la chaleur à consommer, c'est à dire vers la réaction endothermique.

Si nous agissons pour augmenter la concentration d'un composé, l'équilibre se déplace vers la consommation de ce composé. Ainsi, si à la réaction chimique ci-dessus on ajoute de l'hydrogène, l'équilibre se déplace vers la droite, parce que c'est la réaction qui consomme de l'hydrogène.

Si nous agissons sur un système sur l'équilibre en augmentant la pression, il se déplace vers le côté où il ya moins de moles de gaz.

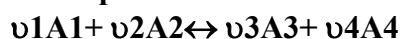
Par exemple, la réaction ci-dessus. Si la pression augmente, l'équilibre se déplace vers la droite (il n'y a que deux moles de gaz, par opposition à la gauche, où il y en a quatre).

LA LOI DE L'ACTION DES MASSES

La loi de l'action des masses s'applique comme suit:

Tous les systèmes sous pression et à température constante ont tendance à atteindre un minimum d'enthalpie libre G.

Si lors d'une réaction entre v_1 moles d'une substance A1, et v_2 moles d'une substance A2 et on obtient par la réaction considérée v_3 moles d'une substance A3, et v_4 moles d'une substance A4:



Une telle **réaction chimique réversible est une réaction directe** dans laquelle les substances réagissent pour donner des produits **et une réaction inverse** où les produits se recombinent pour donner les produits de départ qui évoluent vers un état d'équilibre dynamique. L'état d'équilibre dynamique est atteint lorsque les vitesses de réaction directe ou inverse deviennent égales. D.p.v. dynamique les deux processus opposés continuent.

L'état d'équilibre dynamique est caractérisé par: la constante d'équilibre (K)

Où K_c - définie en termes de concentration molaire

$$K_c = \frac{c_4^{v_4} \cdot c_3^{v_3}}{c_1^{v_1} c_2^{v_2}}$$

La constante d'équilibre (K) $K_c = \frac{c_4^{v_4} \cdot c_3^{v_3}}{c_1^{v_1} c_2^{v_2}}$

selon le potentiel standard

$$K_c = e^{-\frac{\Delta G}{RT}}$$

$$\Delta G = \Delta H - T.\Delta S$$

$$\Delta G = \nu_3 G_{03} + \nu_4 G_{04} - \nu_1 G_{01} - \nu_2 G_{02} = \sum \nu_i G_{0i}$$

L'enthalpie libre de la réaction ΔG est la fonction de la variation du G quand on convertit une mole de réactifs en produits, à condition que toutes les concentrations $C_i = 1 \text{ mol/l}$.

Les coefficients stoechiométriques sont positifs(+) pour les produits de la réaction et négatifs (-) pour les réactifs.

ΔS est l'entropie de réaction

$R = 8,31 \text{ J / mol.K}$. - Constante universelle de gaz .

La constante d'équilibre dépend de la température:

$$K_c = e^{-\frac{\Delta H - T.\Delta S}{RT}} = e^{-\frac{\Delta S}{R}} . e^{-\frac{\Delta H}{RT}}$$

- ΔH est l'enthalpie de la réaction - chaleur de réaction
- $\Delta H < 0$ réaction exothermique. L'augmentation de T déplace l'équilibre vers la gauche.
- $\Delta H > 0$ réaction endothermique. L'augmentation de T déplace l'équilibre vers la droite

Généralement on utilise:

c_i concentrations molaires des substances dissoutes dans la solution,

p_i pressions partielles exprimées en atmosphères,

x_i fractions molaires dans des mélanges de solvants solvatés.

La concentration est considéré $c_i = 1$ pour les substances liquides et solides pures (non mélangées) et pour le solvant moléculaire et en solution, celui-ci presque toujours en grand excès.

En thermodynamique on montre que les transformations physiques (dissolution, diffusion, osmose) les substances ont tendance à se déplacer vers un potentiel chimique négatif.

Le potentiel chimique μ_i correspond au contenu de l'enthalpie libre G_i d'une mole d'une substance dans les conditions de la concentration c_i qui est dans le système étudié.

on μ_{0i} est le potentiel chimique standard - est la valeur μ_i pour $c_i = 1 \text{ mol/l}$

Plus la concentration c_i diminue plus μ_i diminue aussi: les substances passent de solutions plus concentrées aux solutions plus diluées par le phénomène de diffusion.

ACIDE. BASE. ELECTROLYTE. NONÉLECTROLYTE.

En biologie et dans la médecine on travaille avec des solutions aqueuses.

L'eau a une haute constante diélectrique ($\epsilon_r=80$) et la capacité de solvater les ions. L'eau favorise la dissociation en ions.

Les substances dissoutes dans l'eau sont appelées électrolytes et donnent des ions et les solutions contenant des ions sont appelées solutions électrolytiques.

Les acides sont des substances capables de donner des ions H^+ .

Dans l'eau ils forment les ions H_3O^+ qui sera abrégé H^+ .

Les bases sont des substances capables d'accepter des ions H^+ .

Dans l'eau, ils forment des ions hydroxyles OH^- .

Pour toute forme acide ou protonée on a une base conjuguée ou la forme déprotonée.

Acide	Base conjuguée
H_3O^+	H_2O
H_2O	OH^-
NH_4^+	NH_3
CH_3COOH	CH_3COO^-

2. Z. Simon, Note de curs- Biofizica, Lito IMT, 1979.
3. Z. Simon, Fl. Rotemberg, Gh.I.Mihalas, Biofizica, Lito IMT, 1989.
4. A Neagu, M. Neagu, Curs de Biofizica pentru facultatea de Medicina Dentara, Ed. Eurobit, 2007.

Les électrolytes forts se dissocient complètement en solution aqueuse.

Exemples d'électrolytes forts:

tous les sels,

acides forts (H_2SO_4 , HCl , HNO_3)

les bases fortes ($NaOH$, KOH)

Les électrolytes faibles se dissocient peu. La plupart des molécules sont dissociées en solution aqueuse.

Exemples d'électrolytes faibles:

Les acides faibles (H_2CO_3 , CH_3COOH ,

Les bases faibles: l'ammoniac (NH_3) et de l'eau (H_2O).

Des solvants non-polaires peuvent être des lipides dans l'organisme, les phospholipides des membranes. Ils dissolvent surtout des substances non-polaires et pas d'ions.

Les réactions des ions en solution aqueuse à $37^\circ C$ sont des réactions rapides.

Les systèmes acide-base et d'autres systèmes correspondant à d'autres réactions ioniques dans le corps sont en équilibre. Cet équilibre peut varier d'un compartiment à autre.

Pour traiter les équilibres chimiques et physiques on utilise la loi de l'action des masses.

L'acidité ou la basicité d'une solution aqueuse est mesurée par pH ou pOH

MANIÈRES D'EXPRIMER LA CONCENTRATION

La concentration massique en pourcentage : $C_{\%w/w} = \frac{m_d}{m} \cdot 100$

est la masse de soluté dans 100 g de solution.

Elle est exprimée en% ou% en poids / poids.

md = masse de soluté, m = masse de la solution

La concentration volumique en pourcentage : $C_{\%v/v} = \frac{V_d}{V} \cdot 100$

Représente la quantité de soluté dans 100 ml de solution.

Elle est exprimée en% vol ou% v / v.

Cette concentration est utilisée dans des solutions alcooliques.

Lorsque le volume de soluté VD-, V volume de solution

Concentration molaire (C) - est le nombre de moles de soluté dans un litre de solution.

$$C = \frac{V_d}{V} = \frac{m_d(g)}{M_d(g) \cdot V(L)}$$

La concentration normale (CN) - le nombre d'équivalents de soluté dans un litre de solution. Elle est

exprimée en eq/l ou N. $C_N = \frac{Neq}{V}$

Dans le cas d'une réaction acide-base, l'équivalent gramme d'acide est la quantité fournie par une mole d'ions H⁺ ou la quantité de base à réagir avec une mole d'ions H⁺.

ÉQUILIBRES DE DISSOLUTION

SOLUBILITÉ DES LIQUIDES ET SOLIDES

La dissolution d'un liquide et d'un solide dans un solvant entraîne l'équilibre de la substance pure dissoute dans la solution.

Appliquer la loi d'action de masse:

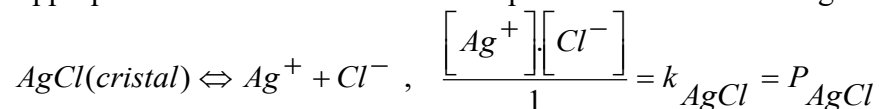
A1 (pur) $\rightleftharpoons$ A1 (solution): $c_1/1 = k_1 = s_1$.

Pour substance pure c = 1 a ici le rôle de la solubilité.

Produit de solubilité. DISSOLUTION d'électrolytes FORTS.

Lorsqu' on dissout un électrolyte fort il apparait dans la solution sous forme d'ions.

Appliquer la loi de l'action des masses pour la dissolution du AgCl



Constante d'équilibre: k_{AgCl} est appelé produit de solubilité P_{AgCl} .

Presque toutes les réactions biochimiques se produisent dans les solutions aqueuses.

Certaines impliquent des ions parmi lesquels les ions OH⁻ et H⁺ résultant de la décomposition de l'eau.

Un certain nombre de substances naturelles ou des médicaments contiennent des groupes qui peuvent se dissocier et il est très important de connaître la charge électrique sur le pH des milieux physiologiques.

Les réactions protolitique sont des réactions entre les acides et les bases, à partir de solutions aqueuses, elles sont rapides et entre les participants à ces réactions un état d'équilibre s'établit rapidement.

LA DISSOCIATION DE L'EAU

La dissociation de l'eau se produit dans l'équation stoechiométrique: $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$

Ou plus exactement: $2H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$

Pour plus de simplicité on considère

H + ion hydronium H_3O^+ formule

Loi d'action de masse:

$$\frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]} = K \quad \text{sau} \quad [H^+][OH^-] = K = P_{H_2O}$$

La concentration de l'eau non dissociée = 1 comme solvant.

L'eau se dissocie très peu la constante de dissociation ou le produit ionique de l'eau est:

$$P_{H_2O} = 10^{-14} (mol/l)^2$$

Dans l'eau pure, distillée, les ions H^+ et OH^- proviennent seulement de la décomposition de l'eau et seront en quantités égales:

$$[H^+][OH^-] = \sqrt{10^{-14} (mol/l)^2} = 10^{-7} mol/l$$

En réalité l'eau dissout du CO_2 de l'air, et du silicate du verre, donc elle n'est pas pure.

DISSOCIATION DES ACIDES ET BASE FAIBLES

Si un acide fort est dissous, complètement dissocié pratiquement tous les ions H^+ proviennent de la dissociation l'acide dissous dans l'eau. La concentration en ions du produit 2 reste constante $[H^+] \cdot [OH^-] = \text{const.}$ Donc, la concentration $[OH^-]$ diminue.

Si une base solide se dissout, complètement dissociée, la concentration en ions OH^- sera égale à la concentration de base et diminue la concentration d'ions dissous de H^+

Solution aqueuse acide est une solution aqueuse dans laquelle la

$[H^+] > [OH^-]$ et un $pH < 7$

Solution aqueuse basique est une solution aqueuse dans laquelle la

$[H^+] < [OH^-]$ et un $pH > 7$

Solution aqueuse neutre est une solution aqueuse dans laquelle la

$[H^+] = [OH^-]$ et $pH = 7$.

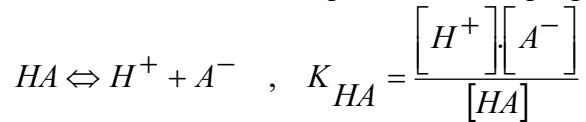
Exemple: le suc gastrique a un $pH = 1,5$. Quelle concentration de HCl contient-il?

Pour pH= 1,5 nous avons $[H^+] = 10^{-1,5}$ mol/l ou $\log [H^+] = -1,5$

Des tableaux : $[H^+] = 0,0032$ mol/l.

Comme l'acide HCl est le seul acide fort et en concentrations élevées dans le suc gastrique, pratiquement tous les ions $[H^+]$ **et proviennent donc de sa dissociation et la concentration de HCl est $c = 0,0032$ M = 32 mM.**

Soit un acide faible HA qui ne dissocie que partiellement les ions :



Où K_{HA} est la constante de dissociation de l'acide.

Si dans la solution nous n' avons pas d'autres acides ou sels d'acide HA,

Comme l'eau se dissocie très peu, pratiquement tous les ions proviennent de la dissociation de HA.

Comme à la dissociation de la molécule HA on obtient un ion H^+ et un A^-

$$\text{Alors } [H^+] = [A^-]$$

Un acide faible dissocie peu (dans des concentrations pas trop petites).

La concentration de l' acide non dissocié est dans ce cas égale à la concentration totale de l'acide.

$$\text{Ainsi: } [H^+] = [A^-], \quad \frac{[H^+]^2}{[HA]} = K_{HA}$$
$$[H^+] = \sqrt{K_{HA} \cdot [HA]}$$

Les solutions biologiques contiennent habituellement de nombreux composants et ont un pH qui reste constant grâce aux ainsi dits systemes tampons.

Quel est le rapport entre la forme protonée et celle déprotonée?

$$\frac{[A^-]}{[HA]} = \frac{K_{HA}}{[H^+]}, \quad \log \frac{[A^-]}{[HA]} = \log K_{HA} - \log [H^+]$$

$$pK_{HA} = -\log K_{HA}$$

$$pH = -\log [H^+]$$

$$\log \frac{[f.deprotonata]}{[f.protonata]} = \log \frac{[A^-]}{[HA]} = pH - pK_{HA}$$

pH = pK_{HA} Si la forme de concentration déprotonée (dissociée) (A) est égale à la concentration de l'acide forme protonée (non dissociée) HA.

Dans les solutions plus acides pH < pK_{HA} prédomine la forme protonée

Dans les solutions plus bases: pH > pK_{HA} prédomine la forme déprotonée

(Z. Simon, Fl. Rotemberg, Gh.I.Mihalas, Biofizica, Lito IMT, 1989)

DISSOCIATION DES ACIDES ET BASE FAIBLES. Exemples

1. Pour une différence $pH - pK_A = 1$, le rapport $[A^-]/[HA] = 10^1 = 10$, l'acide est 90% dans sa forme déprotonée.

1 unité de la différence entre pH et pK_a signifie un passage presque total de l'acide dans sa forme déprotonée ou protonée.

2. Par exemple, le sang a un $pH = 7,4$. Quelle est la concentration de la forme déprotonée CH_3COO^- et protonée CH_3COOH de l'acide acétique?

On calcule d'abord pK_{CH_3COOH} :

$$pK_{CH_3COOH} = -\log 2 \cdot 10^{-5} = -(\log 2 + \log 10^{-5}) = -(0,3 - 5) = 4,7$$

$$\log \frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = pH - pK_{CH_3COOH} = 7,4 - 4,7 = 2,7$$

$$\text{alors } \frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = 10^{2,7} = 500$$

L'acide acétique est complètement dissocié au pH de l'environnement cellulaire, ainsi que tous les groupes carboxyle ($COOH$) sont libres.

NOTION DE pH

La dissociation électrolytique est un phénomène où certaines substances en solution démêlent en ions positifs et ions négatifs.

Pendant la dissociation d'une acide apparaissent les ions d'hydrogène et les ions de radicaux acides:



Pendant la dissociation d'une acide apparaissent les ions d'oxidril et les ions radicaux de base: $BOH \rightleftharpoons B^+ + OH^-$

L'eau agit comme un électrolyte et se dissocie en ions hydrogène et en ions oxidril. $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$

En réalité l'ion hydrogène H^+ obtenu après dissociation se hydrate et la relation d'équilibre sera écrite:



Ion H_3O^+ - s'appelé hydronium.

La flèche double sens indique que les molécules d'eau ionisent et se refont de façon permanente de ces ions. Si la température est constante, la vitesse de récupération et de l'ionisation de molécules reste constante, produisant une concentration stationnaire en H^+ égale à celle en OH^- .

Le processus de dissociation obéit à la loi d'action de masse

Le rapport résultant du produit entre la concentration des molécules dissociées et celle des ions est constante.

$$K = \frac{C_H^+ C_{OH}^-}{C_{H_2O}} = 1,8 \cdot 10^{-16}$$

Les concentrations d'ions sont extrêmement faibles par rapport à la concentration des molécules non dissociées. La concentration des molécules nonionisées peut être considérée constante.

La concentration molaire des molécules d'eau non dissociée est de 55,56 – gramme pour un volume de 1 litre.

Le terme K . CH_2O est appelé produit ionique de l'eau et a une valeur de 10 à 14 pour la température de l'eau de 25 ° C et diminue si l'eau est refroidie et vice versa.

$$C_H^+ C_{OH}^- = K \cdot C_{H_2O} = K_{H_2O} = 1,8 \cdot 10^{-16} \cdot 55,56 \cong 10^{-14}$$

Si dans l'eau on dissout un acide fort, la concentration des ions d'hydronium H^+ augmente et celle de ions hydroxyle OH^- diminue car le produit ionique de l'eau reste constant à une température donnée.

Si on dissout dans l'eau d'une base forte, la concentration de OH^- augmente celle de H^+ diminue.

A température constante les concentrations de H^+ et OH^- peuvent varier comme suit:

CH^+	10^0	10^{-1}	10^{-2}	...	10^{-7}	...	10^{-12}	10^{-13}	10^{-14}
COH^-	10^{-14}	10^{-13}	10^{-12}	...	10^{-7}	...	10^2	10^1	10^0
caractère	ACIDITÉ				NEUTRALITÉ		ALCALINITÉ		

Pour simplifier les calculs l'expression convenue pour exprimer cette concentration par

Le pH qui représente le logarithme à signe changé de la concentration des ions d'hydrogène : $H = -\log H^+$ ou, en général, après SORENSEN: $pX = -\log X = \log (1/X)$.

Ou nous pouvons écrire: $pH + pOH = pK$, où pK est le produit ionique de l'eau

pH	0	1	2		7		12	13	14
pOH	14	13	12		7		2	1	0
caractère	ACIDITÉ				NEUTRALITÉ		ALCALINITÉ		

Le caractère acide ou basique d'une solution peut être décrit quantitativement en termes de concentration d'ions d'hydrogène. Dans certains cas, la concentration ayant une très faible valeur, il est plus pratique d'utiliser la notion de pH.

Le pH est, par définition, le logarithme décimal changé de signe de la concentration molaire des ions hydronium:

Le pOH de la solution est

La relation entre les deux est: $pH + pOH = 14$

pH et pOH sont complémentaires.

Il suffit d'indiquer le pH pour savoir si une solution est acide ou alcaline:

- Si le **pH < 7** - la solution est acide
- Si le **pH = 7** - la solution est neutre
- si le **pH > 7** - la solution est basique (ou alcaline)

ECHELLE pH

H⁺	10⁰	-	10⁻⁷	-	10⁻¹⁴
pH	0	-	7	-	14
pOH	14	-	7	-	0
Caractère	ACIDE		NEUTRE	BASE	

La solution neutre est une solution dans laquelle les concentrations en ions H⁺ et OH⁻ sont égales et, par conséquent, **pH = 7**.

Lorsque l'eau dissout dans un acide fort, celui-ci se dissocie totalement en ions, les ions H⁺ proviennent pratiquement seulement de l'ionisation de l'acide. Le produit ionique de l'eau reste constant, l'augmentation de la concentration en ions H⁺ reste constante aussi et diminue la concentration en ions OH⁻, **le secteur où pH < 7 est acide**

Si dans l'eau dissout une base forte, les ions OH⁻ proviendront exclusivement de cette ionisation, la concentration d'ions OH⁻ prévaudra.

Le secteur basique est celui où la concentration d'ions OH⁻ est plus élevée donc **pH > 7**.

ÉLECTROLYTES ET NON ÉLECTROLYTES FORMULE DE CALCUL POUR LE PH

Pour acides forts: $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg[\text{HA}] = -\lg c$

Pour les acides faibles: $\text{pH} = \text{pK}_{\text{HA}} + \lg \frac{[\text{D}]}{[\text{P}]}$

Formule Henderson Hasselbach

Forme D-déprotonée, P- forme protonée

Pour les bases fortes: $\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 + \lg[\text{OH}^-]$

Le pH des solutions des ACIDES FORTS:

Selon le principe de Le Chatelier quand un système à l'équilibre chimique est perturbé par un changement de température, de pression et de concentration, le système modifie la composition d'une manière qui tend à contrecarrer le paramètre de variation.

Appliquant ce principe à la dissociation de l'eau on peut dire que dans une solution acide l'eau contribue faiblement à faire libérer les ions H^+ .

En dissolvant un acide dans l'eau la réaction de dissociation de l'eau est inverse:

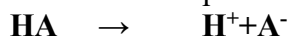


jusqu'à atteindre un nouvel état d'équilibre.

Par conséquent, la concentration en ions H^+ de l'eau résultant de l'autoionisation est très faible par rapport à celle fournie par la dissociation de l'acide. Ceci n'est pas vrai dans le cas des solutions très diluées d'acide fort, où la quantité d'ions H^+ résultant de la dissociation de l'eau est comparable à celle fournie par l'acide.

Initial	[HA]=c	0	0
final	0	[H⁺]= c	[A⁻]= c

Pour un acide fort (HA), qui se dissocie complètement en solution, la concentration résultante d'ions est déterminée par la stoechiométrie de la réaction de la concentration initiale de l'acide.



Pour les solutions d'acides forts, le pH est calculé à partir de la définition de la formule:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg[\text{HA}] = -\lg c$$

Des exemples d'acides forts: HClO_4 , H_2SO_4 , HI , HBr , HCl , HNO_3 , etc.

LE PH DES SOLUTIONS DE BASES FORTES

Pour le calcul du pH des bases fortes on préfère travailler avec la valeur complémentaire au pH, en particulier avec le pOH.

Une réaction de dissociation d'une base a la forme:



Comme les ions OH^- résultent pratiquement de la dissociation de la base, à l'exception des solutions très diluées. Dans ce cas il faut prendre en considération aussi la concentration des ions H^+ résultant de l'autoionisation de l'eau.

Le pH de la solution est calculée en utilisant la formule :

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 + \lg[\text{OH}^-] = 14 + \lg[\text{BOH}]$$

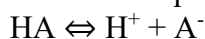
Des exemples de bases fortes: LiOH , NaOH , KOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Ba}(\text{OH})_2$, etc.

Le pH des acides et des bases faibles

Un acide faible est un acide qui ionise incomplètement dans une solution.

Ses molécules conservent bien leurs protons et tous ne sont pas transférés aux molécules d'eau pour former les ions H_3O^+ .

Au cours du processus de dissociation d'un acide faible HA:



Après un moment, la réaction chimique atteint un état d'équilibre, caractérisé par le fait que la vitesse de réaction de dissociation de l'acide est adaptée à la vitesse de recombinaison des ions H^+ et A^- pour la former l'acide de départ. A partir de ce point, les concentrations des réactifs et des produits de réaction restent constantes.

La constante d'équilibre de la réaction de dissociation, conformément à la loi d'action de masse:

$$K_{\text{HA}} = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]_{\text{ech}}}$$

C'est ce qu'on appelle la constante de dissociation ou la constante d'acidité de l'acide.

$[\text{HA}]_{\text{ech}}$ - est la concentration d'acide lorsqu'on atteint l'état d'équilibre correspondant à la réaction de dissociation

Comme la dissociation de l'acide se produit dans une faible mesure, on peut estimer que sa concentration a des valeurs semblables à la concentration initiale de l'acide $[\text{HA}]$

Pour le calcul du pH des solutions bases et acides faibles sont utilisées deux relations de calcul du pH:

$$K_{\text{HA}} = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{HA}]}$$

Lorsqu' on connaît seulement la concentration initiale de l'acide faible, étant donné que les ions H^+ et A^- résultant de la dissociation se trouvent en solution en concentrations égales la constante d'équilibre devient:

$$\text{Après avoir logarithmé on obtient: } -\lg K_{\text{HA}} = -\lg[\text{H}^+]^2 + \lg[\text{HA}]$$

Définition similaire du pH : $\text{pH} = -\lg K$.

La formule pour calculer le pH est: $\text{pH} = \frac{\text{pK}_{\text{HA}} - \lg[\text{HA}]}{2}$

Quand la concentration de la forme protonée est connue

$[\text{P}] = [\text{HA}]$ - concentration molaire acide faible

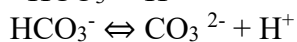
et la concentration de la forme déprotonée

$[\text{D}] = [\text{A}^-]$ - concentration molaire de la base conjuguée,

On utilise la formule HENDERSON HASSELBACH:

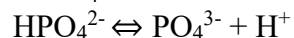
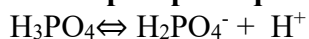
$$\text{pH} = \text{pK}_{\text{HA}} + \lg \frac{[\text{D}]}{[\text{P}]}$$

L'acide carbonique H_2CO_3 a deux étapes de dissociation :



$K_{a1} > K_{a2} > K_{a3}$

l'acide phosphorique H_3PO_4 a trois étapes de dissociation :



Ceux-ci sont appelés acides polybasiques ou polyprotiques

: H_2CO_3 , $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, H_3PO_4 ,

Une caractéristique de ces acides est que, indépendamment de leur force en solution ils donnent les protons en étapes, chaque étape ayant une valeur constante d'acidité définie.

Substance	formule chimique	pKa Constante de dissociation
acide acétique	CH_3COOH	4,8
acide carbonique	H_2CO_3	6,4
		10,3
acide oxalique	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	1,25
		4,3
acide phosphorique	H_3PO_4	2,2
		7,2
		12,3

La constante de dissociation pour la dissociation d'acide polyprotique pour la première étape K_{a1} est plus grande que K_{a2} correspondant à la deuxième étape de dissociation qui est supérieure à K_{a3} , correspondant à la 3ème étape de dissociation: $K_{a1} > K_{a2} > K_{a3}$

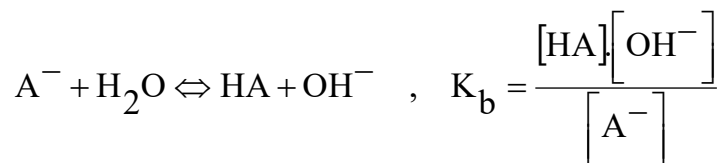
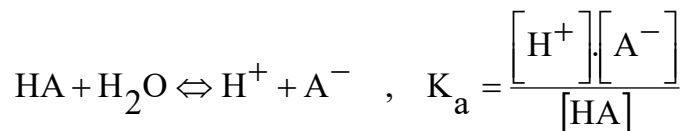
Le premier proton est libéré plus facilement que les autres

Dans le cas du H_2SO_4 –pour le premier proton représente un acide fort ($K_1 > >1$) et sa base conjuguée (HSO_4^-) est un acide doux à faible ($K_2 = 1,2 \cdot 10^{-2}$)

Pour les solutions de bases faibles,

le calcul du pH est similaire, en utilisant la constante de dissociation de la base K_b .

K_a est la constante de dissociation d'acide faible conjugué .



$$K_a \cdot K_b = P_{eau} = 10^{-14} M^2 \quad \text{et} \quad pK_a + pK_b = 14$$

SYSTÈMES TAMPON

On appelle SYSTÈMES TAMPON les solutions qui sont capables de maintenir le pH constant même à l'addition de quantités limitées d'acide ou de base.

Les SYSTÈMES TAMPON ont la composition:

Un acide faible et son sel

Une base faible et son sel

Le calcul du pH d'un système tampon se fait en utilisant la formule de Henderson - Hasselbach:

$$pH = pK_a + \lg \frac{[D]}{[P]} = pK_a + \lg \frac{[\text{concentration de la forme déprotonée}]}{[\text{concentration de la forme protonée}]}$$

Les fluides biologiques – le sang – contiennent des SYSTÈMES TAMPON

Le contrôle de pH est vital pour leur bon fonctionnement.

Pour le sang le pH = 7,4.

Les Systèmes tampons du sang : H_2CO_3 si HCO_3^- , H_2PO_4^- si HPO_4^{2-} l'hémoglobine acide et hemoglobinate de potassium.

Les troubles incompatibles avec la vie.

L'augmentation de la concentration en ions H^+ par la diminution du pH en dessous de 7,1 = ACIDOSE

La diminution de la concentration d'ions H^+ avec l'augmentation des valeurs de pH supérieures à 7,8 = alcalose

Soit un système tampon constitué d'un acide faible et de son sel.

L'acide fort ajouté dans un tel système tampon, enlève une partie de l'acide faible de son sel ce qui entraîne des modifications des concentrations en formes protonées (acide faible) et déprotonées (anions résultant de la dissociation du sel).

Si on ajoute une base forte à un système tampon, celle-ci réagit avec l'acide faible en réduisant ainsi la concentration de la forme protonée et en augmentant la concentration de la forme déprotonée.

Soit un système tampon comprenant une base faible et de son sel

Si on ajoute un acide fort, celui-ci réagit avec la base.

Lors de l'ajout d'une base forte celle-ci va supprimer une partie de la base faible de son sel, le résultat est le même: modifications des concentrations déprotonées respectivement protonées.

A l'ajout de l'acide ou de la base forte en quantités limitées on consomme totalement une des composantes du système tampon, suite à la réaction chimique qui a lieu et entraîne une perte de la capacité de mémoire tampon.

Une caractéristique importante des tampons est:

$$i = \frac{\Delta V}{\Delta pH} - \text{Capacité tampon: Est la quantité d'acide ou de base qui apres l'addition dans la solution}$$

modifie d'une unité le pH de celle-ci.

La capacité tampon est optimale à la dissolution du tampon dans des milieux ayant un pH proche de pK (où les concentrations sont forme protonée respectivement déprotonée d'ordre de grandeur comparable).

Exemple:

1. Le système composé de CH_3COOH et CH_3COONa est un bon tampon dans les solutions avec un pH = (4,2-5,4).

2. Dans des conditions où le pH du corps est pH = (7,1- 7,8), la concentration de la forme protonée est 1000 fois plus petite que la forme déprotonée, donc la capacité tampon est très faible.

Le pH des domaines extracellulaires et intracellulaires

Pour le milieu extracellulaire: pH = 7,4

L'eau ne contribue pas à l'échange de protons quand un acide ou une base est ajoutée au fluide extracellulaire.

Des variations de pH du sang artériel dans l'espace interstitiel veineux se manifestent.

Pendant l'effort, il ya une diminution du pH dans le volume musculaire d'un facteur de 6,9 en raison de la production d'acide lactique par la glycolyse anaérobe.

Pour le milieu intracellulaire pH = 6,9 en conditions normales

On peut varier d'un type cellulaire à l'autre

les changements de pH intracellulaire peuvent se produire dans les cas pathologiques:

dans l'infarctus ischémique aigu le pH cellulaire peut diminuer à 6,64 particulièrement pendant l'alcalose.

pH approximatif des liquides organiques

le milieu extracellulaire	Le sang artériel	7,4
	Le sang veineux	7,35
	Le liquide interstitiel	7,35
le milieu intracellulaire	Le muscle cardiaque	7,1
	Le muscle squelettique	6,9
	cellules hépatiques	7,23
	érythrocyte	7,28
sécrétions	Le suc gastrique	1,8
	L'urine	5,6
	Le suc pancréatique	8

L'IMPORTANCE MEDICALE DU PH POUR LE CORPS HUMAIN

La guérison complète de la maladie chronique se produit uniquement lorsque et si le sang a une valeur normale du pH : pH légèrement alcalin.

Le PH du corps affecte tout.

Le sang humain reste dans une gamme de pH très étroite autour la valeur de 7,3.

Les valeurs inférieures ou supérieures indiquent les symptômes et la maladie.

Lorsque le pH augmente , les formes microbiennes du sang peuvent changer survenant des mutations

Lorsque le pH augmente, les enzymes qui sont constructives peuvent devenir destructrices.

Lorsque le pH augmente, l'apport d'oxygène aux cellules souffre.

La recherche montre que le faible apport d'oxygène aux cellules est un facteur majeur dans la plupart, sinon dans toutes les conditions dégénératives.

Dr. Otto Warburg en Allemagne, a remporté le prix Nobel pour la découverte de la carence en oxygène dans la croissance des cellules cancéreuses.

Lorsque le pH diminue et nos corps deviennent plus acides, nos cellules reçoivent moins d'oxygène.

Le cancer se développe dans un milieu de pH acide déficient en tissu / oxygène. Pas étonnant que, aujourd'hui, le taux de cancer a augmenté

Pour rappeler l'importance de l'oxygène dans la vie, penser à ce qui se passe si nous arrêtons de respirer pendant une minute.

Chaque cellule dans le corps peut respirer complètement ou non.

Cela dépend si elle a un équilibre optimum de pH

(<http://biomedx.com/microscopes/rrintro/rr4.html>)

le pH contrôle tout:

Tel que le cerveau qui a besoin de carburant pour fonctionner et le carburant utilisé est le glucose. Cependant, contrairement à d'autres cellules, le cerveau ne peut pas stocker le glucose. Cela dépend de la façon dont l'approvisionnement en sang est affectée par le pH, qui contrôle l'efficacité de l'insuline et permet au sucre de pénétrer dans les cellules ; donc il contrôle les niveaux de sucre dans le sang.

Conformément au "Manuel biomagnétique" du William Philpott **dans le cas du coeur** il y avait un lien entre le pH du corps et la partie électrique du corps humain.

Si le pH du sang devient plus acide, acides gras qui normalement ont des charges négatives électro-magnétiquement- celles-ci deviennent positives et automatiquement sont attirées et commencent à rester sur les parois des artères, qui sont électro magnétiquement négatifs. La nourriture excessive qui pourrait pousser le sang à être plus acide se traduira par un taux plus élevé de maladies cardiaques .

Les enzymes font partie du processus biochimique. Il ya des centaines, sinon des milliers de processus enzymatiques qui se produisent dans le corps. Beaucoup sont si spécifiques. Lorsque le pH du sang n'est pas en équilibre, la fonction des enzymes change et le corps commence à souffrir.

L'assimilation des minéraux est affectée par le pH.

Les minéraux ont différents niveaux de pH auxquels ils peuvent être assimilés dans le corps.

Les minéraux à faible poids moléculaire peuvent être assimilés à une plus large gamme de pH et les minéraux de haut poids moléculaire nécessitent une gamme étroite de pH pour être assimilés par l'organisme.

Par exemple:

Le sodium et le magnésium ont de larges gammes pour l'assimilation du pH .

Les gammes se réduisent un peu pour le calcium et le potassium.

Les gammes se réduisent encore pour le manganèse et le fer.

Les gammes se réduisent en plus pour le zinc et le cuivre.

Les gammes se réduisent beaucoup plus pour l' iode.

L' iode, qui est à une position très élevée à l'échelle atomique, nécessite presque un pH idéal pour son assimilation dans le corps.

L'iode est l'un des minéraux les plus importants pour le bon fonctionnement de la glande thyroïde. Mais la thyroïde n'a pas accès à l'iode que si le pH du corps est presque parfait.

- Les fluides tels que le sang contiennent des tampons pour contrôler le pH , ce qui est vital pour leur bon fonctionnement. Un rôle très important dans le maintien du pH constant dans la gamme 7,35-7,45 ont les tampons tels: H_2CO_3 et HCO_3^- et H_3PO_4^- et HPO_4^{2-} , hemoglobine acide et hemoglobinate de sodium.

L'augmentation de la concentration en ions H^+ et diminution simultanée du pH (valeurs inférieures à 7,1) est connue sous le nom d'acidose.

La diminution de la concentration d'ions H^+ ayant comme résultat l'augmentation du pH(des valeurs supérieures à 7,8)est appelée alcalose.

Les enzymes qui jouent un rôle important dans de nombreuses réactions biochimiques qui se produisent dans le corps sont activés chacun à une certaine valeur de pH.

Les changements de pH qui se produisent dans différentes maladies conduisent à la perturbation des fonctions normales de ces enzymes et des processus métaboliques implicites à participer.

Par exemple:

- **Le pH sanguin diminue fortement** pendant diarrhée, la colite ulcéreuse, l'acidose diabétique, l'insuffisance rénale, etc.

- **Le pH sanguin augmente fortement** dans une sténose du pylore dans vomissements répétés et divers troubles nerveux.
- **Des changements physiologiques du pH des fluides et des tissus du corps peuvent se produire aussi.**

Par exemple, à haute altitude, par l'hyperventilation se produit une augmentation du pH du sang (la pression partielle de CO_2 diminue dans le sang). Suite à des activités fatigantes ; une accumulation d'acide lactique dans les muscles se manifeste ce qui entraîne une baisse du pH - et donc des crampes musculaires se produisent-.

Le pH-mètre oesophagien est un examen qui contribue au diagnostic de reflux gastro-œsophagien (passage anormal de l'acide gastrique dans l'œsophage). Il permet également le contrôle de l'efficacité d'un traitement chirurgical ou médical de cette maladie.

La valeur normale du pH de l'urine se situe dans l'intervalle 4,5 à 8.

Une acidité très prononcée de l'urine apparait dans l'acidose, le diabète, la diarrhée, la déshydratation,

alors qu'une basicité prononcée est caractéristique d'une obstruction des voies urinaires, l'obstruction du pylore, l'insuffisance rénale chronique.

Certaines substances contenues dans les médicaments administrés peuvent modifier le pH de l'urine, **par exemple**

- *le citrate de potassium, le bicarbonate de sodium*, ce qui **conduit à une augmentation du pH (urine alcaline)**
- *le chlorure d'ammonium, ou certains diurétiques* **provoque une diminution de la valeur du pH (urine acide)**

Applications

Problème 1 : Dans un récipient de volume $V = 100$ ml contenant une solution aqueuse, les substances suivantes sont dissoutes :

$m_1 = 56$ mg de KOH ($M_1 = 56$ g/mol)

$m_2 = 36$ mg de glucose ($M_2 = 180$ g/mol)

$m_3 = ?$ (NaCl) ($M_3 = 58,5$ g/mol) et la concentration $c_3 = 180$ g/mol

Déterminer : a) les concentrations c_1 et c_2 , la masse m_3 , b) le pH de la solution.

Résolution:

a) La concentration molaire s'exprime par définition :
$$c = \frac{m(g)}{M.V(l)}$$

La concentration molaire c

est le nombre de moles de soluté contenues dans un litre de solution.

$$c_1 = \frac{m_1}{M_1.V} = \frac{56.10^{-3}g}{56 \frac{g}{mol}.0,1l} = 10^{-2} \cdot \frac{mol}{l} = 10^{-2} M(molar)$$

Pour la base forte KOH :

$$c_2 = \frac{m_2}{M_2.V} = \frac{36.10^{-3}g}{180 \frac{g}{mol}.0,1l} = \frac{1}{5} 10^{-2} \cdot \frac{mol}{l} = 2.10^{-3} M(molar)$$

Pour le glucose :

$$c_3 = \frac{m_3}{M_3.V} \Rightarrow m_3 = c_3.M_3.V$$

$$m_3 = 2.10^{-2} \frac{mol}{l} . 58,5 \frac{g}{mol} . 0,1l = 117mg = 0,117g$$

Pour le sel NaCl :

b) Le pH de la solution.

Résolution :

b) Dans la solution aqueuse considérée sont dissous : une base forte, le KOH, qui influe sur le pH ; du glucose, qui est un non-électrolyte et n'influe pas sur le pH ; et du sel (NaCl), qui n'influe pas non plus sur le pH :

La base forte se décompose : $\text{KOH} \rightarrow \text{K}^+ + \text{OH}^-$

initial	c1	0	0
final	0	C ₁	C ₁

$$pOH = -\lg \left[\text{OH}^- \right] = -\lg c_1 = 2$$

Pour une base forte, on calcule le pH à l'aide de la formule suivante :

Le glucose est un non-électrolyte et n'influe pas sur le pH.

Le sel se décompose lui aussi : $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$, et il n'influe pas non plus sur le pH.

$$pH + pOH = 14$$

$$pOH = 2$$

Le pH de la solution sera de $pH = 12$, c'est-à-dire : $pH + 2 = 14 \Rightarrow pH = 12$

Problème 2. Un récipient de volume $V = 100 \text{ ml} = 0,1 \text{ l}$ contient une solution aqueuse dans laquelle sont dissoutes les substances suivantes :

$m_1 = 60 \text{ mg}$ de CH_3COOH ($M_1 = 60 \text{ g/mol}$)

$m_2 = 164 \text{ mg}$ de CH_3COONa ($M_2 = 82 \text{ g/mol}$)

Déterminer : a) les concentrations molaires des substances dissoutes c_1 et c_2 ,

b) le pH de la solution si l'on connaît la constante de dissociation de l'acide acétique : $pK = 4,7$ et si $\lg 2 = 0,3$ est donné

c) déterminer le nouveau pH (c'est-à-dire pH_1) si l'on ajoute à la première solution $m_3 = 36,5 \text{ mg}$ de HCl ($M_3 = 36,5 \text{ g/mol}$)

Résolution :

$$c_1 = \frac{m_1}{M_1 V}$$

a) La concentration molaire de la solution se calcule à l'aide de la formule :

$$c_1 = \frac{m_1}{M_1 V} = \frac{60 \cdot 10^{-3} \text{ g}}{60 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 0,1 \text{ l}} = 10^{-2} \frac{\text{mol}}{\text{g}} = 10^{-2} \text{ M}$$

Pour CH_3COOH

$$c_2 = \frac{m_2}{M_2 V} = \frac{164 \cdot 10^{-3} \text{ g}}{82 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 0,1 \text{ l}} = 2 \cdot 10^{-2} \frac{\text{mol}}{\text{g}} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ M}$$

Pour CH_3COONa

b) Le pH de la solution, si l'on connaît la constante de dissociation de l'acide acétique : $pK = 4,7$ et si $\lg 2 = 0,3$ est donné,

Résolution :

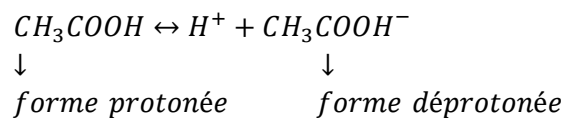
$$pH = pK_{HA} + \lg \frac{[D]}{[P]}$$

) Pour la solution considérée, on utilise la formule de Henderson-Hasselbach :

Où $[D]$ - est la concentration de la forme déprotonée,

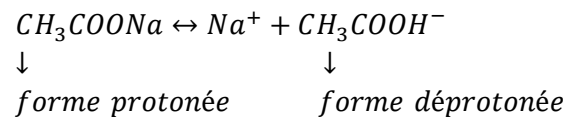
$[P]$ - est la concentration de la forme protonée

L'acide acétique se dissocie comme suit



initial	c1	0	0
final	$c1 - cx \approx c1$	$cx \approx 0$	$cx \approx 0$

Pour l'acétate de sodium :



initial	c2	0	0
final	0	c2	c2

$$pH = 4,7 + \lg \frac{c_2}{c_1} =$$

$$= 4,7 + \lg \frac{0,02}{0,01} = 4,7 + \lg 2 = 4,7 + 0,3$$

$$pH = 5$$

c) Déterminer le nouveau pH (c'est-à-dire pH_1) si l'on ajoute à la première solution $m_3 = 36,5$ mg de HCl ($M_3 = 36,5$ g/mol)

Résolution :

Si l'on ajoute du HCl, qui est un acide fort, à la solution initiale, on obtient :

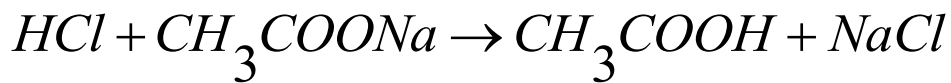
CH_3COOH – acide faible

CH_3COONa – sel – se comporte comme les acides faibles

$$c_1 = \frac{m_3}{M_3 V} = \frac{36,5 \cdot 10^{-3} \text{ g}}{36,5 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 0,1 \text{ l}} = 10^{-2} \frac{\text{mol}}{\text{g}} = 10^{-2} \text{ M}$$

HCl, un acide fort – de concentration :

En solution, on aura la réaction suivante :

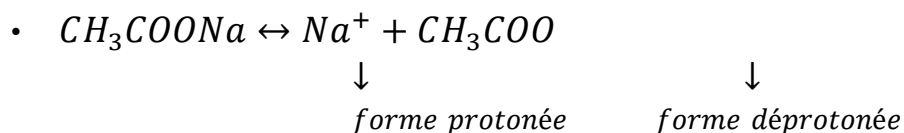


initial	C3=10⁻²M	C2= 2.10⁻²M	0	0
final	0	C2-c3= 10 ⁻² M	C3=10 ⁻² M	C3=10 ⁻² M

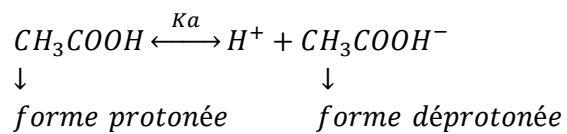
Le HCl réagit avec le c3 du c2 du CH_3COONa

Le (c2-c3) du sel CH_3COONa ne réagit avec rien

On aura alors les nouvelles réactions de dissociation suivantes :



i	c2-c3 = 10⁻²M	0	0
f	0	c2-c3 = 10 ⁻² M	c2-c3 = 10 ⁻² M



i	c1	0	0
f	$c1' = c1 + (c2 - c3)$ $= 10^{-2} + 10^{-2}$ $= 2 \cdot 10^{-2} M$	$c2 - c3 =$ $10^{-2} M$	$c2 - c3 =$ $10^{-2} M$

Formule Henderson Hasselbach

$$pH_1 = pK_a + \lg \frac{[D]}{[P]} = pK_a + \lg \frac{c_2 - c_3}{c_{11}}$$

$$pH_1 = 4,7 + \lg \frac{10^{-2}}{2 \cdot 10^{-2}} = 4,7 + \lg \frac{1}{2} = 4,7 - 0,3$$

$$pH_1 = 4,4$$

6.SYSTÈMES DISPERSÉS

SYSTÈMES DISPERSÉS CLASSIFICATION

Les systèmes dispersés sont appliqués aux systèmes comprenant un milieu continu, homogène et isotrope appelé milieu dispersant et un milieu discontinue appelé phase dispersée.

Le système dispersé est un système hétérogène.

Pour une solution, le solvant est un milieu dispersant, la substance dissoute - phase dispersée

Les systèmes colloïdaux sont des système microhétérogène ou systèmes de dispersion avec une très grande surface de l'interface entre deux phases, de sorte que l'énergie de la tension superficielle et les phénomènes d'adsorption jouent un rôle important dans la détermination des propriétés du système.

Les systèmes vivants, les cellules avec leurs systèmes des solutions des macromolécules et des membranes biologiques présentent les propriétés des systèmes colloïdaux.

Le degré de dispersion est l'inverse de la grandeur de la phase (des particules) dispersés dans un milieu dispersant. Plus la taille des particules est petite plus la surface de l'interface est grande. La surface S de l'interface augmente proportionnellement à la racine cubique du nombre N de particules.

1. Selon la tailles des particules de la phase dispersée

- **Les solutions moléculaires** sont obtenues par dissolution des micromolécules (masse moléculaire $M < 1000$), taille des particules: $\phi < 10\text{\AA}$ (10^{-9})

- **Les solutions colloïdales** avec la tailles des particules comprise entre 10 et 1000 Å.
 $10^{-9} \text{ m} < \phi < 10^{-7} \text{ m}$.

- **Les macroparticules** avec $M > 10^3 - 10^4$ sont des particules qui en se dissolvant donnent des solutions colloïdales. Elles ont des propriétés caractéristiques, telles que la coagulation.

- **Les suspension – les particules ont de grandeurs supérieurs à 1000 Å, $\phi > 10^{-7} \text{ m}$.**

Les particules dispersées de suspension sédimentes et sont déposés (ou remontent à la surface) sous l'influence de la gravité.

2. Selon le milieu dispersant et la phase dispersée

3. Selon le nombre de dimensions qui sont microdispersées:

- Si les trois dimensions sont microdispersée sont comprises entre 10 et 1000 Å : nous avons des solutions proprement dites .

--Si deux dimensions sont comprises entre 10 et 1000 Å, ce sont des systèmes microdispersés et nous avons de capillaires ou des molécules filiformes,

- Si une seule dimension est comprise entre 10 et 1000 Å – nous avons des systèmes de Membranes .

**Classification des solutions et des systèmes dispersés:
Suivant le milieu dispersant et la phase dispersée:**

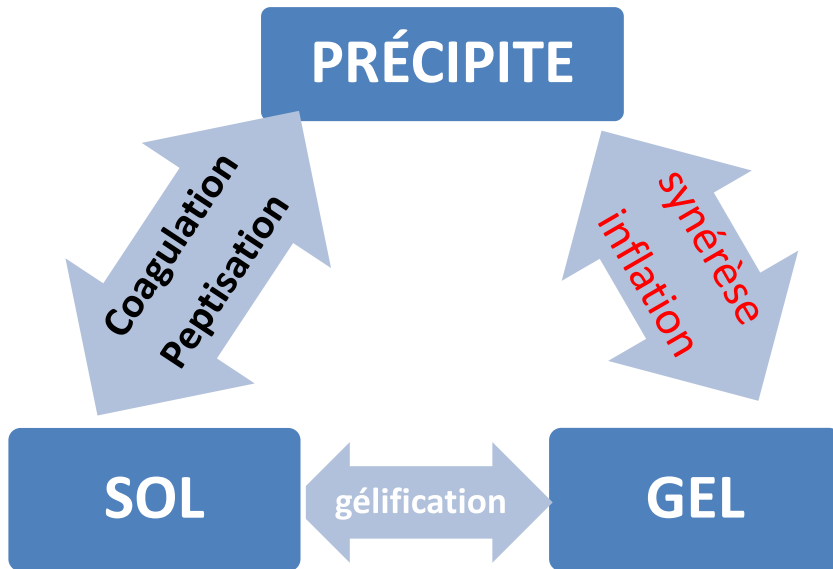
Milieu de dispersion	phase dispersée	nom
Gaz	liquide	Brouillard (nuages) aérosols
	Solide	Fumée (poussière)
liquide	Gaz	mousse
	liquide	émulsion de lyosol
		suspension
Solide	Gaz	mousse solide
	liquide	Systèmes capillaires de sols
	Solide	Verres et alliages

TRANSITION SOL-GEL

La solution colloïdale elle-même, avec les propriétés caractéristiques d'un liquide se appelle SOL. Sous certaines conditions, le sol se gélifie, un état intermédiaire entre liquide et solide, ne coule pas, est élastique à petite déformation mais est plastique à grandes déformation persistente . Il permet la diffusion des substances micromoléculaire mais ne permet pas la convection. C' est un bon environnement pour les réactions chimiques, permet la conductibilité électrique par des ions.

La transition entre le sol et le gel se fait par passage d'une partie du solvant et vice-versa, par absorption ou par agitation mécanique.

Par synérèse – qui signifie la perte de la majeure partie du solvant - **le gel se transforme en précipité.**
Le précipité a les propriétés habituelles des solides amorphes ou cristallins, un volume beaucoup plus petit que le gel et empêche la diffusion ou d'autres phénomènes qui s'y rapportent.



La COAGULATION consiste à réduire la dispersion pour former de grosses particules qui se déposent pour former un précipité.

Dans le cas de la gélification, les particules s'unissent pour former un réseau lâche dans le maillage duquel il y a le solvant.

Le CYTOPLASME par la nature des substances dispersées dans la solution, est à la fois une solution moléculaire (sels), une solution colloïdale (protéines) et une suspension (organites: mitochondries, ribosomes).

En termes de propriétés mécaniques, le fait que les gouttelettes de protoplasme ont tendance à confluer, à s'écouler des trous de la membrane, à permettre aux courants de convection repartir le cytoplasme dans la gamme des liquides (**sols**).

Son Élasticité et sa tendance à s'écouler très réduite, l'approchent de l'état de gel.

Cet état intermédiaire du cytoplasme entre le sol et le gel est dû à un réseau lâche de molécules de protéines filiformes avec des points de contact entre le cytosquelette et le réseau microtrabeculaire.

Selon la manière d'une substance qui traverse une membrane semi-perméable sont obtenus:

Cristalloïdes(cristaux formés après l'évaporation du solvant)

Colloïdes , après l'évaporation du solvant il reste un film collant qui ne peut être dissous.

La classification des substances en colloïdes et cristalloïdes est arbitraire parce que généralement une substance peut exister à la fois sous forme colloïdale et cristalloïde selon les conditions de la dissolution et de la séparation.

Par exemple:

-NaCl est un cristalloïde typique qui dans des conditions normales forme une solution colloïdale dans le benzène

-Le Savon forme une solution colloïdale dans l'eau mais présentent des propriétés cristalloïdes dans l'alcool.

SYSTEMES COLLOÏDAUX : CLASSIFICATION

Par colloïdes actuellement on ne comprend pas une certaine classe de substance, mais un certain état de la substance auquel se rapportent certaines propriétés caractéristiques de celui-ci.

Aujourd'hui à la place des solutions colloïdales on utilise la notion de **système colloïdal**.

Selon la structure des particules colloïdales, les colloïdes peuvent être divisés en trois catégories:

- COLLOÏDES DE DISPERSION

- COLLOÏDES D'ASOCIATION- OU COLLOÏDES MICELLAIRES

- COLLOÏDES MACROMOLÉCULAIRES

La Micele est une particule presque sphérique composée de molécules amphiphiles qui ont les têtes polaires dirigées vers l'extérieur et les extrémités apolaire - hydrophobes vers l'intérieur. Un exemple d'une solution micellaire est le savon dans l'eau.

Les colloïdes macromoléculaires présentent des liaisons interatomiques primaires, par exemple les protéines, l'amidon.

Selon la forme des molécules on distingue:

Colloïdes linéaires sont composés de chaînes et présentent une résistance mécanique élevée et viscosité.

Les protéines structurales y sont comprises la myosine et la fibrine.

Colloïdes sphériques – sphéroïdes: ont une viscosité plus faible et se déplace facilement

Les systèmes colloïdaux sont classés aussi en fonction du degré de dispersion.

Le degré de dispersion D: exprime le degré de division des substances qui forment la dose dispersée.

Le degré de dispersion est un critère important pour la classification des systèmes physico-chimiques qui est défini comme l'inverse de la taille d - diamètre des particules dispersées:

$D = 1 / d \text{ (cm}^{-1}\text{)}$.

Le degré de dispersion D est le nombre de particules qui pourraient être placées côte à côte sur une distance de 1 cm.

	Système	d(cm)	D	observations
1	Systèmes avec un degré faible de dispersion	$>10^{-5}$	$<10^5$	Ils ne traversent pas les filtres fins de papier. Ils ne dialysent pas. Ils sont visibles au microscope optique
2	Systèmes avec un degré de dispersion colloïdal	$10^{-5} \div 10^{-7}$	$10^5 \div 10^7$	Traversent les meilleurs filtres. Pas de dialyse Aucune émission Sont visibles à l'ultramicroscope
3	Systèmes avec un degré de dispersion moléculaire	$<10^{-7}$	$>10^7$	Traversent tous les filtres Dialyse Non visible à l'ultramicroscope

En termes de l'état d'agrégation:

Les systèmes de dispersion peuvent être:

Liquides (lait)

Solides (certains minéraux)

Gazeux (le brouillard dans l'atmosphère) En état semi –liquide , semi-solide ou semi- gazeux, forment des gels.

Les systèmes colloïdaux liquides sont appelés des solutions colloïdales ou sols.

Les solutions dans lesquelles le milieu dispersant est de l'eau sont appelées HYDORSOLS.

Solutions colloïdales peuvent être distingués par l'état de dispersion et la phase dispersée.

Chacun d'eux peut être sous forme solide, liquide ou gazeux.

Disperser les systèmes dans lesquels le milieu de dispersion est un gaz sont appelés aérosols. En fonction de l'état d'agrégation des aérosols de la phase dispersée sont répartis en fumée (si la phase dispersée est solide)

brouillard (si la phase dispersée est liquide)

Les systèmes dans lesquels les bulles de gaz sont distribués dans un liquide sont appelés mousses.

Par la nature LYOPHILE de particules colloïdales, on entend leur capacité à se lier très fortement et pour un grand nombre des molécules, le milieu de dispersion forment les couches de solvation.

Au contraire lorsque les particules ne peuvent pas interagir si fortement avec ces molécules on parle du caractère **LYOPHOB** des colloïdes .

Dans le cas particulier des solutions aqueuses, on utilise de la même manière les termes de caractère hydrophile et hydrophobe.

Actuellement les termes lyophiles ou lyophob sont utilisés en un sens plus large des systèmes qui ne sont pas colloïdaux caractérisant la capacité d'une substance à lier de l'eau ou non.

LES COLLOÏDES LYOPHOBES sont des systèmes hétérogènes avec un forte degré de dispersion. Cette catégorie est composés principalement de systèmes anorganiques dans un milieu de dispersion aqueux.

Lors de la séparation de la phase dispersés les colloïdes typiques lyophobes forment des précipitées pulvérulents, qui ne contient pas des quantités importantes du milieu de dispersion.

Caractère lyophile et lyophobe de colloïdes

- Les **COLLOÏDES LYOPHOBES** sont caractérisés par l'irréversibilité et du point de vue thermodynamique l'état d'agrégation n'a pas de stabilité

- Les **COLLOÏDES LYOPHILE** sont des systèmes homogènes dont les particules se lient en grande quantité des molécules du milieu dispersant, par exemple des sels en milieu aqueux.
- Colloïdes lyophiles sont réversibles (se dissolvent spontanément).

Les dispersions de la classe des colloïdes lyophile consistent en particules dans lesquelles tous les atomes sont liés entre eux par des liaisons covalentes. Chaque particule est donc une macromolécule.

Les colloïdes moléculaires lyophiles comprennent de nombreuses substances organiques avec de grandes molécules. Certaines forment des solutions colloïdale dans l'eau (protéines, amidon), d'autres se dissolvent seulement dans les solvants organiques (pneus).

LA STABILITE DES SYSTEMES COLLOÏDAUX

Les systèmes colloïdaux diffèrent considérablement entre eux par la stabilité . Certains peuvent être conservés pendant une longue période, d'autres sont sensibles à divers facteurs, étant relativement stable.

Il y a deux catégories de processus qui conduisent à la destruction des systèmes colloïdaux et qui dans certaines circonstances peuvent survenir spontanément.

Catégorie 1: PROCESSUS DE FLOCCULATION ou processus d'agglomération, sous la forme de particules plus grandes (flocons), de particules fines d'une suspension ou une solution colloïdale, suivi de leur précipitation sous l'action d'un flocculant . Dans cette catégorie sont les processus dans lesquels les particules de la phase dispersée peuvent être séparés par dépôt ou émersion à la surface du liquide en fonction du rapport entre la densité de ces particules et celle du milieu de dispersion.

Catégorie 2: PROCESSUS DE COAGULATION: processus qui consiste à augmenter les particules de la phase dispersée après leur fusion.

LA STABILITÉ DES SYSTÈMES COLLOÏDAUX EST CLASSÉE:

- 1. STABILITÉ CINÉTIQUE**
- 2. STABILITÉ À L'AGRÉGATION**

1. LA STABILITÉ CINÉTIQUE est liée au fait que dans les systèmes colloïdaux, le phénomène de sédimentation s'oppose à l'agitation thermique des particules dispersées (mouvement brownien) causée par les collisions de molécules du milieu de dispersion et par les dimensions petite et moyenne de ces particules. Pour cette raison dans les systèmes colloïdaux les particules sont maintenues en suspension, même en cas de différence significative entre les densités du milieu de dispersion et des particules de la phase dispersée.

2. LA STABILITÉ À L'AGRÉGATION – COAGULATION - explique la capacité d'un système de maintenir son degré de dispersion. La stabilité à l'agrégation est déterminé par l'existence d'une charges électriques et d'une couche de solvation des particules de la phase dispersée.

STABILITÉ À L'AGRÉGATION– COAGULATION –

Dans les systèmes colloïdaux relativement stables après l'interaction avec des molécules ou de l'environnement électrique, les ions de l'environnement les particules de phase dispersée appartenant au milieu considéré.

Cela ne signifie pas que tout le système est chargé.

Globalement, le système est électriquement neutre.

Il ya deux principales causes qui déterminent la charge électrique des particules appartenant à différentes espèces de colloïdes.

1. Certaines colloïdes (moléculaire) contiennent des groupes acides ou basiques qui peuvent être ionisés ou former des sels avec des quantités minimales d'acides ou de bases de la solution. La particule colloïdale est dans ce cas un macroion.

2. La charge électrique de certaines colloïdes (suspensioïde, colloïdes moléculaires et non – électrolytes) est due à l'absorption d'ions sur la surface des particules. Cela est déduit du fait qu'on peut modifier la grandeur des charges des particules ou on peut changer le signe par addition d'électrolytes.

Par exemple, l'iodure d'argent colloïdale peut précipiter sous la forme de particules chargées positivement lorsqu'on fait goutte une solution très diluée de KI dans un excès de AgNO_3 . Le changement de la charge des particules produit le changement du degré de dispersion de colloïde

En conclusion le changement de la charge des particules produit le changement du degré de dispersion du colloïde , le changement de la charge favorise l'augmentation des particules.

LA STABILITE ET LA STRUCTURE DES SOLUTIONS COLLOÏDALES

La stabilité des solutions colloïdales est conditionnée par deux facteurs.

D'une part, la **tension superficielle tend à diminuer l'interface** entre la phase dispersée et le milieu dispersant, à minimiser la dispersion, produisant ainsi la coagulation.

D'autre part **charge électrique des particules colloïdales** produit un rejet entre elle s'opposent à la diminution du degré de dispersion, stabilisant ainsi le sol.

Les colloïdes hydrophiles (généralement lyophiles) sont ceux qui ont une faible tension superficielle par rapport à l'eau. Leurs sols sont stables et la tendance à la coagulation est faible ou complètement absente. Certains des polysaccharides et des protéines donnent de telles solutions, à l'extérieur de la particule colloïdale sont des groupes donnant des ponts d'hydrogène (un groupe $-\text{OH}$, $-\text{CO}-\text{NH}-$) ou ionisé ($-\text{COO}^-$, $-\text{NH}_3^+$).

Les colloïdes hydrophobes (généralement lyophobes) ont une tension superficielle élevée et ont tendance à coaguler. Les lipides émulsionnés lors de la digestion ont la surface la plupart des groupes hydrophobes, non polaires, les solutions sont stabilisées.

La charge électrique des particules colloïdales provient de groupes ionogènes ou adsorption préférentielle d'ions d'un certain signe particulier.

Les protéines ont des groupes ionogènes et type anionique et cationique - les groupes COOH et $-\text{NH}_2$ des chaînes latérales des acides monoaminocarboxyliques et diamino-carboxyliques.

La charge globale du molécule de protéine dépendra du pH.

La structure des particules des solutions colloïdales

Contrairement aux charges fixes qui forment une couche bien délimitée à la surface de la particule colloïdale, les molécules d'eau sont orientées et se déplacent conjointement avec la particule formant un

granule. Certains des contre-ions sont dans la couche d'eau liée et ainsi la charge n'a pas la charge mais la charge $[-(n-x)e]$.

La couche de contre-ions du reste de la solution est plus diffuse y compris les contre-ions de la couche dite diffuse, dans l'eau libre. Ce qui compte pour le mouvement de la granule dans un champ électrique c'est sa charge $[-(n-x)e]$ est le potentiel électrique à la limite de la couche d'eau liée dit potentiel électrocinétique (zeta).

La coagulation de la solution colloïdale peut être obtenue par:

Apporter pH au pHi quand la charge globale et le potentiel cinétique est annulée.

Salification : ajout de sels solubles en concentrations élevées (1-5 M), par exemple: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Par l'hydratation des ions du sel la quantité d'eau libre dans la solution colloïdale diminue et le colloïde se dépose en augmentant sa concentration effective dans l'eau libre au delà de la solubilité de la substance dispersée. Un effet similaire a le solvant organique soluble dans l'eau (par exemple l'éthanol).

Ajustement d'ions à forte valence produit la coagulation. Selon la règle de Schulze-Hardy, avec l'augmentation de la valence de l'ions diminue fortement la concentration nécessaire pour produire la coagulation (seuil de coagulation). **Par exemple:** pour un sol de $\text{FeO}(\text{OH})$, le seuil de coagulation est 9mM pour KCl , 0,2 mM pour K_2SO_4 ou MgSO_4 . Pour le sol As_2S_5 on obtient avec son utilisation: 70 mM de NaCl , 1 mM de MgCl_2 , AlCl_3 de 0,13mM

Les solutions micellaires sont des substances ayant un caractère tensioactif, des détergents qui, par dissolution sous forme de solution forment des micelles si leur concentration dépasse un certain seuil.

Par exemple, pour les sels d'acides gras avec une partie polaire et une chaîne non polaire ($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{COO}^-\text{Na}^+$) si la concentration de la solution est supérieure au seuil micellaire, la concentration des ions monomères n'augmente plus et les monomères combinent leur chaînes non-polaires en une sorte de gouttes d'huile, portant les groupes polaires. L'effet d'abaissement de la tension superficielle produit par le détergent atteint la limite supérieure lorsque la concentration du détergent atteint le seuil micellaire.

PROPRIÉTÉS DES SOLUTIONS COLLOÏDALES

En raison de la taille intermédiaire des molécules de la phase dispersée situées à la limite entre micro et macroscopique dans les solutions colloïdales peuvent être vus les phénomènes physico-chimiques suivants:

MOUVEMENT BROWNIEN

COAGULATION

ÉQUILIBRE DE SÉDIMENTATION ET ULTRACENTRATION

EFFET TYNDALL - FARADAY

1. Filtration : les solutions colloïdales passent par des filtres en papier ordinaire. Il existe des filtres spéciaux qui les retiennent.

2. Mouvement brownien : consiste dans le mouvement chaotique, désordonné des particules de la phase dispersée à l'intérieur de la solution. L'augmentation de température se traduira par l'intensification de ce mouvement en augmentant la vitesse des particules.

1. FILTRATION existe deux principales techniques de filtration :

La filtration frontale, la plus connue, consiste à faire passer le fluide à filtrer perpendiculairement à la surface du filtre. C'est la technique employée par exemple pour les filtres à café. Les particules étant retenues par le filtre, cette technique est limitée par l'accumulation des particules à sa surface, qui finissent peu à peu par le boucher (colmatage).

La filtration tangentielle, au contraire, consiste à faire passer le fluide tangentiellement à la surface du filtre. C'est la pression du fluide qui permet à celui-ci de traverser le filtre. Les particules, dans ce cas, restent dans le flux de circulation tangentielle, et le bouchage s'effectue ainsi beaucoup moins vite. Cependant, cette technique est réservée à la filtration des très petites particules, d'une taille allant du nanomètre jusqu'au micromètre.

On peut aussi nommer différemment l'opération de filtration suivant la taille des pores du filtre :

- filtration clarifiante : diamètre des pores supérieur à 10 μm
- microfiltration : diamètre des pores entre 10 nm et 10 μm
- ultrafiltration : diamètre des pores entre 1 et 100 nm
- osmose inverse : diamètre des pores inférieur à 1 nm

On parle de filtration stérilisante lorsque le diamètre des pores est inférieur à 0,22 μm (220 nm), permettant la rétention des micro-organismes.

3 La COAGULATION se produit lorsque $\text{pH}=\text{pHi}$ (le pH de la solution et le pHi des macromolécules, valeur à laquelle leur charge globale est nulle et donc les forces de rejet électrostatiques entre elles sont annulées.

L'ajustement du pH d'une solution à la valeur du pHi d'une espèce particulière de protéine est une méthode qui permet la séparation de l'espèce à partir d'un mélange de protéines, car elle a pour résultat par la coagulation de l'espèce.

Par exemple, la protéine principale des blancs d'oeufs est l'ovalbumine qui est capable de coaguler après le chauffage.

4. L'ÉQUILIBRE DE SÉDIMENTATION ET L'ULTRACENTRIFUGATION

Dans le champs d'accélération gravitationnelle g , la densité des particules par unité de volume diminue de façon exponentielle avec la hauteur h .

Pour les émulsions et les suspensions de dispersion Groba (grossiere), la hauteur $h/2$, à laquelle la densité des particules diminue de moitié est petite, mais pas dans le cas des particules colloïdales. Les particules colloïdales sont en équilibre dans leurs solutions. Pour que des particules colloïdales se déposent, la solution colloïdale est introduite dans le champ d'accélération centrifuge créée dans l'ultracentrifugeuse.

La force centrifuge s'écrit: $F_{cf} = m.\omega^2 R = m.(2.\pi\nu)^2.R$

La force centrifuge provoque la séparation des particules colloïdales des molécules du solvant, leur migration vers la paroi de la centrifugeuse et la sédimentation à cet endroit.

La vitesse de dépôt des particules v est proportionnelle à l'accélération centrifuge $\omega^2 R$: $v = \frac{dr}{dt} = s.\omega^2 R$

S est appelée constante de sédimentation.

L'unité pour la constante de sédimentation est 1Svedberg = 10^{-13} ans / rot².

Pour les particules colloïdales et la constante de diffusions est inversement proportionnelle à $M^{1/3}$.

$$M = \frac{R.T.s}{D \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_M} \right)} \quad si \quad M \approx s^{\frac{3}{2}}$$

ρ_L est la densité du solvant et

ρ_M est la densité de la substance

ULTRACENTRIFUGATION

est utilisée pour déterminer la masse moléculaire de la particule colloïdale et pour la séparation des organites cellulaires suivant la dimension - par exemple de la suspension obtenue à partir de la trituration de la cellules .

La séparation des organites suivant les dimensions à savoir:
noyaux, mitochondries, ribosomes et ainsi de suite

L' effet Tyndall- Faraday: consiste en la diffusion latérale (dispersion) forte de la lumière dans les solutions colloïdales.

L'intensité du faisceau diffusé a la forme: $I = I_0 \frac{n.K.V^2}{\lambda^\alpha}$

où:

I = intensité du faisceau diffusée

I₀- intensité du faisceau incident

K- Constante

n - nombre de particules par unité de volume,

λ - longueur d'onde de la lumière utilisée

α- facteur qui dépend de la taille des particules.

Nous avons les cas suivants:

α=4 si λ << d (le diamètre des particules est beaucoup plus petite que la longueur d'onde utilisée)

α=0 si λ=d(le diamètre a le même ordre de grandeur que la longueur d'onde)

Notez que pour les petites particules sont plus fortement dispersées les petites λ pour les particules colloïdales de grand diamètre , ne dépend pas de λ



PHENOMENES ELECTROKINETIQUES DANS LES SOLUTIONS COLLOÏDALES

1. ÉLECTROPHORÈSE des protéines réside dans la migration des macroions , sous l'action de la différence de potentiel électrique qui est appliquée entre deux électrodes: l'anode (+) et la cathode (-).

Dans un tel champ électrique, les macroions se déplacent vers l'électrode opposée. C'est une méthode pour la détermination du pH isoélectrique de la protéine, car dans ce cas la macromolécule est électriquement neutre et reste au repos.

Mis dans un champ électrique d'intensité constant, le macroion protidique se déplace sous l'action d'une force électrique constante directement proportionnelle à la charge apparente. Le mouvement dans le champ électrique

oppose à un frottement dû à la viscosité du milieu. Lorsque les deux forces sont égales, la particule atteint une limite de vitesse constante appelée mobilité électrophorétique. La vitesse de migration est directement proportionnelle à la charge globale (Z) respectivement directement proportionnelle au poids moléculaire.

Dans l'électrophorèse, la cause est la différence de potentiel et l'effet consiste à déplacer les macroions dans ce champ.

2. EFFET DORN: consiste en l'apparition d'une différence de potentiel (effet) en raison du mouvement dans le champ gravitationnel de particules électriquement chargées (cause). L'effet peut être révélé dans une suspension de particules

d'argile chargées négativement. Après leur sédimentation dans la solution apparaît une différence de potentiel qui peut être mesurée à l'aide d'un galvanomètre.

3. L'électro-osmose: apparaît à la suite de la formation, par les macroions de leur eau d'hydratation pendant le mouvement électrophorétique, conduisant ainsi à un transport net de molécules d'eau qui peuvent passer.

4. Le potentiel d'écoulement : est l'effet d'écoulement inverse par rapport à l'électro-osmose et consiste en l'apparition d'une différence de potentiel aux extrémités d'une capillaire. Prein qui est entraîné de manière forcée par un liquide. Son déplacement entraîne la couche de contre-ions qui s'agglomèrent à l'extrémité du capillaire

Procédés pour la préparation et la purification des solutions colloïdales

PRÉPARATION:

En contact avec le solvant, les macromolécules protéiques forment des solutions colloïdales, des interactions entre les molécules de solvant et les particules colloïdales, selon la nature de la protéine ..

Ainsi:

COLLOÏDES LYOPHILE (si le solvant est l'eau, ils sont appelés hydrophiles) peuvent être obtenus par la simple dissolution des particules colloïdales dans le solvant, car ils présentent une affinité pour eux.

COLLOÏDES LYOPHOBES (ayant l'eau comme solvant, sont appelés hydrophobes) exigent d'autres méthodes, car les particules colloïdales ne peuvent pas former des liaisons avec des molécules du solvant, les méthodes utilisées incluent une forte agitation mécanique, l'ultrafasonnage de disperser ou d'utiliser des agents tensioactifs.

Procédés pour la préparation et la purification des solutions colloïdales

1. **FILTRATION**
2. **ULTRAFILTRATION**
3. **ULTRACENTRIFUGATION**
4. **DIALYSE**
5. **ÉLECTRODIALYSE**

1. FILTRATION: est un processus physique de rétention sélective de composants d'une substance donnée qui traverse un milieu approprié - filtre en papier avec des pores de 1,5 à 5 μm ou du papier en pergamentum avec des pores de 0,2 μm ou en papier cellophane, etc.

2. ULTRAFILTRATION: sous l'effet de son propre poids. Les filtres sont faits en collodion avec des pores de 10-200 nm).

3. ULTRACENTRIFUGATION: est une autre méthode de purification.

El se fait avec la centrifugeuse à une très grande vitesse de rotation avec: 100.000- 200.000 rotation / min. Par la centrifugation, la vitesse de sédimentation s'accélère proportionnelle au facteur d'accélération

$$\beta \text{ est: } \beta = \frac{\omega^2 x}{g}$$

$$\text{Et la vitesse de sédimentation est: } V_c = \frac{2 \cdot \omega^2 (\rho - \rho_0) \cdot r^2}{g \cdot \eta}$$

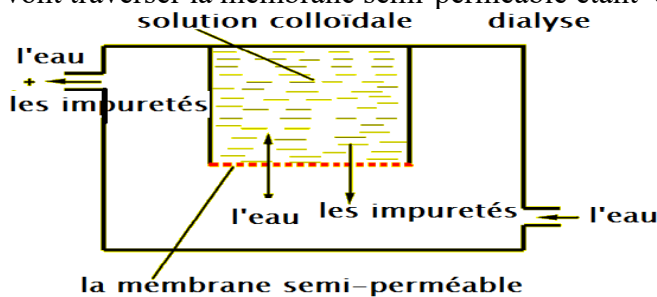
où $\omega^2 x$ = accélération centrifuge, g-acceleration gravitationnelle dans la chute libre; x – distance de la particule à l'axe de rotation de la centrifugeuse et η et ρ_0 sont respectivement le coefficient de viscosité et la densité du milieu dans lequel se fait la sédimentation et ρ est la densité des particules rayon r.

Les suspensions très fine et les colloïdes de sédimentation sont séparées par sédimentation, la force centrifuge peut dépasser un million de fois la force de gravité ($\sim 10^5$ - 10^6 g)

4. La dialyse est un procédé de purification des solutions colloïdales de dispersion moléculaire basé sur la diffusion des macromolécules et des microions à travers une membrane semi-perméable.

Le dispositif utilisé pour la dialyse est appelé un dialyseur.

Sous l'effet du gradient de concentration entre les deux milieux, et les microions et les micromolécules vont traverser la membrane semi-perméable étant ensuite entraînés par l'eau et retirés du système.



Par exemple la pathologie extrarénale utilisant **la dialyse extra-rénale**.

L'incapacité des reins à accomplir leur différentes fonctions dans le maintien du milieu interne constant est connue comme une **insuffisance rénale**.

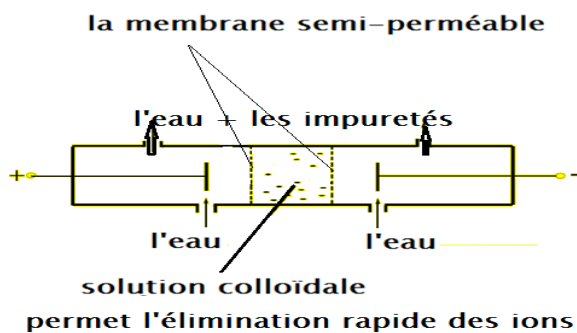
La teneur en azote du sang au-dessus de 0,1 à 0,15% est le résultat d'un e defaillance de la fonction de filtration des reins. Cela est principalement dû à l'accumulation d'urée et d'acide urique et par conséquent il est appelé **urémie**.

LA DIALYSE EXTRA RÉNALE est la séparation des substances colloïdales d'avec les substances cristalloïdes à travers une membrane semi-perméable mise dans une solution de recherche et de l'eau pure ou une solution d'une composition donnée.

LA DIALYSE EXTRA RÉNALE se réfère à un procédé physique par lequel le sang d'un patient souffrant d'insuffisance rénale est mis en contact avec une solution hydro-électrolytique ayant une composition spécifique et est réalisée à travers une membrane de cellophane semi-perméable qui permet le passage dans les deux directions de l'eau et des substances à petites molécules.

Les échanges sont basés sur les lois de l'osmose. Dans le corps du patient, les substances accumulées en excès dans le sang diffuseront dans le liquide de dialyse à travers le tube de cellophane. Simultanément le sang est enrichi de substances dont la concentration est mauvaise par rapport au liquide de dialyse dont la composition reproduit le liquide extracellulaire.

Il existe aussi la **dialyse intestinale** et la **dialyse péritonéale**



PHENOMENES QUI SE PASSENT AUX INTERFACES

TENSION SUPERFICIELLE

Si au moins une des phases est un liquide à la surface de séparation se produit une force qui tend à réduire la zone de contact entre les phases appelées **FORCES DE TENSION SUPERFICIELLE**.

En raison de cette force les gouttelettes liquides ont tendance à prendre une forme sphérique parce que la sphère est un corps géométrique qui a la surface minimale pour un volume donné. Plus la forme d'un corps est le plus éloignée de la sphère il a un volume donné, une plus grande surface.

Par exemple, l'hématie a une forme de disque biconcave et est approximée par un disque avec un diamètre d'env. $D=4 \mu\text{m}$ avec un volume d'env. $V=80 \mu\text{m}^3$ et une superficie de $S=140 \mu\text{m}^2$., $S/V= 1,75 \mu\text{m}^{-1}$. Si au même volume l'hématie était sphérique nous aurions: $S/V=1 \mu\text{m}^{-1}$.

Possédant de grandes zones de séparation entre les phases, les systèmes vivants impliquent. phénomènes interfaciaux complexes. En raison des forces de tension superficielle, la couche de surface se comporte comme une membrane élastique tendue en ce sens qu'elle tend à diminuer sa surface. Contrairement à une membrane élastique, proprement dite, la tension dans la la couche de surface est indépendante de la surface totale de l'interface et dépend de la nature des phases en contact et de la température.

TENSION SUPERFICIELLE

Pour augmenter la surface ΔS , la surface de contact entre les phases, il faut dépenser une énergie ΔE proportionnelle à cette variation de la surface libre: $\Delta E = \sigma \cdot \Delta S$

Le facteur de proportionnalité σ est appelé **coefficient de tension superficielle**.

Par exemple, à la surface de séparation du liquide et de sa vapeur,

σ dépend de la nature du liquide et diminue lorsque la température augmente.

Méthodes pour déterminer la tension superficielle:

La méthode stalagmométrique

Méthodes basées sur la mesure de la force requise pour le détachement d'autres solides . Les dispositifs modernes utilisent cette méthode particulièrement.

Dans le cas d'une pellicule, la force de tension superficielle du film est uniformément distribuée le long du contour de longueur l et varie en proportion directe de sa longueur: $F = \sigma.l \Rightarrow [\sigma]_{SI} = \frac{N}{m}$

L'eau est le solvant le plus commun dans le corps.

L'eau est caractérisée par une valeur élevée du coefficient de tension superficielle est

$\sigma = 72.10^{-3} \text{ N/m}$, ce qui a une grande importance dans de nombreux processus biologiques.

Dissoudre certaines substances dans l'eau peut entraîner des changements dans sa tension superficielle .

Nous distinguons les cas suivants:

Si les molécules du soluté ne se modifient pas, alors les forces intermoléculaires peuvent tenir dans le réseau de liaison d'hydrogène de l'eau et la tension superficielle de l'eau ne change pas.

Lors de la dissolution dans l'eau d'un électrolyte se produit une forte interaction entre les ions et de la dissociation de l'électrolyte et des dipôles résultant de l'eau ce qui augmente les forces intermoléculaires et la tension superficielle . Cette augmentation n'est pas significative, étant donné que peu de temps après la dissolution les ions sont attirés à l'intérieur du fluide, et donc leur concentration dans la couche de surface diminue.

Si dans l'eau on dissout des substances qui ont dans leur composition des groupes hydrophobes, ils pénètrent entre les molécules d'eau, ce qui diminue les forces intermoléculaires. En même temps, ces molécules sont expulsées à la surface libre du liquide où leur concentration augmente de manière significative en entraînant une diminution de la tension superficielle de l'eau.

Les substances capables de réduire la tension superficielle sont appelés **tensioactifs - agents tensioactifs**.

Un exemple typique sont les détergents. Leurs molécules sont orientées dans la solution de sorte que les groupes carboxyle polaires soient dirigés vers les molécules d'eau et les groupes non polaires vers les molécules d'acide gras. Cela permet de réduire la tension superficielle et les impuretés augmentent leur surface de contact avec la solution, se transformant en petites formations sphériques (micelles).

Dans le corps humain, le foie sécrète des substances comme agents tensio-actifs pour leurs fonctions. La bile, la sécrétion du foie est déchargée dans le duodénum où elle facilite l'émulsification des graisses. La bile est composée de pigments biliaires (bilirubines) et de sels biliaires (le glycocholate de sodium et taurocholate de sodium). La nature hydrophobe des graisses alimentaires les fait structurer sous la forme de gouttelettes et donc leur circulation et leur absorption dans l'intestin ne sont pas possible.

Mais les sels biliaires facilitent leur émulsion en orientant leurs terminaisons hydrophobes vers les molécules de graisse et leur extrémité polaire vers les molécules d'eau. De cette manière, les molécules des graisses sont plus facilement hydrolysées en acides gras et glycérol.

ADSORPTION

L'ADSORPTION réside dans l'accumulation des molécules d'une phase dispersée à la surface de séparation de deux phases.

Il est essentiel de faire la distinction entre le phénomène d'adsorption et l'absorption.

L'adsorption se produit à l'interface

L'absorption a lieu dans la masse de la solution.

L'adsorption se produit de deux manières.

La chemisorbtion implique la rétention des joindre les particules a l'interface en formant des liaisons chimiques. L' adsorption des des molécules d'un gaz sur les métaux (tels que le CO sur des catalyseurs au palladium dans les voitures) , ou l'adsorption de micromoles sur un solide dans une solution (telles que les molécules des couches stabilisatrice des particules de magnétite dans un ferrofluide).

Les liaisons impliqués dans la chemisorbtion sont d'un ordre de grandeur plus fortes que pour l'adsorption physique où des force du type van der Waals, électrostatiques ou hydrophobes. Cette dernière catégorie comprend l'adsorption des macromolécules au niveau des interfaces.

Langmuir a fait une étude de la cinétique du processus d'adsorption à une température donnée, en fonction de la concentration de la solution à proximité de l'interface.

Le modèle de Langmuir repose sur trois hypothèses:

L'adsorption se produit uniquement dans une couche

Tous les sites (les positions) sont équivalents, et la surface est uniforme.

La probabilité pour une molécule à adsorber sur un site donné est indépendante du degré d'occupation des sites voisins.

Dans ces conditions, **le processus d'adsorption à un site donné peut être assimilé à une réaction chimique réversible, caractérisée par une constant de vitesse d'adsorption k_a , respectivement une constant de vitesse de désorption k_d constantes , qui dépende respectivement de la nature et la temperature des substances impliquées .**

La vitesse de variation de la couverture fractionnaire, définie comme le rapport entre le nombre de sites d'adsorption occupés et le nombre total de sites disponibles est donnée par:

$$\frac{d\theta}{dt} = k_a \cdot c(1 - \theta) - k_d \theta$$

Où: c est la concentration des particules de la phase dispersée dans le voisinage de l'interface.

ADSORPTION

LE MODÈLE DE LANGMUIR

$$\frac{d\theta}{dt} = k_a \cdot c(1 - \theta) - k_d \theta$$

Le premier terme correspond au processus direct, l'adsorption et signifie que la probabilité augmente avec la concentration c, c'est à dire la fraction de sites inoccupées.

Le second terme caractérise le processus de désorption et suggère que la probabilité augmente avec la fraction des sites occupés.

À l'état d'équilibre, la couverture fractionnaire devient indépendante du temps, conduisant à l'annulation du membre gauche de l'équation et implicitement de son membre droite. La valeur d'équilibre de θ est:

$$\theta_e = \frac{c}{c + K}$$

$$K = \frac{k_d}{k_a}$$

où **K** est la constante de dissociation des particules adsorbées.

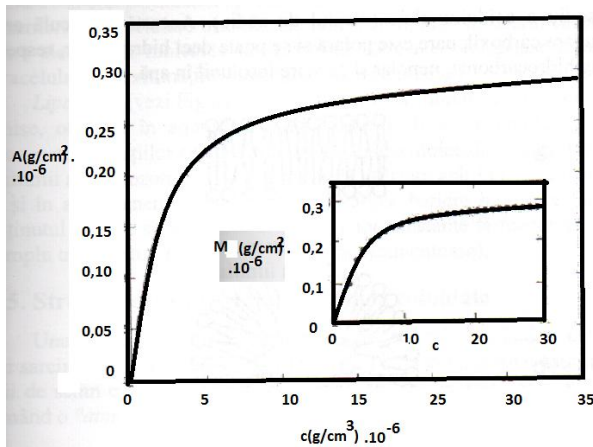
D.p.v. phénoménologique K est la valeur de la concentration du soluté à laquelle la moitié des sites d'adsorption sont occupés.

Le recouvrement de surface peut être caractérisé aussi par la quantité de substance adsorbée par unité de surface de l'interface et peut être exprimée en termes de nombre de particules, le nombre de moles ou masse.

Si A est la quantité des particules adsorbées par unité de surface la couverture partielle peut s'exprimer: $\theta = A/A_s$

A_s correspond à la valeur de saturation lorsque tous les sites disponibles sont occupés.

La représentation de la quantité de substance adsorbée en fonction de la concentration du soluté à proximité de l'interface est connue sous le nom **isotherme de Langmuir**: $A = A_s \frac{c}{c + K}$

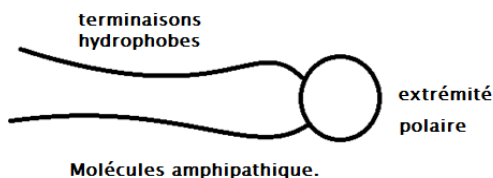


Dans le tableau ci -contre est présentée l'isotherme de Langmuir avec les paramètres: $A_s = 0,31 \mu g/cm^2$ et $K = 2 \mu g/cm^3$

Ces données expérimentales correspondent à l'adsorption de la protéine transferrine.

de graph → la théorie de Langmuir fournit une description correcte de phénomènes d'adsorption qui se produisent dans de nombreux systèmes, y compris dans les systèmes vivants.

Les colloïdes d'association



Ces molécules qui sont constituées de deux groupes polaires hydrophiles et de groupes non polaires – hydrophobe – sont appelés **MOLÉCULES AMPHIPATHIQUE**.

Par la dispersion dans l'eau tels composés en une concentration supérieure à **la concentration micellaire critique**, ils sont organisés comme des petites vésicules appelées micelles.

Un exemple d'une biomolécule amphipathique qui a tendance à former des micelles est le sel de sodium de l'acide oléique (de l'oléate de sodium). Cette molécule a un seul groupe carboxyle qui est polaire et peut être facilement hydratée, une longue chaîne d'hydrocarbonate non polaire et insoluble dans l'eau elle-même.

En raison de cette chaîne à fort caractère hydrophobe, l'oléate de sodium a une très faible tendance à se dissoudre dans l'eau et à former une solution appropriée.

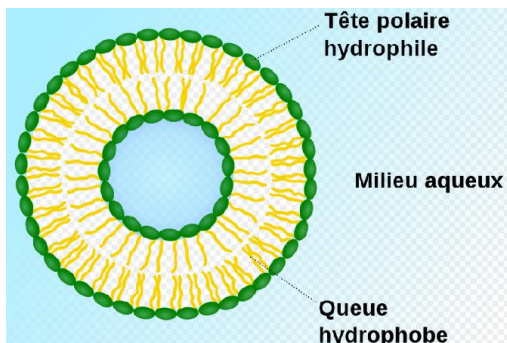
Cependant, il se disperse dans l'eau pour former des vésicules dans lesquelles les groupes carboxyle (têtes polaires) sont exposés et forment des liaisons de molécules d'eau et les chaînes hydrocarbonées non polaires sont cachées à l'intérieur

Molécules amphipathique

À l'interface air-eau, les composés amphipathiques forment:

- Les monocouches avec des têtes polaires enfilées par les molécules d'eau
- Les doubles couches - séparant deux compartiments aqueux.

Le squelette de base des membranes cellulaires est la double couche de phospholipides dans laquelle les extrémités polaires de ces molécules sont orientées vers le milieu aqueux intra et extracellulaires et les terminaisons hydrophobes les une vers les autres.



Liposomes

Les LIPOSOMES sont des structures vésiculaires à double couche, sombre, obtenues sous certaines conditions: l'exposition aux ultrasons des solutions contenant des molécules amphipathiques dissoutes dans l'eau.

Au cours des dernières années les liposomes ont trouvé une large utilisation dans la biologie, la médecine et d'autres domaines.

Ils peuvent traverser diverses barrières biologiques sans affecter leur contenu, ils servent à des substances pharmacologiquement actives par exemple (transporteurs pour les molécules des médicaments).

7.PHENOMENES DES TRANSPORT DE LA SUBSTANCE

LE TRANSPORT DE LA SUBSTANCE DANS LA SOLUTION

Les processus métaboliques qui se produisent dans les organismes vivants sont basés sur un échange permanent de substance, d'énergie et d'information avec l'environnement, et entre les différents compartiments internes du corps.

L'échange de substances est atteint grâce aux forces thermodynamiques: le gradient de concentration, le gradient de potentiel, la pression, la densité, l'enthalpie hausse, conduisant le système vers l'équilibre thermodynamique

Les forces thermodynamiques conservées dans des systèmes de vie provoquent des flux de particules qui se réalisent de deux façons.

LA DIFFUSION représentant le transport d'une substance dissoute sous l'influence du gradient électrochimique

L'OSMOSE, correspondant au transport d'un solvant sous l'action du gradient de pression osmotique.

Dans les organismes vivants, ces deux phénomènes de transport sont intriqués leur discussion séparée n'est qu'à des fins éducatives.

Si dans un système thermodynamique existe un gradient non nul d'un paramètre intensif, celui-ci donne lieu à un phénomène de transport net dans ce système.

7.1. DIFFUSION

Les solutions diluées ressemblent aux mélanges de gaz.

Les molécules de soluté diffusent, ce qui signifie la propagation dans tout le corps du solvant liquide.

Par dissolution d'un solide dans un liquide, la structure ordonnée se perd et ses molécules, frappées par des molécules de solvant, gagnent une énergie cinétique supplémentaire.

À leur tour, les molécules du solvant perdent une partie de l'énergie cinétique, ce qui s'exprime par une baisse de la température de la solution. Afin de rétablir la température initiale il faut fournir de la chaleur.

Par DIFFUSION les molécules (ou ions) sont transportées à partir d'une concentration plus élevée à une concentration inférieure.

La variation spontanée dans le temps de la concentration des composants d'un système en raison du mouvement relatif de leurs particules, consiste dans le transport d'une masse ou charge électrique.

DIFFUSION DANS LES GAZ

La diffusion dans le gaz consiste dans la dispersion des molécules d'un gaz dans les molécules d'un autre gaz mis en contact du gaz, ce qui entraîne une baisse de la concentration de transport de masse des molécules dans chacun des gaz considérés.

Selon **LA LOI DE FICK**, la masse du gaz dM transportée par une surface élémentaire dS est proportionnelle à la surface, avec l'intervalle de temps dt considéré et la direction x du gradient de

densité qui est transporté $d\rho/dx$:
$$dM = -D \frac{d\rho}{dx} dS dt \quad (1)$$

Où **D** est appelé le **coefficient de diffusion** ou la **diffusivité** et c'est une constante qui dépend de la nature du gaz. Elle est numériquement égale à la quantité de gaz qui passe par l'unité de surface dans une unité de temps à un gradient de l'unité et elle est mesurée en m^2/s

Sur la base de théorie cinétique moléculaire du gaz on peut écrire:

$$dM = -\frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda} m \frac{dn}{dx} dS dt \quad (2)$$

où: dn/dx est le gradient de concentration des molécules pendant la diffusion;

$\bar{v}, \bar{\lambda}$ sont la vitesse moyenne du débit et le parcours libre moyen des particules,

Compte tenu de la relation:

$$\frac{d\rho}{dx} = m \frac{dn}{dx} \quad (3)$$

nous pouvons écrire:

$$dM = -\frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda} \frac{d\rho}{dx} dS dt \quad (4)$$

En identifiant les termes de la relation (4) - La loi de Fick -

nous pouvons écrire l'expression suivante pour le **coefficient de diffusion**:

$$D = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda}$$

Si l'on tient compte de la dépendance de la vitesse moyenne et la température absolue T et le parcours

moyen libre de gaz et de la pression p sont obtenues les relations suivantes: $D \approx \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ et $D \approx \frac{1}{p}$

Qui expriment la **variation de la diffusivité** qui est proportionnelle à la racine carrée de la température et inversement proportionnelle à la racine carrée de la masse moléculaire μ et de la pression du gaz p .

DIFFUSION DU FLUIDE

La diffusion du fluide se produit par le transport de molécules de substances étrangères (liquides ou gaz) dans des concentrés liquides dans le but de leur diminution.

À l'échelle microscopique, la diffusion dans les liquides présente des caractéristiques beaucoup plus difficiles à traiter théoriquement que pour le gaz ou les solides.

Les phénomènes macroscopiques obéissent à la loi de Fick.

Diffusion dans les solides

La diffusion dans les solides consiste dans la dispersion des atomes ou des molécules d'un corps solide dans un autre solide mis en contact.

Le phénomène peut être étudiée à l'échelle atomique (microdiffusion) ou l'échelle macroscopique (macrodiffusion).

Dans le cas de la diffusion d'impuretés solides dans les cristaux pour l'étude de la **microdiffusion** on considère les actes individuels de déplacement des atomes des impuretés dans les réseaux fondamentaux.

On connaît plusieurs mécanismes du mouvement des atomes:

entre le noeuds du réseau cristallin, des atomes d'impureté avec une dimension inférieure à celle des atomes du réseau. En termes d'énergie, l'acte individuel de passage des atomes d'impuretés d'un entrecœud dans un autre voisin, consiste à surmonter une valeur de barrière de potentiel W_m .

La fréquence de l'escalade de cette barrière de potentiel est calculée en utilisant l'équation: $f = z\nu e^{-\frac{W_m}{kT}}$ où

ν est le nombre de collisions par seconde sur les parois de la barrière,

z est le nombre de nœuds par où peut passer l'atome,

k est la constante de Boltzmann et

T est la température du corps solide,

Dans les vides du réseau cristallin, les atomes d'impuretés ayant des dimensions comparables à celles du réseau.

La fréquence de l'escalade de la barrière de potentiel, qui se produit dans l'acte individuel de passer d'un

noeud à une vacance est donnée par la relation analogue à la précédente: $f = z\nu e^{-\frac{W_m+W_v}{kT}}$

où W_v est l'énergie nécessaire pour traverser la barrière du potentiel formée à la génération de la vacance.

Le changement entre les atomes d'impuretés des endroits occupés dans les noeuds du réseau.

La fréquence des actes individuels de diffusion sert au calcul de **coefficient de diffusion** et à établir sa dépendance de température.

$$D = D_0 e^{-\frac{Q}{kT}}$$

où

D_0 est le facteur commun qui dépend du mécanisme de diffusion microscopique et

Q est l'énergie d'activation du mécanisme (qui est équivalente à la hauteur de la barrière d'énergie W_m ou $W_m + W_v$).

DIFFUSION AMBIPOLAIRE

La diffusion ambipolaire de particules chargées se produit lorsque leur parcours libre moyen est plus petit que les dimensions de l'espace où se trouve également une différence dans la concentration des particules avec les deux signes (positifs et négatifs) dans une direction donnée.

Il s'agit d'une colonne positive d'un rejets luminescents dans un tube à parois isolantes.

Électrons avec une plus grande mobilité, chargent négativement la paroi isolante.

Cette charge négative aide à accélérer les ions positifs vers le mur et en même temps le freinage électronique pour obtenir un état d'équilibre lorsque les vitesses d'entraînement des deux types de porteurs deviennent égales.

Pendant la collision avec la paroi, les électrons se recombinent avec des ions de la couche de plasma à proximité immédiate de celle-ci, ce qui conduit à l'établissement d'un gradient de concentration à la fois des ions et des électrons, dirigé vers le mur.

Ce phénomène dépend de la nature du gaz et généralement le nombre des particules diminue lorsque la pression augmente.

DIFFUSION – LA LOI DE FICK

Du point de vue macroscopique le nombre d'atomes d'impuretés transportés par unité de temps à travers une certaine surface S est donné par

LA LOI DE FICK: $\frac{dN}{dt} = -D \frac{dC}{dx} S$

où

dN/dt est le nombre d'atomes transportés par unité de temps

D est le coefficient de diffusion,

et

dC/dx est le gradient de concentration sur la direction x.

La relation montre que le transport de masse est le but de la diminution de la concentration en atomes d'impuretés.

Première loi de Fick : $\frac{1}{S} \frac{dN}{dt} = -D \frac{dC}{dx}$

Deuxième loi de Fick : $\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dx^2}$

$$[D]_{C.G.S} = \frac{cm^2}{s}$$

Coefficient du diffusion

- Pour les micromolécules: $M < 10^3$ Da ; $D \sim 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$

$$D = \frac{8 \cdot 10^{-5}}{\sqrt{M}}$$

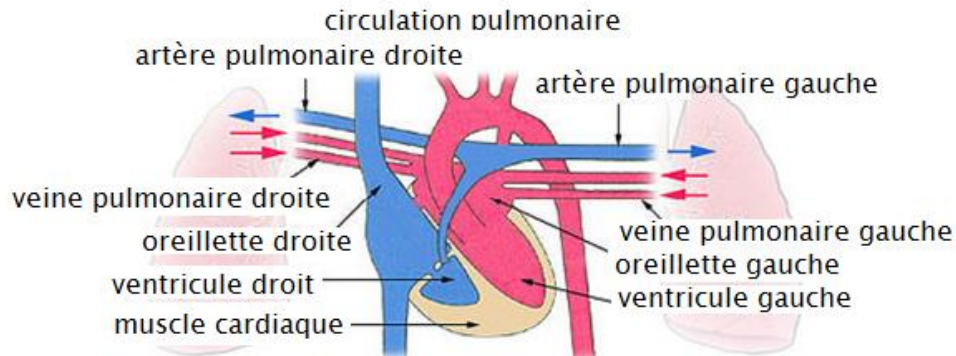
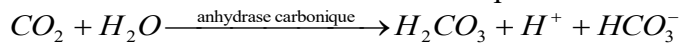
- Pour les macromolécules : $10^3 \text{ Da} < M < 10^8 \text{ Da}$; $D \sim 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$

$$D = \frac{3,2 \cdot 10^{-5}}{\sqrt{M}}$$

- pour des particules sphériques : relation Stokes - Einstein : $D = \frac{k.T}{6.\pi.\eta.r}$
- $1 \text{ Da} = 1,660\,538\,86\,(28) \times 10^{-27} \text{ kgN}$ = Unité de mesure pour masse

APPLICATION DE DIFFUSION DANS LE CORPS HUMAIN

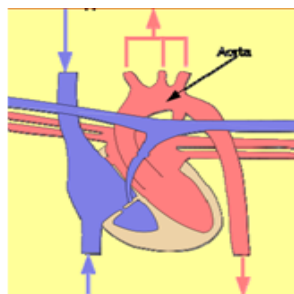
La diffusion de CO_2 des tissus vers le plasma est constituée par l'équation:



circulation pulmonaire

le sang désoxygéné entre dans le cœur par l'artère pulmonaire du ventricule droit jusqu'aux poumons

le sang oxygéné par les poumons atteindre le cœur de l'oreillette gauche à travers les veines pulmonaires.

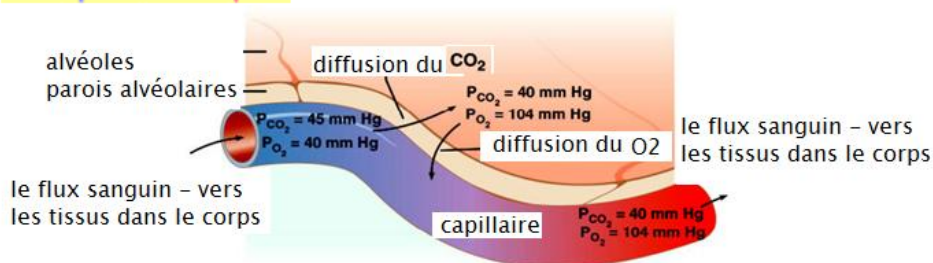


circulation systémique

le sang oxygéné

pénètre dans le ventricule gauche du cœur à travers l'aorte et atteint les tissus.

le sang désoxygéné de tissus atteindre le cœur dans l'oreillette droite par la veine cave.



2% de l'oxygène est transporté à travers le plasma

98% de l'oxygène est transporté à l'aide du composé Hb (O_2) 4

La diffusion du CO_2 des tissus à partir de plasma :

CO_2 - dioxyde de carbone est transporté comme suit:

-7% est dissous dans plasma

-23% comme complexe HbCO_2

-70% d'ions HCO_3^-

La diffusion de gaz se manifeste dans le phénomène de respiration dans l'échange de gaz dans les cellules.

Les échanges gazeux avec le milieu extérieur se fait en trois phases:

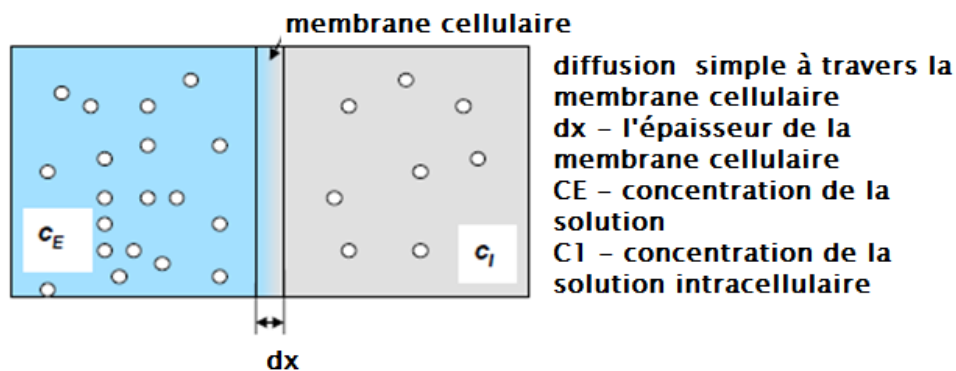
- **première phase** de respiration externe, l'échange de gaz respiratoire est entre le corps et le milieu extérieur à travers des structures appropriées
- **la deuxième phase** est représentée par le milieu interne de transmission de gaz et d'échange de gaz entre les cellules et le milieu interne.
- **la troisième phase** de respiration intracellulaire, ce qui permet d'obtenir de l'énergie dans les cellules par la dégradation catabolique des substances organiques.

DIFFUSION SIMPLE À TRAVERS LA MEMBRANE CELLULAIRE

Considérons une membrane perméable qui sépare deux milieux de différentes concentrations.
 Considérons que la membrane d'échange découle dans des conditions stables.
 selon **la première loi de Fick** nous avons:

$$J = \frac{\Delta m}{S \cdot \Delta t} = -D \frac{c_1 - c_E}{\Delta x} = D \frac{c_E - c_1}{\Delta x} = \frac{D}{\Delta x} (c_E - c_1) = P(c_E - c_1) = P \Delta c$$

où P est le coefficient de perméabilité de la membrane



7.2. L'OSMOSE

L'osmose est le phénomène de passage des molécules de solvant à travers une membrane semi-perméable à partir d'une solution plus diluée dans une solution plus concentrée.

Le phénomène de l'osmose peut être mis en évidence par osmomètre Dutrochet.

Soit un récipient contenant le solvant pur (de l'eau) dans lequel on fait couler un entonnoir à l'envers, recouvert d'une membrane semi-perméable (perméable seulement pour les molécules de solvant et non pas pour des substances dissoutes). L'entonnoir contient une substance du même solvant (par exemple glucose ou une solution de saccharose).

On note l'apparition, après un certain temps, des différences de niveaux entre le liquide du récipient et de l'entonnoir. Les molécules de soluté d'une taille trop importante pour traverser les pores de la membrane, la différence de niveau s'explique évidemment par le passage des molécules de solvant du récipient contenant le solvant pur dans l'entonnoir qui contient la solution.

Le niveau du liquide dans l'entonnoir passera à l'état d'équilibre, caractérisé par une égalité des valeurs de la pression hydrostatique exercée par la colonne de liquide dans la partie tubulaire de l'entonnoir et de la pression qui a poussé l'eau du récipient dans l'entonnoir, appelée pression osmotique.

La condition d'équilibre s'écrit

$$\pi = \rho \cdot g \cdot h \quad (1)$$

Où

π - est la pression osmotique;

ρ - est la densité de la solution;

h - est la différence de hauteur entre le liquide du récipient et de l'entonnoir

g - accélération de la champ du pesanteur

La pression osmotique est la pression nécessaire pour arrêter le phénomène d'osmose.

Remarque: Les solutions diluées ont un comportement similaire aux gaz parfaits.

La formule pression osmotique peut être écrite par analogie avec

l'équation thermique d'état des gaz parfaits: $p \cdot V = \nu \cdot R \cdot T$ (2)

Si l'équation (2) est divisée par le volume V on obtient: $\pi = c \cdot R \cdot T$ (3)

loi van't Hoff:

où, dans l'équation (2)

p - la pression du gaz

V - le volume du gaz

ν - la quantité de substance (nombre de moles)

R - la constante des gaz parfaits

T - la température absolue

Et dans l'équation (3)

c - concentration molaire du soluté en solution;

π - pression osmotique

La loi Van't Hoff peut être étendue à des solutions d'électrolytes.

Pour des solutions d'électrolytes, la pression osmotique est plus élevée que celle obtenue avec l'équation (3).

C'est parce que la pression osmotique est déterminée par le nombre de particules qui ne peuvent pas traverser la membrane semi-perméable appelées particules osmotiques actives et ne dépend pas de la nature ou de la masse des solutés.

Pour écrire une formule générale pour le calcul de la pression osmotique il est nécessaire d'introduire un nouveau type de concentration appelée CONCENTRATION OSMOLAIRE, qui prend en compte la dissociation des substances dissoutes dans la solution et qui est donné par:

$$c_{os} = \sum n_i \cdot c_i \quad (4)$$

où n_i - est le nombre de particules (ions) résultant de la dissociation d'une molécule de la substance, et c_i - est la concentration molaire de cette substance

La loi Van't Hoff peut être étendue à des solutions d'électrolytes aussi:

Ainsi:

- Pour les électrolytes forts: le calcul de la concentration osmolaire utilisera l'équation: $c_{os} = \sum n_i \cdot c_i$ avec $n_i > 1$

- Pour les électrolytes faibles, parce qu'ils dissocient légèrement, on utilise le rapprochement: $\pi = c \cdot R \cdot T$ avec $n_i \approx 1$

- Pour les non-électrolytes, qui ne se dissocient pas du tout en solution, $n_i = 1$

Ainsi dans la relation Van't Hoff: $\pi = c_{os} \cdot R \cdot T$

un remplacement est nécessaire pour la concentration molaire c avec la concentration osmolaire c_{os} .

Nous pouvons donc écrire: $\pi = c_{os} \cdot R \cdot T$

En mettant deux solutions en contact avec différentes concentrations d'osmolarité c_{os1} et c_{os2} entre elles existe une différence de pression osmotique:

$$\Delta\pi = \pi_1 - \pi_2 = R \cdot T \cdot (c_{os1} - c_{os2}) \quad (5)$$

$$\text{Ou } d\pi = R \cdot T \cdot dc_{os} \quad (5')$$

Qui va pousser le solvant de la solution plus diluée à la solution plus concentrée.

Lors du changement du solvant par membrane semi-perméable séparant deux solutions de concentrations différentes osmolaires on effectue un travail mécanique appelé travail osmotique:

$$W = v \cdot R \cdot T \cdot \ln(c_{os1}/c_{os2}) \quad (6)$$

MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA PRESSION OSMOTIQUE

MÉTHODE DIRECTE

Les méthodes directes sont basées sur la mesure de la pression osmotique, la définition de la pression osmotique et l'utilisation de l'osmomètre Dutrochet (la cellule osmotique).

Cela permettra de déterminer la quantité de pression osmotique en mesurant la pression hydrostatique qui l'équilibre (étant égale à la différence d'hauteur du liquide du récipient et de l'entonnoir).

La méthode est moins utilisée et ne convient que pour les petites valeurs de la pression osmotique.

METHODE INDIRECTE

Méthode EBULIOSCOPIQUE: Dans ce cas la température d'ébullition d'un liquide dans des conditions normales est la température à laquelle la pression de vapeurs saturées de liquide devient égale à la pression atmosphérique au cours de laquelle l'évaporation est ($H=p_m=1 \text{ atm}$).

La dissolution des substances dans les liquides a comme effet la réduction de sa pression de vapeur saturante, de sorte que la solution doit être chauffée à une température plus élevée pour que la nouvelle valeur corresponde à la pression ambiante.

L'effet EBULIOSCOPIQUE : est d'augmenter la température d'ébullition d'une solution par rapport au solvant pur: $\Delta t_{eb} = t_{\text{solution}} - t_{\text{solvant pur}}$

Dans le cas des solutions diluées, l'augmentation de la température d'ébullition Δt_{eb} est proportionnelle à la concentration osmolaire de la solution:

$$\Delta t_{eb} = k_{eb} \cdot c \text{ - la loi de Raoult}$$

Où k_{eb} ne dépend que de la nature du solvant. Ses valeurs sont totalisées.

Par exemple pour l'eau: $k_{eb} = 0,52 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{M}$

Connaître la valeur de la constante ebullioscopique et la détermination de Δt_{eb} permet de trouver la pression osmotique de la solution: $\pi = R.T.(\Delta t_{eb}/k_{eb})$

MÉTHODE CRYOSCOPIQUE

L'EFFET CRYOSCOPIQUE ou la congélation consiste à abaisser le point de congélation d'une solution par rapport au solvant pur.

$$\Delta t_{cr} = t_{t\text{solvant pur}} - t_{t\text{solution}}$$

Où t_t est la température de congélation (ou fusion)

La baisse de la température de congélation de la solution par rapport au solvant pur est proportionnelle à la concentration de l'osmolarité de la solution

$$\Delta t_{cr} = k_{cr} \cdot c \quad \text{loi de Raoult}$$

Lorsque la constante de proportionnalité dépend de la nature du solvant:

$$\text{Eau: } k_{cr} = 1,86 \text{ } ^\circ\text{C/M}$$

$$\text{Pour le plasma sanguin: } k_{cr} = 0,56 \text{ } ^\circ\text{C/M}$$

Divisant la relation $\Delta t_{cr} = k_{cr} \cdot c$ par la relation $\pi = \cos \cdot R \cdot T$

$$\text{On obtient:} \quad \pi = \Delta t_{cr} \cdot [(R \cdot T)/k_{cr}]$$

PRESSION OSMOTIQUE

L'augmentation de la température d'ébullition, respectivement

la baisse de la température de congélation d'une solution par rapport au solvant pur mène à un certain nombre d'applications pratiques.

Un tel exemple *est l'antigel (éthylène glycol ($\text{CH}_2\text{OH})_2$)*, caractérisé par une très basse température de congélation utilisé pendant l'hiver dans des radiateurs d'automobiles.

La pression osmotique du plasma sanguin

Le plasma sanguin est une **solution aqueuse** ayant la composition:

- Ions (i): Na^+ , K^+ , Cl^- , Ca^{2+} , etc.
- Molécules non dissociés (mn) urée, le glucose, les acides aminés, etc.
- Macromolécules protéiques (p): l'albumine et la globuline

La pression osmotique est la somme des pressions osmotiques générées par ces composants $\pi = \sum \pi_i + \sum \pi_{mn} + \sum \pi_p$

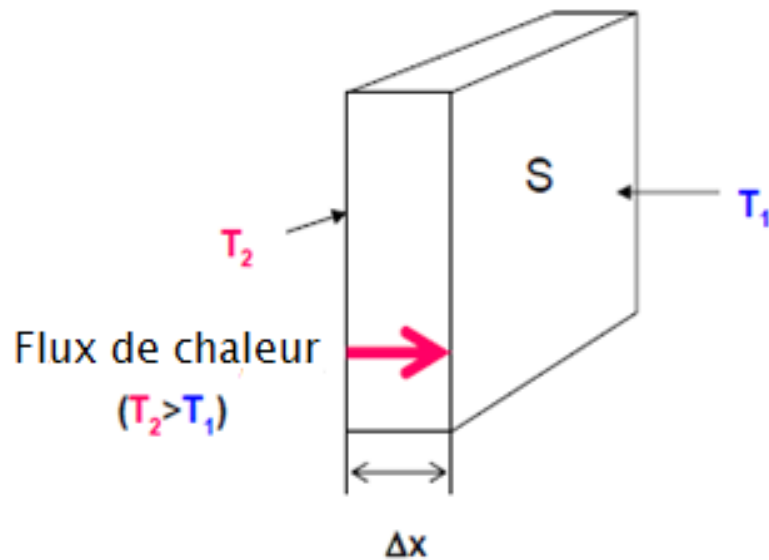
$$\pi_{\text{plasma}} = R \cdot T \cdot \cos_{\text{plasma}}$$

$$\cos_{\text{plasma}} = 0,303 \text{ osM}$$

$$\pi_{\text{plasma}} = 25,4 \cdot 0,303 = 7,6 \text{ atm}$$

8. TRANFERT DE CHALEUR PAR CONDUCTION, CONVECTION ET RADIATION

8.1. TRANFERT DE CHALEUR PAR CONDUCTION



Le transport de chaleur à travers un matériau conducteur de surface S et d'épaisseur Δx

Le flux de chaleur J_o est la quantité de chaleur ΔQ passant par une unité de surface S dans une unité de temps ΔT

$$J_o = \frac{\Delta Q}{S \cdot \Delta T}$$

Le flux de chaleur et le gradient de température dépend de la nature de la substance- **La loi Fourier**

$$J_o = \frac{\Delta Q}{S \cdot \Delta T} = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

La quantité de chaleur transportée par unité de temps dépend de la surface en section transversale à travers laquelle on effectue le transport de la chaleur, le gradient de température et la nature de la substance

$$q = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = -\lambda.S. \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$R = \frac{\Delta x}{\lambda.S}$$

$$q = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = -\frac{\Delta T}{R}$$

Où

λ est le coefficient de conductivité thermique

R est la résistance thermique de l'environnement

OBSERVATIONS:

- La conduction thermique dans le cas des métaux est obtenue principalement par des électrons de conduction
- Dans le cas des non-métaux est réalisée par conduction phonons
- La conductivité des cristaux dépend de la direction parce que ce sont des systèmes anisotropes
 - La conductivité thermique des liquides est inférieure à celle des matières solides et celle du gaz est inférieure à celle des liquides
- La conductivité thermique et électrique augmentent lorsque la température baisse.

8.2. TRANSFERT DE CHALEUR PAR CONVECTION

Le transfert de chaleur par convection se produit au moyen d'un fluide (liquide ou gaz) qui vient en contact avec un matériau solide compact ayant une température différente.

L'échange de chaleur par le processus de convection se produit plus lentement que dans le processus de conduction. Par exemple: le chauffage de la salle en hiver est dans la plupart des cas par convection. Bien qu'il soit un isolant, l'air peut facilement transporter la chaleur par les courants qui se forment dans une salle où il y a une source de chaleur - par exemple un radiateur.

Si le corps qui vient en contact avec la masse de l'air est à une température inférieure alors l'air chaud peut céder une partie de son énergie et il se refroidit. L'air devient par refroidissement plus dense, il va «tomber» et il sera remplacé par une quantité d'air chaud à l'intérieur. De cette façon est créé un flux continu d'air autour du mur de la salle et également un transfert de chaleur de l'air chaud au mur froid. En chauffant le lieu de contact avec une source chaude, la densité du fluide change et entraîne la formation des courants ascendants.

La loi de la propagation de la chaleur par convection est donnée par

$$\text{la loi de Newton : } q = h.S.T$$

$$[h]_{\text{S.I.}} = 1 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

où h - est le coefficient de convection

S est l'aire de la surface de contact

ΔT est la différence de température entre la surface de contact et l'environnement.

8.3.TRANSFERT DE CHALEUR PAR RAYONNEMENT

Contrairement à la conduction et à la convection, le transport de chaleur par rayonnement un matériau n'est pas nécessaire pour le transport d'énergie.

L'énergie thermique est transmise par ondes électromagnétiques avec des longueurs d'onde plus grandes que celle de lumière rouge dans le spectre visible avec $\lambda > \lambda_{\text{rouge}}$ qui portent la chaleur. Ils sont appelés RAYONNEMENT INFRAROUGE.

- DIATHERMANE - sont appelés les organismes qui permettent le passage de rayonnement infrarouge et

- ATHERMANE sont appelés les organismes qui ne permettent pas le passage de rayonnement infrarouge

Quand un corps métallique atteint la température de 500 ° C il devient rouge et lumineux. En augmentant encore la variation de température la couleur devient blanche.

La chaleur que le corps reçoit par réchauffement est transformée en énergie rayonnante

L'énergie rayonnante émise par l'unité de temps est appelé puissance d'émetteur du corps (puissance rayonnante)

Un corps qui absorbe tout le rayonnement qui tombe sur lui est appelée CORPS NOIR.

Quand un corps noir est chauffé, il émet tout le rayonnement possible.

Le corps noir est défini comme émetteur et également absorbeur parfait de rayonnement.

$$q = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \sigma \cdot S \cdot T^4$$

a puissance de rayonnement du corps noir est donné par:

$$\sigma = 5,669.10^{-8} \frac{W}{m^2 K^2}$$

Loi de Stefan - Boltzmann

(σ = Constant Stefan - Boltzmann)

Pour un corps réel , la puissance rayonnante est exprimée comme suit: $q = e \cdot \sigma \cdot S \cdot T^4$

où

e est l'émissivité du corps

e = 1 pour un corps noir

e = 0,97 pour le corps humain

e = 0,02 pour les surfaces en aluminium poli

8.4. TRANSPORT DE CHALEUR A TRAVERS LE CORPS HUMAIN

Le corps humain produit de la chaleur qui est transmise à partir du centre du corps à la surface et donc à milieu extérieur.

La quantité de chaleur et la température du corps varient d'un organisme à l'autre.

La chaleur est transportée à partir de lieux avec une température plus élevée vers ceux ayant une température plus basse, par conduction et convection.

La conductivité thermique du tissu est réduite, en particulier pour ceux épais, de sorte que le rôle principal dans le transport de la chaleur revient au sang.

Le transfert de chaleur par le sang est favorisée aussi par sa chaleur spécifique grande, à-peu-près égale à celle de l'eau (1cal/g.grade ou 4185J/kcal.grade)

Le transport de la chaleur de l'intérieur du corps ayant la température T_1 à surface du corps ayant la température T_s est donnée par:

$$Q_1 = C_1 (T_1 - T_s)$$

où C_1 est la capacité thermique du corps pour transférer la chaleur de l'intérieur vers la surface.

Le transport de chaleur à partir de la température de surface T_s du corps dans l'environnement extérieur à la température T_e est donnée par:

$$Q_2 = C_2 (T_s - T_e)$$

C_2 est la capacité thermique du corps pour le transport de chaleur de sa surface à l'environnement.

En cas de stationnement $Q_1 = Q_2$ à savoir: $\frac{C_1}{C_2} = \frac{T_s - T_e}{T_1 - T_s}$

$$C_1 (T_1 - T_s) = C_2 (T_s - T_e)$$

C_1 / C_2 = indice de circulation thermique

Le transfert de chaleur vers l'extérieur est réalisé par conduction, convection, rayonnement et évaporation de l'eau par la sueur.

La transmission de chaleur vers l'extérieur par conduction, convection, rayonnement est d'environ 70 à 80% du transfert de la chaleur totale vers l'extérieur et par évaporation de 20 à 30%.

En cas d'effort physique, la perte de chaleur par évaporation est de 60 à 70% de la chaleur.

En cas de travail physique intense le corps peut perdre 4-12 litres d'eau par évaporation, ce qui représente un dégagement important de chaleur.

Au cas où la couche d'air sur la peau est d'environ 4-8 mm, appelée couche marginale, le corps va s'opposer à l'élimination de la chaleur par des courants de conduction et convection.

L'épaisseur de cette couche diminue lorsque le corps est en mouvement.

9. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE LA CELLULE, LE NOYAU ET LES MEMBRANES BIOLOGIQUES

9.1. CELLULE

PARAMÈTRES PHYSIQUES

LA CELLULE est l'unité de la matière vivante morphofonctionnelle, la plus petite unité capable de vie indépendante.

Les parties de la cellule sont les suivantes:

1. MEMBRANE CELLULAIRE: séparer au milieu extracellulaire, ce qui devrait être considéré comme un organe et non un film passif, comme ce est le siège d'activités biophysiques et biochimiques liés processus de transport complexes.

2. NOYAU représente le bureau principal de l'information génétique. Cette activité se produit la synthèse des protéines

3. CYTOPLASME (liquide intracellulaire) est intermédiaire entre le sol et consistance de gel et une structure hétérogène en raison organites au sein. Il a été souligné un réseau de filaments qui traversent le cytoplasme, comme le cytosquelette ou reta microtrabeculara avec un rôle important dans le métabolisme cellulaire.

4. ORGANELLES OU LES MITOCHONDRIES, le réticulum endoplasmique, l'appareil de Golgi, les liposomes, etc. , rencontrent des fonctions spécifiques.

La forme des cellules est variée: sphérique, cylindrique, ovale, avec géométrie stable ou variable.

La cellule nerveuse est munie d'un long poste appelé un axone et une ou plusieurs extensions courtes appelées dendrites.

	nom	nombres	grandeur
1	érythrocytes	$25000 \cdot 10^9$	$7 \div 8 \mu\text{m}$
2	neurones	$86 \cdot 10^9$ - dans le cerveau $17 \cdot 10^9$ - dans le cortex $69 \cdot 10^9$ - dans le cervelet	$3 \div 100 \mu\text{m}$
3	cellules gliales	$84 \cdot 10^9$ - dans le cerveau $68 \cdot 10^9$ - dans le cortex $16 \cdot 10^9$ - dans le cervelet	
4	hépatocytes	$100 \cdot 10^9$	
5	lymphocytes		$6 \div 8 \mu\text{m}$
6	adipocytes		$60 \div 120 \mu\text{m}$

LA CELLULE - PARAMÈTRES PHYSIQUES

TYPES DE CELLULES. FORME PHYSIQUE

Un **NEURONE**, ou **CELLULE NERVEUSE**, est une cellule excitable constituant l'unité fonctionnelle de base du système nerveux. Le terme de « neurone » fut introduit dans le vocabulaire médical en 1881 par l'anatomiste allemand Heinrich Wilhelm Waldeyer.

Les neurones assurent la transmission d'un signal bioélectrique appelé influx nerveux.

Le nombre total de neurones du cerveau humain est estimé à 86 à 100 milliards (10^{11}). Le cerveau n'est pas le seul organe à avoir une forte concentration de neurones : l'intestin par exemple en compte selon les estimations, jusqu'à 200 millions.

Les neurones seraient approximativement aussi nombreux que les cellules gliales, seconds composants du tissu nerveux assurant plusieurs fonctions dont le soutien et la nutrition des neurones.

L'ETAT PHYSIQUE DE LA CELLULE

Les connaissances que nous avons sur l'état physique de la cellule, sur les processus biophysiques, ainsi que de nombreux autres processus biologiques, montrent une dualité: des questions éclaircies avec des problèmes ignorés.

L'explication est que dans tous les temps le développement de la science il ya des théories contradictoires sur un terme physique rencontré en biologie, même si le phénomène significatif du monde inanimé est bien expliqué.

D'autre part la complexité de la matière vivante, ainsi que sa fragilité expliquent pourquoi nous n'avons pas de conclusions définitives sur certaines grandeurs biophysiques apparemment simples, telles la viscosité de protoplasme, son élasticité, etc.

On peut dire qu'en général, les problèmes de la biophysique, mais si largement étudiés et débattus sont encore ouverts.

Comme l'organisme vivant multicellulaire ne peut pas être considéré comme une somme ou une colonie de cellules, les processus biologiques, cellulaires ne résultent non plus de la simple somme des processus physiques et chimiques de la cellule.

La cytologie est indubitablement la base de la compréhension des phénomènes de la vie et la citophysiologie a, non seulement comme une partie intégrante, mais aussi comme fondements, la biophysique cellulaire et la biochimie. Les difficultés méthodologiques majeures proviennent de la petitesse de l'objet et du besoin de l'étudier dans des conditions proches à celles naturelles et fonctionnelles.

LA CONCENTRATION MOLÉCULAIRE

La concentration moléculaire dans les cellules est différente aux plantes et aux animaux, elle diffère d'un groupe d'organismes vivants à l'autre.

Les plantes chez lesquelles l'osmose couvre une très grande échelle et participe à de nombreuses adaptations, sont caractérisées par une grande variabilité de la pression osmotique, 1-200 atm (PJKramer, 1955).

Une concentration moléculaire si élevée explique en partie, la résistance des plantes au gel.

Chez les animaux domestiques la pression osmotique varie dans des limites beaucoup plus proches.

Chez l'homme, par exemple, elle est de 6-7 atm, correspondant à un point de congélation $\Delta t = - 0,56^{\circ}\text{C}$ inférieur aux animaux marins et aux sélaciens

$\Delta t = - 2^{\circ}\text{C}$.

La pression osmotique des animaux supérieurs est remplie par le minéral et l'électrolyte, tandis que chez les sélaciens, en particulier par les substances organiques (urée et l'oxyde de triméthylamine).

Dans les cellules des organes des animaux évolués la concentration moléculaire est légèrement supérieure à celle de l'environnement interne.

LE PROTOPLASME CONTIENT:

- Des solides minéraux dissous sous la forme de molécules et d'ions (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , etc.) dans le fluide intracellulaire,

- Des ions et des molécules gazeuses (O_2 , N_2 , H^+ , O^{2-} , etc.).

- Des ions inorganiques (en particulier K^+ , Na^+ et Ca^{2+}) impliqués dans les processus d'équilibre colloïdaux, dans la perméabilité à l'excitation, dans le déploiement et le contrôle du métabolisme.

Les liquides sont des solutions aqueuses. La quantité d'eau dans les corps vivants à un état d'activité qui peut atteindre 95% de la masse corporelle (par exemple les méduses).

La cellule contient un grand nombre de substances organiques caractéristiques: substances protéiques, des graisses, des glucides, etc. La proportion dans laquelle ces substances sont variées d'un type cellulaire à l'autre, selon la nature de la cellule (végétale ou animale) espèces, organe, l'âge et la fonction.

La cellulose caractérise les végétaux.

Le collagène caractérise les organismes animaux supérieurs.

La chlorophylle ne se trouve que dans les plantes vertes.

La cellule végétale contient généralement plus d'eau que celle de l'animal (certaines algues de l'eau jusqu'à 98%).

La durée de vie est un paramètre décisif pour la stabilité de la radiosensibilité et de la radiorésistance des cellules.

Elle revêt une importance particulière pour la compréhension du mécanisme d'interaction du rayonnement ionisant avec la matière vivante.

pH:

Le pH de la cellule dépend du type de cellule.

La valeur moyenne de pH de 6,9 .

Cette valeur est identique pour toutes les cellules.

Le noyau pH = 4-5 - plus acide

Le suc gastrique pH = 1-2.

Les éventuels changements de pH intracellulaire qui se sont produits au cas où des substances entrent dans la cellule sont empêchés par des tampons existants dans les dites cellules

le pH intracellulaire est un milieu légèrement acide

La viscosité varie avec l'âge des cellules et la température

	nom	durée de vie
1	érythrocytes	100-120 jours
2	neurones	
3	cellules gliales	
4	hépatocytes	
5	lymphocytes	Mois- semaines
6	adipocytes	
7	Plaquettes	5-9 jours
8	Mitochondries	21 jours

LA VISCOSITÉ DU PROTOPLASME

Une question plus controversée est de savoir si le protoplasme est ou il n'est pas un liquide newtonien , à savoir si la loi de Newton est valable pour lui aussi.

La viscosité de plusieurs colloïdes lyophiles ne se soumet pas à la loi de Newton

Lorsque le débit est faible, le coefficient de viscosité n'est pas dépendant du gradient de vitesse et le débit dépend de la force appliquée.

Peiffer a montré que le cytoplasme est présenté comme un fluide newtonien. Cependant, après LV Heilbron (1958), de nombreuses variétés de protoplasme peuvent être considérés comme des fluides newtoniens car des écarts observés sont négligeables.

La détermination de la viscosité se fait par plusieurs procédés.

De la variété de ces procédés nous pouvons en tirer deux groupes.

- **L'un d'eux est basé sur la loi de Stokes** sur la chute ou le déplacement de petites sphères dans un liquide visqueux.

- **L'autre groupe est basée sur la loi d'Einstein** concernant le lien entre le mouvement brownien de particules en suspension et suspension visqueuse moyenne.

L'expérimentation biophysique est souvent utilisée à la place de la force centrifuge de la gravité. Les observations sont faites en utilisant un microscope centrifuge.

Les oeufs d'oursins *Arbaccia* résistent à une centrifugation de quelques minutes à accélération de centrifugation ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$). Mais de nombreux petits organismes cellulaires ne résistent pas à la centrifugation, ils ont été détruits avant de pouvoir déterminer la viscosité. Ils résistent aux actions des champs magnétiques statiques.

Par conséquent, pour la détermination de η , certains auteurs comme Heilbroun L. en 1922, ont utilisé l'étude de la circulation des grains sphériques du fer ou du nickel, sous l'action d'un champ magnétique déterminé à la fois dans le cytoplasme et à la viscosité du liquide également connue.

Il est à noter que les valeurs numériques sont des valeurs moyennes obtenues approximatives du coefficient de viscosité η , car la densité de protoplasme varie d'un point à un autre, et l'altération intense de la cellule diminue la valeur de ce coefficient.

La viscosité du cytoplasme varie au cours de la division cellulaire.

Elle est maximale en anaphase et télophase (après W. Fry, 1934), aussi pour les cellules végétales que pour celles des animaux (LV Heilbrun, R. Chambers, etc.).

Le protoplasme est une solution aqueuse dans laquelle sont dissous des ions et des molécules petites : glucose, C_2 , N_2 , CO_2), les protéines de macromolécules et des acides nucléiques (soit par la taille des solutions colloïdales) et dans les organites cellulaires qui sont suspendus à partir de différents granules polyribosomes .

En termes de concentration de particules dissoutes dans les plantes et les bactéries ,donc l'osmolarité ,elle peut largement varier entre 1 et 200 atm (0,015 à 10 M) nombre. Des concentrations élevées correspondent aux formes en repos (qui cause la résistance au gel, la sécheresse et les spores).

Chez les animaux la pression osmotique varie peu dans l'environnement interne – chez l'homme la pression osmotique est d'environ 7 atm la-dépression de la congélation est $\Delta T = 0,56^\circ\text{C}$.

La concentration est d'env. 0,3 M, il existe différents mécanismes qui maintiennent une concentration constante osmolaire totale tout à fait exacte.

Comme un type de solution, le cytoplasme est entre l'état du sol et de gel très laxiste composé de molécules et les membranes des bandes de réticulum endoplasmique dans lesquelles il ya un maillage de terrain fibrillaires.

9.2.LE NOYAU

Le noyau contient un jus nucléaire (caryolympe) entouré par une membrane nucléaire, qui forme la majeure partie de la masse nucléaire.

Pour la nature liquide du contenu nucléaire témoignent les faits suivants:

le noyau est déformable et élastique (comme un ballon en caoutchouc gonflé);

sa forme au repos est sphérique;

pour perforer la membrane, le noyau élimine une goutte ou peut mélanger le contenu du cytoplasme;

les inclusions nucléaires sont sphériques;

dans le noyau on observe le mouvement brownien (parfois plus actif que dans le cytoplasme) et des courants (jusqu'à $2\mu\text{m}/\text{min}$);

les noyaux peuvent fusionner qu'au contact la fusion est favorisée par les drogues et les alcaloïdes favorisées.

Les évaluations de la viscosité ont donné des valeurs différentes, selon que les déterminations étaient fondées sur la loi de Stokes ou celle de Einstein.

Pour le jus nucléaire ont été proposées des valeurs de 0,02 à 0,07 poise ; probablement parce que la viscosité varie de cellule en cellule et elle est variable dans le temps (par rapport à l'état fonctionnel, etc.) et par rapport à divers facteurs physiques et chimiques.

Le système colloïdal nucléaire a été caractérisé comme un «système polyphasé labile de hydrolats" (Lepeskin) comme un «état fondamental coacervation complexe" (Peterfi et Kojium, 1936).

Il n'a pas seulement une émulsion, et le dispersoïde (particules microniques, qui est visible sous le microscope optique).

La structure du sol nucléaire semble être instable.

Des chocs mécaniques périodiques peuvent conduire à un noyau de coagulation, l'apparition et la disparition des structures (comme dans le phénomène de thixotropie). Les chocs mécaniques peuvent agir comme un excitant indirecte. L'acidification conduit à un gel réversible et l'alcalinisation à la liquéfaction du noyau.

Le noyau est présenté dans son intégralité comme un liquide visqueux où peuvent se déplacer les nucléoles. Heilbrunn a calculé la viscosité de l'œuf d'échinodermes, déterminant sur la loi de Stokes la vitesse de chute des nucléoles dans les fluides intranucléaire. La valeur trouvée pour le liquide est $0,002 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ (i.e. deux fois celle de l'eau), donc égale à la viscosité des vacuoles de la teneur en cytoplasme. Le noyau est un "**système ouvert**" qui échange des substances avec le cytoplasme: du point de vue microscopique et biochimiques on a mis en évidence l'image de substances ou de particules et de leur sécrétion et excrétion.

C'est un **système osmotique autonome** en termes de variables de la tonicité de l'environnement il présente des phénomènes de turgescence (état du sol) de l'imbibition (état de gel), la vacuolisation des ratatinage, etc.

En ce qui concerne le pH caryolympe elle est plus faible dans le noyau de la cellule végétale que chez les animaux, c'est à dire 4,2 à 5,8 (Yamaha et Ishii, 1939) et de 6,4 à 7 plantes 5 (Reiss, 1924) chez les animaux. Dans le macronoyau des infusoires (DN Nasonov, 1932) intranucléaire la réaction dépend de la phase du cycle mitotique.

R. Chambers affirme que les noyaux des cellules végétales sont plus visqueux que le cytoplasme.

Après Serra, A. (1955), **la viscosité du noyau (la plante) est 9-19 fois plus élevée que celle de l'eau (dans le cytoplasme tandis que la viscosité est de 1,2 à 30 fois plus élevé que l'eau).**

Les noyaux Spyrogyra ont une densité de 1,090 g / cm³, tandis que la densité du cytoplasme est seulement 1,076 g / cm³.

Après la recherche de Heilbrun (1955) densité de cariolymphe est de 1,04 g/cm³, et les nucléoles de 1,14 g / cm³.

Dans l'ultracentrifugation, les composants de base sont soumis dans l'ordre suivant: nucléole, les chromosomes, le cytoplasme, jus nucléaire .

La surface Core est collante; le noyau peut attraper des mitochondries, des plastides, les bactéries, les éléments de golgiene.

L'adsorption joue un rôle important dans la coloration vitale des noyaux.

La tension de surface détermine un certain nombre de propriétés du noyau; des tensioactifs, tels que l'octanol (ce qui diminue la tension superficielle de l'eau de 32 à 36 dynes / cm), détermine des changements dégénératifs importants dans le noyau.

Les mouvements caractéristiques essentiels dans certaines cellules (ayant le caractère de tactismes aux influences chimiques, traumatique, lumineux, etc.) pourraient être expliqués en influençant la production de tensioactifs et de viscosité.

Le noyau cellulaire a des propriétés élastiques cellulaire, les changements de sa forme son réversibles. Pendant la centrifugation des cellules Chera, Euglena, le cytoplasme se tord et le noyau se plie en angle droit de pliage sans se rompre.

Les expériences de Milovidov PF (1949) sur les cellules végétales démontrent que le noyau est déformé non seulement par une pression, mais aussi par la tension (au moyen d'aiguilles métalliques insérés dans ceux-ci);

la déformation est élastique aussi longtemps que la cellule vit.

E. D'Angelo (1946) peut allonger les chromosomes à l'intérieur du noyau d'environ cinq fois leur longueur primitive. Si le noyau est retiré de chromosomes il peut être étiré jusqu'à 25 fois leur longueur normale. Ce résultat peut s'expliquer, en partie, en relâchant la structure en spirale de chromosomes.

Les qualités optiques du noyau sont évaluées de différentes manières.

Après Pfeiffer (1936) L'indice de réfraction est légèrement plus élevé ($n = 1,40$ à $1,42$) que celui du cytoplasme ($n = 1,38$ à $1,40$), mais il varie fortement avec l'humidité, le pH, la concentration en ions, la pression.

La réfraction maximale (à une $n = 1,50$) ont les chromosomes.

A l'examen ultramicroscopique sur fond noir le noyau apparaît tantôt indivisible (ce qui signifie que la plupart d'entre eux sont des particules colloïdales microscopiques, c'est à dire avec un diamètre inférieur à 4 μ m) tantôt granulaire.

Si la cellule est en détresse, le noyau apparaît laiteux.

En lumière polarisée, il a une biréfringence (Brandt, 1885), qui est négative en raison de l'ADN (W. Schmidt, 1944). Les protéines présentent une biréfringence positive, ainsi que des lipides; les chromosomes peuvent changer le signe de la biréfringence lors de la mitose (ou manipulation technique cytologique), probablement en raison de changements quantitatifs dans la composition chimique. Ce qui compte, cependant, c'est l'ultrastructure. La biréfringence est obtenue et aussi la structure de nucléoprotéine paracristalline (Rinne, 1930) et dépend des chromosomes "spirale".

Dans l'absorption sélective d'ondes électromagnétiques, le noyau absorbe l'intensément dans le spectre X (en raison de sa teneur en Ca, Fe, P), spectre ultraviolet (en raison de la teneur en ADN) et infrarouge. Nucleoles de certaines cellules deviennent luminescents dans l'ultraviolet.

Les caractéristiques électriques du noyaux dépendent du pH.

D'après Guilliermond A. et A. Choucroun (1936), le noyau est chargé négativement (surtout «substance chromatique" du noyau). D'après Gelfan (1931) l'intérieur du noyau de l'oeuf d'Asteria est chargée

positivement (à une différence de potentiel de 10 mV). Les recherches de Bruchtal et Peterfi (1937) montrent que la différence de potentiel entre le noyau et le cytoplasme *Amoeba* est deux fois supérieur à celui du cytoplasme et l'environnement extérieur.

Le point isoélectrique des noyaux des tissus adultes se situe à un pH de 3,0 à 4,2 plus faible que celui du cytoplasme qui est de 4,0 à 6,5. L'importance du point isoélectrique est multiple (PF Milovidov, 1949). À ce stade, il ya un minimum de charges électriques dans le système, une viscosité minimale, d'imbibition, la pression et la stabilité osmotique. Il existe également une sensibilité maximale à des facteurs extérieurs provoquant la floculation et de coagulation. En électrophorèse, le noyau et le nucléole avancent à l'anode; Ces organismes ne migrent pas dans des champs électrostatiques (W. Beier, 1950).

- ▶ La position de la fréquence centrale du noyau de la cellule a été expliquée par l'action de forces électriques (Gh. Gerassimoff 1899) ou mécaniques (Nemea). Guilliermond et A. Choucroun ont trouvé, cependant, que les composants des cellules vivantes ne se déplacent pas à partir de leur position d'origine ou sous l'influence de champs électriques intenses (50 V / cm).
- ▶ WR Locwenstein, I. Kanno, M. Ho (1933) ont étudié la perméabilité de la membrane nucléaire dans les glandes salivaires des insectes. La membrane constitue, dans ce cas, une barrière de 1 à 10 Ω/cm^2 à la diffusion d'ions, séparant deux phases à résistivité relativement faible (100 $\Omega \text{ cm}$) et à potentiel inégal (2-15mV). La barrière a une forte composante réactive capacitive et contrairement aux membranes en plastique de beaucoup d'éléments excitables ne présentent pas de nombreuses propriétés de rectification (redresseur) et n'est pas dépolarisée.
- ▶ L'examen électromicroscopique indique des pores avec dimension de 0.05 μm , situés à l'intervalle de 0,10 μm . Si à travers ces pores s'établissait une communication libre entre la nucleoplasma et le cytoplasme la résistivité devrait être seulement $10^{-3} \Omega\text{cm}$.

9.3.MEMBRANE CELLULAIRE

LES COMPOSANTS DE LA MEMBRANE CELLULAIRE

La membrane cellulaire est la limite de démarcation entre l'environnement intra et extra cellulaire.

Les fonctions principales de la membrane de la cellule sont les suivantes:

1. **Effectue la compartimentation de la matière vivante**, formant une barrière qui sépare les compartiments intra- et extracellulaires par leur respective.
2. **Elle est le lieu de processus de transport.**
 - Transport de substances à travers la membrane intacte à travers les pores ou canaux ioniques (eau, des ions et des molécules)
 - Transfert d'informations par des changements de conformation de composants de la membrane (transmission de nerf le long de cellules excitables)
 - Transports Macroproduits par rupture de la membrane suivie par sa récupération (pinocytose)
3. **Elle est le siège de récepteurs membranaires** (récepteurs pour les hormones, médiateurs chimiques)
4. **Fournit la résistance mécanique de la cellule qui est séparée de milieu extracellulaire.**
5. **Elle est le siège de phénomènes électriques** (bio électro genèse, la transmission nerveuse)

LA STRUCTURE DE LA MEMBRANE CELLULAIRE: LIPIDES MEMBRANAIRES

Membrane cellulaire comprend une grande variété de lipides, leur rôle principal est de former des protéines de la matrice de retenue.

Les principaux lipides membranaires sont des phospholipides tels que la **phosphatidylcholine, la phosphatidylsérine, la phosphatidyle éthanolamine, le phosphatidylinositol, l'acide phosphatidique** qui sont basés sur l'acide phosphatidique, dans lequel deux des groupes hydroxyle sont estérifiés avec des acides gras et ayant également une composante dans le groupe polaire -phosphate.

Compte tenu de cette composition on peut dire que les molécules lipidiques sont amphipathiques ou amphotère ayant

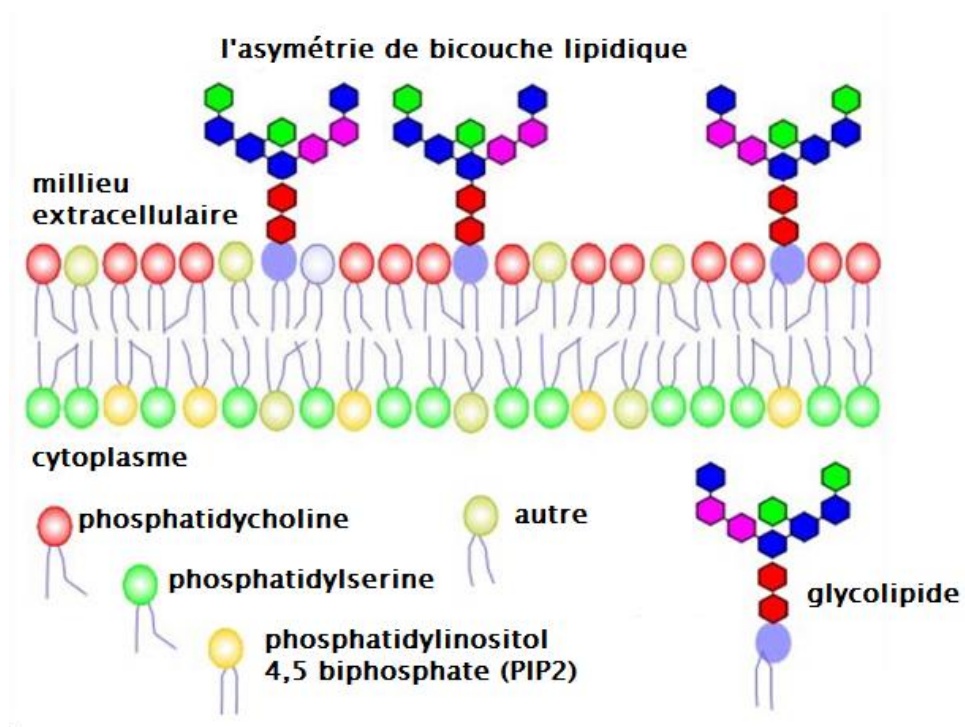
un groupe terminal polaire hydrophile représentée par un groupe polaire

Une extrémité hydrophobe, représenté par deux chaînes d'acides gras.

En raison de leur caractère amphipathique les molécules de lipides sont structurées dans les membranes cellulaires comme une double couche phospholipidique, ayant les têtes polaires orientées vers les molécules d' eau et des queues non polaires (hydrophobe enfouies les unes aux autres ..

Les molécules lipidiques sont petites. Dans la bicouche les molécules de phospholipides sont contenues environ de $5 \cdot 10^6$ molécules / μm^2 et l'épaisseur de la couche est de 40 Å .

Dans la composition de la membrane cholestérol entre le cholestérol dans des proportions plus faibles (10-30%), des glycolipides (0-12%). En particulier des glycolipides sont fixés sur la surface extérieure de la membrane



Type de cellule	protéine (%)	lipides (%)	hydrates de carbone(%)
érythrocytes	49	43	8
hépatocytes	54	36	10
la gaine de myéline	18	79	3

LA STRUCTURE DE LA MEMBRANE CELLULAIRE: PROTEINE MEMBRANAIRE

Les macromolécules protéiques sont insérées dans les membranes bicouches de phospholipides et leur donnent des propriétés spécifiques. Selon leur type, la double couche peut être fixée par des forces de nature électrostatiques, des liaisons hydrophobes ou hydrophiles.

Il ya une grande variété de protéines dans la composition des membranes.

Elles sont l'élément actif de celui-ci.

Les fonctions des protéines membranaires:

Jouent le rôle de l'enzyme

Entrent dans la composition du canal ionique

Fonctionnent comme transporteurs

Sont des récepteurs pour différents hormones

En fonction de leur localisation les protéines membranaires peuvent être regroupées en:

Les protéines extrinsèques (périphériques) situées sur la surface de la double couche où il la pénètrent sur une courte distance. Elles sont facilement séparables (habituellement à l'aide du détergent) étant fixées à la membrane, soit par des forces de nature électrostatiques soit par des liaisons hydrophobes (qui pénètrent la membrane)

Les protéines intrinsèques (complètes), qui sont profondément ancrées dans la double couche ou même à travers elle d'une face à l'autre. Sont fortement hydrophobes et sont donc difficiles à isoler (nécessaire pour détergents puissants). Les acides aminés dans la composition de ces protéines ont été concentrées par des groupes hydrophobes Interio, formant des liaisons avec des molécules de phospholipides hydrophobes et hydrophiles qui composent l'enzyme vers l'extérieur.

Les propriétés physiques de la membrane

Epaisseur: 40-75Å

La résistance électrique de l'unité de surface est 1-100kΩ/cm².

La valeur élevée de cette résistance est motivée par le fait que la plupart de la membrane cellulaire est composée de molécules lipidiques qui ont un fort rôle d'isolateur.

La conductance ionique est : $g = g_{Na^+} + g_{K^+} + g_{Cl^-} + g_{auti\ ioni}$

Elle est donnée par la somme des conductances ioniques membranaires pour les principaux ions permanents (qui peuvent traverser la membrane) en passant par le canal de formations de protéines ioniques- complètes)

La capacité électrique de l'unité de surface est élevée: 0,5-8 μF/cm²

Les caractéristiques physiques des membranes naturelles

Propriété	Valeur
Épaisseur de la membrane naturelle (Fait par microscopie électronique)	40÷130Å
Épaisseur de la myéline (exécutée par XRD)	40÷85Å
Résistance	$10^2 \div 10^5 \Omega/\text{cm}$
Capacité	$0,5 \div 1,3 \text{ mF}/\text{cm}^2$
Différence de potentiel de repos	10÷88 mV
Indice de réfraction	1,55
Tension superficielle	$3 \cdot 10^{-5} \div 3 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$
Perméabilité à l'eau	25÷28

Aujourd'hui on admet le schéma de FN Harwey et de JJ Danielli (1941) selon lequel

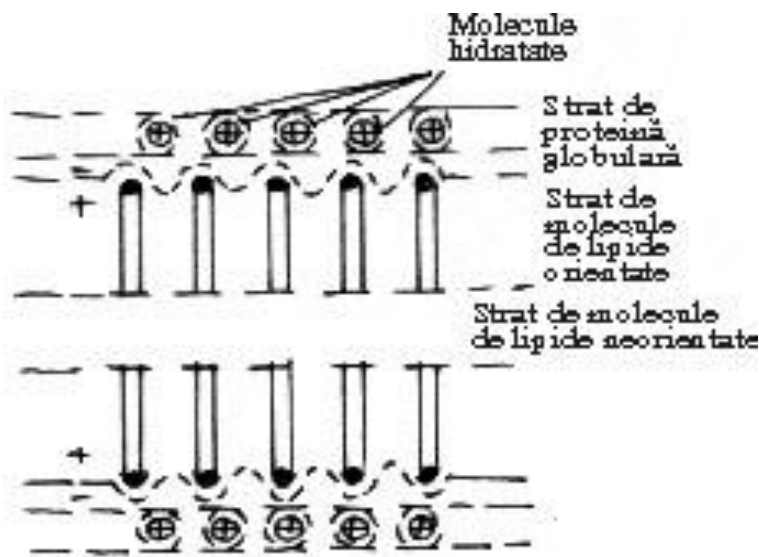


Figure: la structure des membranes cellulaires des lipides simples

la membrane cellulaire est composée de deux couches, orientées de molécules lipidiques, dont les extrémités hydrophile peuvent se déplacer vers l'intérieur et vers l'extérieur de la cellule (voir la figure).

La tension de surface de la cellule est faible, ce qui correspond à l'hypothèse selon laquelle la membrane est recouverte des deux côtés d'une couche de protéines globulaires.

Le contact entre les protéines et les lipides, la tension de surface de la cellule est toutefois plus faible.

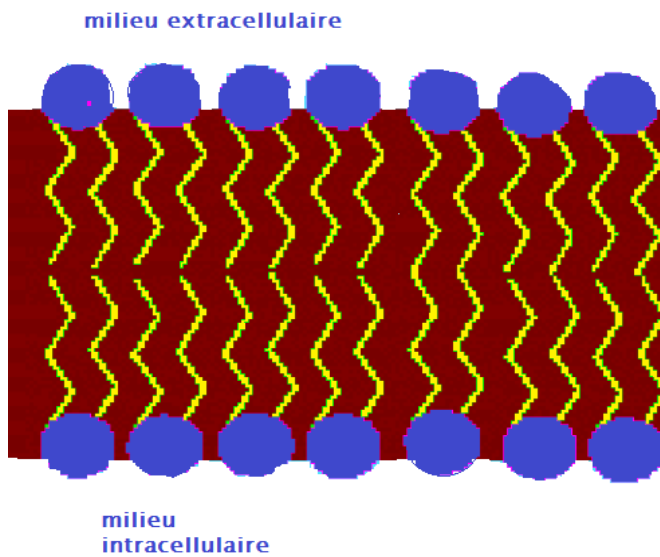
Couche de protéines contenant des molécules hydratés d'un endroit à l'autre; les extrémités dirigées vers la couche de molécules de lipides sont des protéines ionisées. Les molécules dans la solution extracellulaire se frayent leur chemin à travers l'espacement des molécules de lipides, et entrent en collision avec eux. Cette orientation décompose les lipides qui peuvent former un pore. Par conséquent, la substance de l'extérieur, qui a une énergie cinétique supérieure à la membrane protoplasmique de l'énergie, peut pénétrer à l'intérieur de la cellule. L'énergie de la substance qui sort de la cellule doit être supérieure à celle des molécules de lipide, pour perturber la couche faisant face.

Caractéristique et paradoxale est le phénomène de la pénétration plus accessible des substances cristalloïdes avec des molécules relativement grandes (par exemple l'urée) que celle des ions métalliques (tels que l'alcalino-terreux ou alcalin). L'explication est, d'une part, l'hydratation d'ions, d'autre part, l'existence de charges électriques sur les membranes de vie. Ces tâches ont une origine multiple: dissociation électrolytique des constituants de la membrane, la membrane ion adsorption, etc. D'après certains auteurs (Ling C), la membrane de la cellule pourrait fonctionner dans une certaine mesure, comme un échangeur d'ions. Sous l'influence d'un courant électrique la perméabilité de la membrane colloïdale aussi bien celle des vivants (comme la perméabilité des branchies des poissons) que celle artificielle du collodion (EA) Pora change.

MODÈLES DE MEMBRANE

- Modèles de Gorter - Grendel- 1925
- Modèles de Danielli-Davson-1935
- Modèles de Singer 1971
- Modèles de Nicholson-Singer -1972

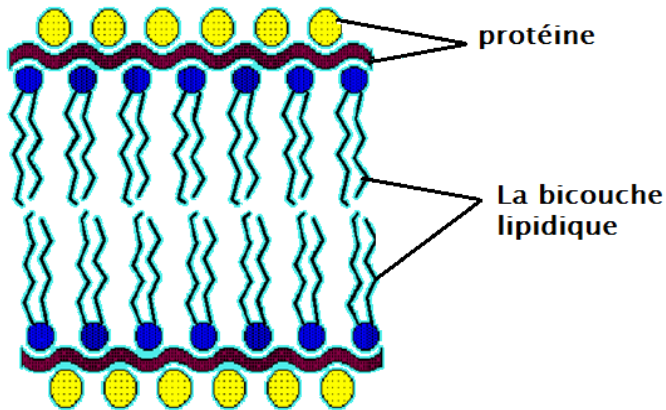
Les modèles de Gorter – Grendel ont été proposés en 1925 - pour la première fois mis sur une membrane de bicouche de phospholipides composés.



[Neagu Adrian, Neagu Monica, Curs de Biofizica pentru Facultatea de Medicina Dentara, Ed.EUROBIT, 2007]

Les modèles de Danielli et Davson développés en 1935, quand ils prennent du modèle de Gorter et Grendel l'idée de la double couche et introduit une nouvelle idée; celle que dans la composition des membranes se trouvent aussi des macromolécules de protéines. On considère que les protéines sont disposées en une couche continue sur la surface de la double couche.

Jusqu'à Robertson en 1960 il a été considéré que les protéines se trouvent dans les couches de surface à double couche continue de phospholipides.



3. SINGER propose le modèle SINGER en 1971, basé sur le concept de Danielli- Davson. Il considère que les protéines se trouvent dans toute l'épaisseur de la membrane.

Ce modèle a été développé, et il est devenu le modèle amélioré de la mosaïque du fluide.

À double couche phospholipidique est considéré comme étant un liquide à deux dimensions. Les protéines et les lipides ont un certain degré de mobilité et de diffusion dans la membrane.

Le modèle est basé sur des résultats expérimentaux. Les études sur la membrane congelée, par microscopie électronique montrent la place des protéines dans la mosaïque liquide et les méthodes modernes de spectroscopie garantissent la mobilité des protéines et des lipides dans la membrane.

Le Modèle de mosaïque fluide Singer fournit des données sur la structure, l'arrangement et la mobilité des protéines dans la membrane cellulaire.

Singer distingue deux types de protéines de membrane: membranaire et périphérique.

Les protéines périphériques peuvent être solubilisés dans des solutions aqueuses (c'est à dire pas différentes d'autres protéines qui sont solubles dans l'eau. Peuvent être séparés sans détruire la structure de la membrane. Les protéines intégrales sont isolées difficilement, ne sont pas solubles, ont un caractère hydrophobe prononcé.

Les acides aminés avec des résidus non polaires dans les protéines sont concentrés à l'une des extrémités de la macromolécule dans les lipides membranaires. Et une partie enzymatique de la macromolécule se trouve à la surface de la membrane et est accessible à partir du milieu aqueux.

Modèle SINGER - NICHOLSON proposé en 1972 est aussi appelé modèle de la mosaïque liquide lipo-protéines.

C'est un modèle uniformément accepté aujourd'hui.

Le modèle est basé sur la couche de phospholipide et de la protéine; diffère seulement l'emplacement des molécules.

Selon ce modèle, les protéines se trouvent dans toute l'épaisseur de la double couche et ayant une consistance fluide elles sont de deux types:

Extrinsèques qui peuvent se trouver

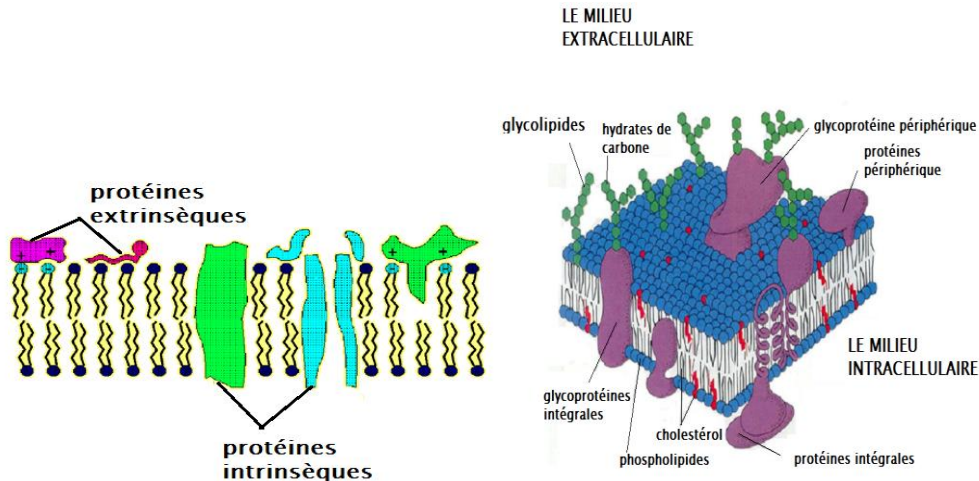
Sur le front extérieur de la membrane jouent le rôle des enzymes

Sur le côté interne de celle-ci et représentent le soutien du cytosquelette interne

Intrinsèques:

Type I, Portions externes - jouent le rôle de récepteurs

Type II, en traversant la membrane d'un côté à l'autre - sous forme canaux ioniques.



[Neagu Adrian, Neagu Monica, Curs de Biofizica pentru Facultatea de Medicina Dentara, Ed.EUROBIT, 2007]

l'équilibre Donnan

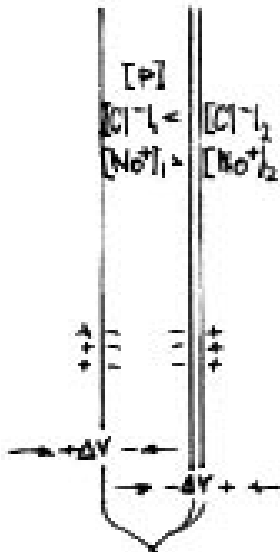


Figure 2: l'équilibre Donnan

FG Donnan note que, dans le cas où l'un des ions ne peut pas passer à travers la membrane étant, par exemple, macromoléculaire, les ions ne diffusent pas, mais se repartissent inégalement sur les deux côtés de celle-ci. Dans un bol divisé en deux compartiments par une membrane de collodion est inséré dans l'un des compartiments, le rouge de Congo (un électrolyte colloïdal qui libère des ions qui ne diffusent pas R^-) et dans l'autre de NaCl.

On voit (Figure 2) que les ions Cl^- sont en équilibre dans les deux compartiments quand la concentration est inégale, mais le produit de la concentration en ions de diffusion a la même valeur sur les deux côtés de la membrane: $[Na^+]_I \cdot [Cl^-]_I = [Na^+]_H \cdot [Cl^-]_H$

Dans certaines conditions, l'équilibre Donnan peut provoquer des réactions chimiques (osmolyse), par exemple l'hydrolyse par la répartition inégale des ions H^+ et OH^- provenant de la décomposition de l'eau.

Il modifie la pression osmotique entre les deux compartiments. N. Barbulescu (1949) a montré que la membrane a un rôle spécifique dans ce processus, en fonction de l'équilibre des qualités.

La membrane permet le passage de la vitesse de diffusion des ions n'est pas égal dans les deux sens. Si on note par $[x]$ la concentration du rouge Congo, nous pouvons écrire la relation:

$$\frac{[NaCl]_H - [x]}{[x]} = 1 + K \frac{[NaCl]_I}{[NaCl]_H}$$

Où K est le coefficient de la membrane variable d'une situation à une autre.

Le liquide céphalo-rachidien, le liquide de l'œdème, l'humeur aqueuse de l'oeil sont produits par dialyse de sang résultant d'un équilibre de la membrane.

Dans la théorie de sorption (la théorie phasique) le protoplasme est considéré comme est une phase qui a un certain nombre de caractéristiques physico-chimiques similaires aux coacervates (DN Nasanov, 1945 AS Trosin, 1956 VI Alexandrov, 1940). Le niveau de sorption est la capacité de solubilité, d'adsorption, d'absorption chimique (chimisorption) du protoplasme à une substance donnée. Le niveau de la cellule de sorption est supérieur à une substance donnée, la quantité de substance qui pénètre dans la cellule est augmentée. Quand on dilue la solution environnante la perméabilité du protoplasme peut être plus élevée. Les substances contenues dans des solutions sont plus concentrées que l'adsorbée de coacervat, ce qui s'explique par le fait que les substances présentes dans la solution concentrée sont peu solubles dans l'eau reliée au coacervat.

L'étude de la perméabilité ne peut être limitée que pour entrer ou sortir de substances à travers la membrane cellulaire, mais il faut la compléter avec des échanges de recherche qualitatives et quantitatives entre le noyau et le cytoplasme et généralement les membranes échangeuses de divers organites cellulaires. Dans des conditions normales, la pénétration de liquides à partir du cytoplasme vers le noyau dans leur passage du noyau vers le cytoplasme est ajusté de sorte que, entre le noyau et le cytoplasme l'équilibre osmotique est établi; le noyau conserve sa forme et la turgescence. Le phénomène de plasmolyse se produit dans le noyau (en perdant de l'eau, il diminue le volume). Selon les recherches et Shapiro de Beck (1936) sur les oeufs immatures de *Asterias forbesii*, les substances nucléaires sont osmotiques plus actives que dans le cytoplasme. En mettant de l'oeuf dans une solution de 80% d'eau de mer, le noyau absorbe plus d'eau et atteindre lentement l'équilibre osmotique avec l'environnement externe de la cellule entière.

L'équilibre osmotique entre le noyau et le cytoplasme est encore très instable: une très petite hypotonie de cytoplasme entraîne la pénétration des liquides dans le noyau. Lorsque l'eau pénètre dans le noyau deux phénomènes peuvent se produire soit l'imprégnation par la pénétration intermicellaire de l'eau soit la vacuolisation.

Les noyaux aplatis de *Spyrogyra* peuvent augmenter leur volume de 64%.; une fois placés dans l'eau.

TRANSPORT TRANSMEMBRANAIRE

Le passage de substances d'un côté à l'autre des membranes biologiques est l'une de leurs fonctions les plus importantes. Le transport tend à se produire spontanément d'une concentration plus élevée à une inférieure et pour les particules chargées électriquement il y a la tendance de se déplacer vers l'avant de la membrane qui est chargée de la tâche de signe opposé.

La force thermodynamique qui sous-tend le transport est le

gradient de potentiel électrochimique: $\mu_i = \mu_{i0} + R.T.\ln c_i + z_i.F.E$

Si nous étudions le processus en termes d'énergie: la variation d'énergie libre pendant le transport d'une mole de la substance de compartiment 1 à 2 est:

Un des critères pour la classification du transport transmembranaire est l'énergie:

$$\Delta G_{1 \rightarrow 2} = R.T.\ln \frac{c_2}{c_1} + z.F.(E_2 - E_1)$$

Le transport Passif- est sans consommation d'énergie - énergie libre de Gibbs = processus exergonique, afin de réduire le gradient électrochimique (par exemple l'anabolisme = Phase du métabolisme où des nutriments introduits dans le corps sont convertis en substance propre, l'assimilation).

Le transport Actif - est un processus endergonique (avec l'absorption de l'énergie libre) ne peut surgir spontanément ; entraîne l'augmentation de la force thermodynamique. (Par exemple, le catabolisme = processus biologique de transformation de substances complexes, spécifiques dans des substances simples et non-spécifiques, que le corps élimine, désassimilation,

LE CLASSEMENT ET LES MECANISMES DE DEVELOPPEMENT DU TRANSPORT TRANSMEMBRANAIRE ACTIF ET PASSIF

TRANSPORT TRANSMEMBRANAIRE PASSIF

par

Diffusion libre

Les canaux ioniques

Diffusion facilitée

Transport transmembranaire ACTIF:

Pompe de sodium / potassium (ATPase Na / K dépendants

Pompe muqueuse gastrique

Transport couplé

Le transport transmembranaire PASSIF est un processus qui a lieu spontanément sans consommation d'énergie, afin de réduire le gradient électrochimique des espèces transportées.

Le procédé est basé sur la diffusion des ions et des petites molécules à travers la membrane cellulaire a lieu la libération de l'énergie libre Gibbs ($\Delta G < 0$). La tendance du transport passif est de rapprocher le système de l'état d'équilibre.

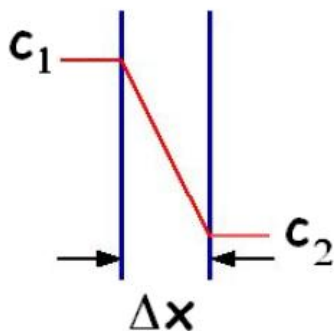
Le transport passif peut survenir de différentes manières selon le type des particules qui diffusent.

Diffusion libre

Les canaux ioniques

Diffusion facilitée

TRANSPORT TRANSMEMBRANAIRE PASSIF : LA DIFFUSION LIBRE



Par le transport passif réalisé par la diffusion libre peuvent traverser la membrane seulement les molécules des substances fortement liposolubles (benzène), les gaz (O_2 , CO_2), de petites molécules polaires (eau, éthanol).

Le processus obéit à la loi de Fick: $\frac{dv}{dt} = -D.S.\frac{dc}{dx}$

Le rapport entre le coefficient de diffusion D et l'épaisseur de la membrane

Il est appelé **perméabilité** $P = \frac{D}{\Delta x}$, $[P]_{CGS} = 1 \frac{cm}{s}$

Il a des valeurs différentes en fonction de la matière transportée

La quantité de substance qui diffuse passivement à travers la section S de la membrane est donnée par:

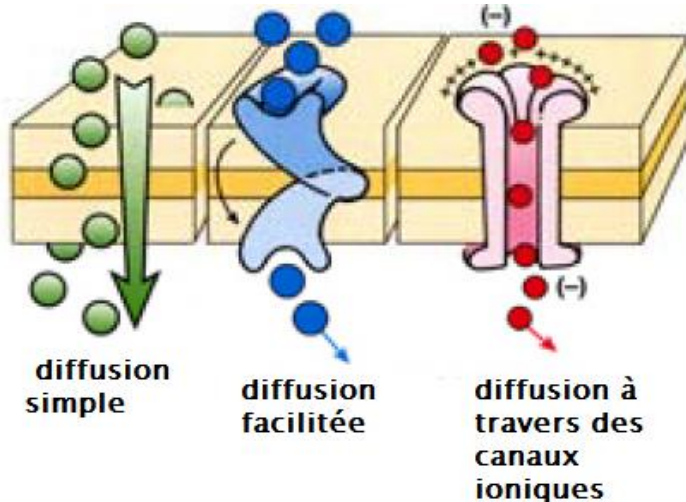
$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = -P.S.(c_2 - c_1)$$

La perméabilité de la membrane des molécules qui diffusent varie inversement avec le diamètre de la molécule: $P \sim 1/\phi$.

Plus la substance est liposoluble ; donc caractérisée par un PLIP coefficient de partage: plus l'eau traversera la membrane plus facilement.

Par ce mécanisme les ions ne peuvent pas passer parce que la permittivité relative de vide à double couche ($\epsilon_r = 2$) est beaucoup plus petite que celle entre dans le liquide extracellulaire, qui sont des solutions aqueuses $\epsilon_r = 81$, la force d'interaction de Coulomb est plus forte à l'intérieur de la membrane.

LE TRANSPORT TRANSMEMBRANAIRE PASSIF PAR CANAUX IONIQUES



[Neagu Adrian, Neagu Monica, Curs de Biofizica pentru Facultatea de Medicina Dentara, Ed.EUROBIT, 2007]

En utilisant cette méthode, les ions peuvent traverser la membrane comme des particules chargées électriquement.

A base de ce transport se trouvent ou des structures protéiques ou des protéines intégrales qui traversent la membrane d'un côté à l'autre formant à l'intérieur des canaux ioniques perméables en général dans les deux sens.

La direction est dictée par le gradient électrochimique.

Les canaux ioniques sont des formations sélectives en général, ils permettent le passage d'un petit nombre d'espèces ioniques.

Les canaux cationiques sont beaucoup plus fréquents, ils ne permettent pas le passage des ions, avec la charge négative qui repousse l'entrée. Pour les charges de même signe, la sélectivité se réfère à la taille de l'ion.

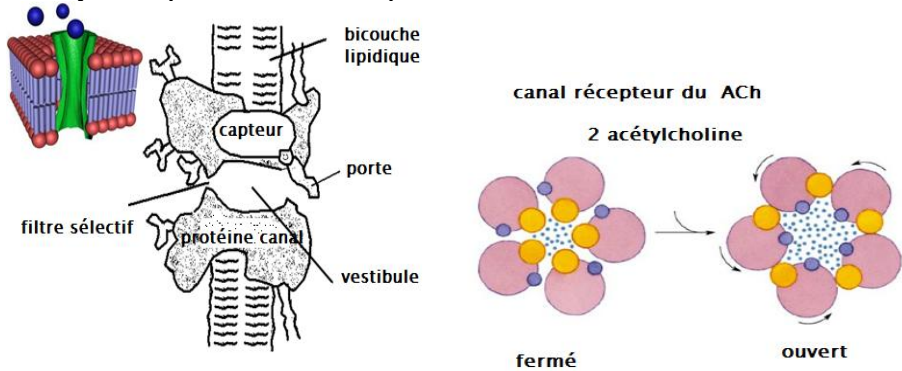
Les canaux ioniques sont composés:

filtre de sélectivité - qui sélectionne les ions par critères dimensionnels

vestibule = passage des ions,

Porte, qui se trouve dans deux états conformationnels: permet et ne permet pas le passage des ions à travers le canal.

Le capteur qui commande la porte.



[Neagu Adrian, Neagu Monica, *Curs de Biofizica pentru Facultatea de Medicina Dentara, Ed.EUROBIT, 2007*]

Selon la façon dont il est canaux d'ouverture réglementées sont distingués:

Des canaux voltage-dépendants: la commande est déclenchée par la modification du potentiel transmembranaire.

Des exemples de canaux cationiques: Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , de la membrane de la cellule excitable.

canaux contrôlés chimiquement, dans lesquels l'ouverture est de l'embouchure du canal causée par la liaison d'un messenger chimique.

Exemple de canaux contrôlés chimiquement canal récepteur d'acétylcholine : Ach postsynaptique neuro membrane jonction musculaire.

LE TRANSPORT TRANS MEMBRANAIRE PASSIF PAR DIFFUSION FACILITÉE

Les petites molécules hydrophobes peuvent traverser la membrane par la diffusion d'ions libres qui passent par des canaux ioniques, mais les molécules hydrophiles, polaires ne peuvent pas utiliser l'une de ces voies. Le passage de substances à travers la membrane avec un caractère essentiellement hydrophile par la médiation des molécules de transport carrier est appelé mécanisme de DIFFUSION FACILITÉE.

Les transporteurs sont des molécules spécialisées capables de faire la distinction entre les deux isomères de la même substance. Le transporteur reconnaît la molécule qui est spécifique et favorise son transport afin de réduire son gradient électrochimique, donc de forte concentration à faible concentration.

Il ya deux états conformationnels distincts où vous pouvez trouver un support:

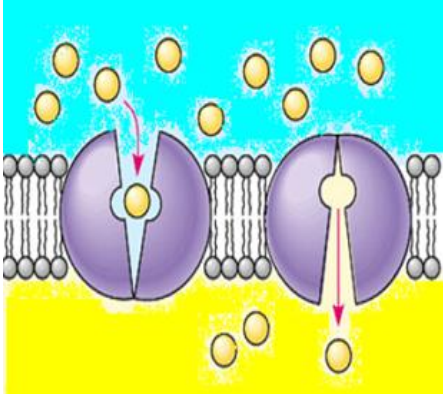
Un état dans lequel le site de liaison de la molécule transportée est situé sur une face de la membrane.

Une autre position qui est sur sa face 2

Après la liaison de la molécule à transporter sur la surface de la membrane où sa concentration est plus élevée ($c_1 > c_2$), il ya un changement de conformation de la mutation du support obtenu dans le site de liaison de l'autre côté de la membrane, suivi par la libération à cet endroit de la molécule transporté .

L'efficacité de la diffusion facilitée est beaucoup plus petite que les canaux ioniques. Ainsi, si le canal d'ions peut permettre le passage des 108 ions / s, dans le processus de diffusion du glucose facilitée par la membrane des érythrocytes, le support est capable de transporter 300 Molec / s.

Le glucose traverse la membrane des érythrocytes à un taux beaucoup plus élevé que la diffusion libre correspondant , facilitée par les protéines de transport carrier.



La quantité de substance facilitée qui diffuse par unité de temps est la suivante:
équation de la diffusion facilitée

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = -k.P.S. \left(\frac{c_2}{c_2 + k} - \frac{c_1}{c_1 + k} \right)$$

cas particulier

$$c_1, c_2 \ll k \Rightarrow \Delta v = -k.P.S.(c_2 - c_1).\Delta t$$

$$c_1, c_2 \gg k \Rightarrow \Delta v = 0$$

$c_1, c_2 \ll k$, concentrations faibles s'applique la loi de Fick.

$c_1, c_2 \gg k$, concentrations élevées la saturation se produit et les transports arrêtent

TRANSPORT ACTIF

Tout tissu est un groupe de cellules entourées par un liquide interstitiel appelé externe. La phase continue du protoplasme de la cellule, dans sa totalité, est un fluide intracellulaire. La composition de ces fluides ont un rôle important de cations inorganiques de sodium (Na^+) et de potassium (K^+). Bien que les concentrations molaires des deux liquides soit similaires, ils montrent des différences significatives sur les concentrations ioniques. La concentration en ions K^+ intracellulaire fluide est supérieure à celle des ions Na^+ . La concentration en ions du liquide interstitiel de Na^+ est supérieure à celle des ions K^+ . Mais le liquide intracellulaire contient autre macromoléculaire Aniene A- organique et inorganique et le liquide interstitiel a une forte concentration d'ions Cl^- , en plus de la forte concentration d'ions Na^+ .

La membrane cellulaire, une structure complexe décrite ci-dessus, sépare les charges électriques différentes des deux liquides, agissant en tant que diélectrique. Sur le côté interne de la membrane sont réparties des charges négatives et des charges positives sur l'extérieur. Par conséquent, avec la différence dans la concentration des ions de différents types se produit aussi la différence de potentiel électrique, une tension électrique appelée le potentiel de tension de membrane (U_M), ou potentiel de repos. La membrane avec les charges ioniques adjacentes constituent un condensateur avec une capacité relativement importante, l'épaisseur de la membrane (diélectrique) est inférieure à environ 100 Å.

Les fibres nerveuses des céphalopodes ont la capacité membranaire d'aproximativement $1\text{mF} / \text{cm}^2$; la capacité des fibres musculaires squelettiques de la grenouille est $10\text{mF} / \text{cm}^2$, et le potentiel de membrane = -90mV U_M . Il y a une différence essentielle entre un diélectrique de condensateur physique et la membrane cellulaire. Si un certain diélectrique se comporte de la même à toute charge électrique, la perméabilité de la membrane cellulaire est différente pour les ions de la même charge. P perméabilité de la membrane à K^+ des ions est d'environ une centaine de fois plus élevée que les ions Na^+ à. Dans le squelette du muscle amphibien perméabilité aux ions K^+ est $P_K \gg 10^{-6} \text{ cm} / \text{s}$, tandis que $P_{Na} \gg 2 \cdot 10^{-6} \text{ cm} / \text{s}$.

10-6 cm / s. Perméabilité à l'eau d'une couche de la même épaisseur que la membrane (100 Å) pour les ions K⁺ est P_K » 10 cm / s, qui est de dix millions de fois plus grande que la perméabilité de la PK de la membrane cellulaire. Ces valeurs expriment clairement que la membrane cellulaire limite le flux d'ions. Par conséquent, on a supposé que le diamètre des pores est intermédiaire entre le diamètre de l'ion K⁺ hydraté (2,2 Å) et Na⁺ diamètre d'ions (3,4 Å).

La différence de potentiel entre les couches adjacentes qui composent la membrane avec un potentiel de membrane du potentiel d'équilibre d'ions. La somme du potentiel de la membrane U_M et du potentiel des ions l'UE identiques des deux côtés de la membrane est appelée potentiel électrochimique.

La valeur du potentiel d'équilibre des ions est donnée par la relation de Nernst, qui pour les ions de

potassium s'écrit:
$$U_K = \frac{RT}{F} \ln \frac{[K^+]_{ext.}}{[K^+]_{int.}}$$

Par des logarithmes décimaux on obtient en millivolts

$$U_K = 60 \log \frac{[K^+]_{ext.}}{[K^+]_{int.}}$$

Bien que la perméabilité de la membrane pour les ions K⁺ soit plus grande que pour les ions Na⁺; les derniers se déplacent constamment de l'extérieur vers l'intérieur de la cellule. Pourtant, la concentration des ions Na⁺ à l'intérieur de la cellule se maintient à un niveau bas dans les cellules vivantes. Cela veut dire qu'il y a un mécanisme par lequel les ions Na⁺ sont transportés de l'intérieur vers l'extérieur de la cellule; d'une concentration faible à une concentration élevée; d'un potentiel électrochimique faible vers un élevé.

Lorsque les molécules et les ions sont transportés contre le potentiel électrochimique, le phénomène s'appelle transport actif. L'énergie nécessaire de ce transport provient du métabolisme cellulaire. Le transport actif se manifeste lorsque le métabolisme énergétique de la cellule reste intact. On transporte activement non seulement des Na⁺ mais aussi d'autres ions. Ainsi dans la muqueuse de l'estomac il y a un transport actif de H⁺. Dans l'épithélium intestinal se produit un transport actif d'ions, d'eau, de glucose, d'acides gras, des aminoacides. Par la peau de la grenouille on fait un transport actif d'ions et de l'eau et dans les cellules thyroïdiennes s'accumulent activement le iode.

D'habitude lorsqu'un ion de Na⁺ quitte la cellule un ion de K⁺ y entre. Le transport actif de Na⁺ s'appelle pompe de Na⁺ K⁺ ou simplement pompe de Na⁺ (A. L. Hodgkin). La pompe fait que le potentiel membranaire se maintienne constant et se rétablisse lorsqu'il est modifié par excitation. Le mécanisme au niveau moléculaire et sousmoléculaire n'a pas encore été expliqué; mais il y a des hypothèses plausibles. On a démontré que les molécules d'adénosin triphosphate ATP sont une source d'énergie pour le transport actif. Pour certains chercheurs le transport actif est redevable aux molécules transporteurs *carriers* qui; ayant une affinité spéciale pour certains ions, se combinent avec ceux-ci d'une manière réversible. Le complexe serait liposoluble, il entrerait dans la cellule où il dissocierait. (Hodgkin). A l'instant même les autres ions de la cellule se combinent avec la molécule transporteur qui traverse la membrane. A l'extérieur de la membrane les ions se séparent du transporteur. De cette manière la diffusion libre se combinerait avec le transport actif dans les deux sens. En tout cas; au transport actif participe aussi des enzymes qui hydrolisent ATP (ATP-ase) fixés à la surface de la cellule et stimulés par les ions Na⁺, K⁺, Mg²⁺ et d'autres ions (J. C. Skou, 1961).

THEORIE DE LA STRUCTURE

Selon E. Macovschi les théories proposées pour la perméabilité cellulaire sont inadmissibles car elles ignorent l'intervention de l'activité biologique de la zone de contact même entre la cellule et le milieu extérieur. Comme mentionné le protoplasme formerait une structure unitaire, spongieuse ou gélifiée et la zone de contact ne serait pas une membrane appropriée, mais un demi-membraneux, qui n'a pas une superficie de cellule interne distincte de la matière vivante.

L'activité métabolique de la matière vivante est exprimée directement à l'échange de matière avec l'extérieur. Sur les membranes dans le sens classique du terme nous pouvons parler lorsque l'on étudie le transport de substances entre les organismes multicellulaires et l'environnement extérieur ou entre les départements d'un même corps. Ces membranes sont traversées par les substances selon la loi de diffusion de Fick ou la loi (isotherme) d'adsorption de Freundlich. Quantitativement, les phénomènes de transport dans la membrane branchiale des poissons peuvent se reproduire en laboratoire en utilisant une feuille mince de branchies artificielles de collodion.

Examen comparatif de la théorie de la membrane, de la théorie de sorption et de la théorie de la structure Jacovschi (1965) montre:

Chaque théorie attribue au de protoplasme une nature différente (liquide protoplasmique, coacervat protoplasmique, protoplasmique ensemble)

Chacune considère différemment les qualités et l'état de l'eau protoplasmique qui intervient dans les phénomènes de transport (eau libre, l'eau liée, de l'eau intégrée dans la structure de la matière vivante - imbibition de l'eau vivante de l'eau exempte de matières nonvivantes).

Chaque théorie est basée sur différents points de vue sur l'état des électrons de protoplasme (protéines totales dissoutes ou dissociées, lié colloïdes adsorbées dissociés dans l'eau lié + intégré dans la structure du vivant colloïdes importées-adsorbées matière vivante dissous à l'état et de la matière naevus - à la fois dissous dans l'état séparé de l'imbibition de l'eau de la matière vivante, l'eau libre de la matière non vivante).

La notion de transport actif a été introduit par Overton qui a observé que les cellules vivantes sont capables de maintenir des différences de concentration constante entre le cytoplasme et le milieu extracellulaire pour les espèces qui peuvent traverser la membrane (qui pourraient égaliser leurs concentrations des deux côtés de la membrane)

Le transport actif est l'un des processus les plus importants qui se produisent dans la matière vivante, demandant de la consommation d'énergie (est endergonique: $\Delta G < 0$) comme gradient électrochimique qui entraîne une augmentation des espèces transportées.

Le transport actif peut être:

PRIMAIRE, lorsqu'il est couplé avec la réaction exergonique (hydrolyse de l'ATP)

EXTERIEUR lorsqu'il est couplé avec le transport simultané d'autres espèces, afin de réduire le gradient électrochimique de celles-ci - conséquence flux exergonique passif de la substance

($\Delta G < 0$)

Selon le sens de translocation passive des deux espèces:

SIMPORT OU COTRANSPORT - si les deux espèces sont transportées dans le même temps.

ANTIORT OU CONTRETRANSPORT, si les espèces sont transportées dans des directions opposées

	Vitesse de transport (Ions/ s)	densité (ions/ μm^2)
Canaux ioniques	10^8	300-2000
Pompes ioniques	$10^2 - 10^3$	8000

Activités de transport transmembranaire :

La pompe sodium/potassium (ATPase Na / K- dépendant)

Elle est responsable du déséquilibre dans les concentrations d'ions de Na^+ , K^+ , Cl^- .

A l'intérieur de la cellule :

$[\text{Na}^+] \sim 10\text{mM}$, $[\text{K}^+] \sim 140\text{mM}$, $[\text{Cl}^-] \sim 5\text{mM}$

En dehors de la cellule :

$[\text{Na}^+] \sim 140\text{mM}$, $[\text{K}^+] \sim 5\text{mM}$, $[\text{Cl}^-] \sim 100\text{mM}$

Le gradient électrique et celui de concentration sont compensés si des ions K^+ et Cl^- : $E_{\text{int}} - E_{\text{ext}} = -90\text{mV}$

Les deux gradients entraînent une augmentation de l'écoulement passif de Na^+ de l'extérieur de la cellule vers l'intérieur de la cellule. Ce flux passif compensé de Na^+ est compensé par l'activité de la pompe Na / K^+ qui pompe des ions Na^+ à l'intérieur. La pompe ATPase consomme Na / K^+ ATPase = Na / K^+ dépendante.

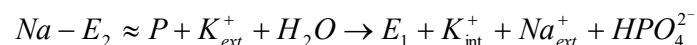
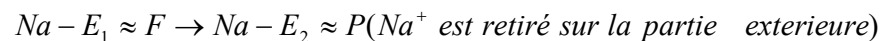
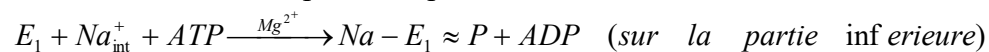
Pour une molécule d'ATP hydrolysé, on élimine à l'extérieur trois ions Na^+ et parallèlement entre dans la cellule et K^+ (2 ions) et va Cl^- (1 ion).

L'adénosine triphosphate ATP- ($\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_5\text{O}_{13}\text{P}_3$) fait partie des acides nucléiques ADN et ARN, consistant en triphosphate, de l'adénine et du ribose (un pentose). La batterie est nécessaire pour le stockage de l'énergie et de la cellule de conversion d'énergie par la cellule selon les besoins métaboliques. ATPase dépendant de Na^+ / K^+ perce l'épaisseur de la membrane cellulaire. Il a un poids moléculaire de $3 \cdot 10^5$ et se compose de deux grandes sous-unités de protéines et d'une petite sous-unité.

L'enzyme a deux conformations E_1 et E_2 avec une affinité élevée pour le Na^+ ou K^+ .

En plus des ions Na^+ et K^+ nécessitent une pompe ATP et Mg^{2+} pour le fonctionnement, et certains stéroïdes tels que ouabaine extérieurs à la cellule, empêchent le fonctionnement de cette pompe.

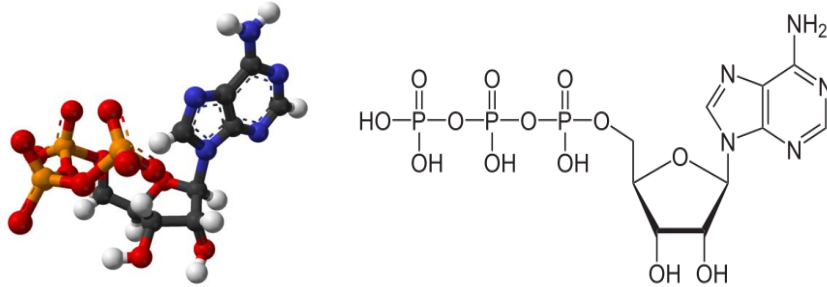
Le mécanisme de transport actif peut être schématisé comme suit:



ATP-ase

L'adénosine triphosphate (ATP) ($C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$) est un nucléoside triphosphate utilisé dans la cellule en tant que coenzyme. Il est aussi appelé unité de schéma moléculaire de transfert d'énergie intracellulaire.

ATP transporte l'énergie chimique entre processus métabolique cellulaire.



ATPase est le produit final dans le processus de phosphorylation, la respiration cellulaire ou fermentation et est utilisé par les enzymes et les protéines de structure dans de nombreux processus cellulaires, y compris des réactions de biosynthèse, la mobilité et la division cellulaire.

Une molécule d'ATP contient trois groupes phosphate et est produite par une grande variété d'enzymes, y compris l'ATP synthase de diphosphate d'adénosine (ADP) et l'adénosine monophosphate (AMP) et divers donneurs de groupe phosphate.

Les principaux mécanismes de biosynthèse de l'ATP sont le niveau de phosphorylation du substrat, phosphorylation oxydative dans la respiration cellulaire dans le processus de la photosynthèse.

L'ATP a été découvert en 1929 par Karl Lohmann, Fiske et Y. Subbarao à l'école de médecine de Harvard, mais sa structure correcte a été déterminée quelques années plus tard par Fritz Lipmann en 1941. On l'a proposé comme la molécule principale de transport d'énergie cellulaire.

Il a été proposé aussi comme principale molécule de transfert d'énergie en tant que cellule intermédiaire entre le rendement énergétique et les réactions endergoniques et exergoniques qui nécessitent de l'énergie. Il a été artificiellement synthétisé pour la première fois en 1948 Alexander Todd.

ACTIVITES DE TRANSPORT TRANSMEMBRANAIRE

LA POMPE DE LA MUQUEUSE GASTRIQUE

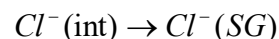
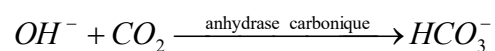
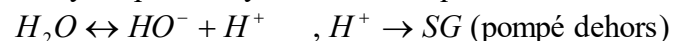
Elle est impliquée dans la sécrétion gastrique d'acide chlorhydrique. Ce premier transport des ions H^+ dans les cellules de la muqueuse gastrique avec $pH = 7$ dans le suc gastrique de $pH = 2$. Les ions Cl^- vont dans la même direction que le transport des ions H^+ . Si nous ignorons les potentiels membranaires, l'énergie nécessaire pour ce transport par les cellules qui tapissent l'estomac (CMG) dans le suc gastrique (SG) peut être calculée en utilisant l'équation:

$$\Delta G_{CMG \rightarrow SG} = RT \ln \frac{[H^+]_{SG}}{[H^+]_{CMG}} = 5,92 \log \frac{10^{-2}}{10^{-7}} \approx 29 kJ/mol$$

L'énergie libérée par hydrolyse un mol de l'ATP, en termes de corps est $\Delta G_s = -45 kJ/mol$.

L'hydrolyse d'une molécule d'ATP fournit suffisamment d'énergie pour le transport des ions H^+ dans ces conditions.

Dans les cellules de la muqueuse gastrique, l'excès d'ions OH^- CO_2 est neutralisé par une réaction catalysée par l'anhydrase carbonique:



L'inhibition de l'anhydrase carbonique par les médicaments spéciaux conduit à une inhibition de la sécrétion gastrique de HCl

ACTIVITES DE TRANSPORT TRANSMEMBRANAIRE : TRANSPORT COUPLE

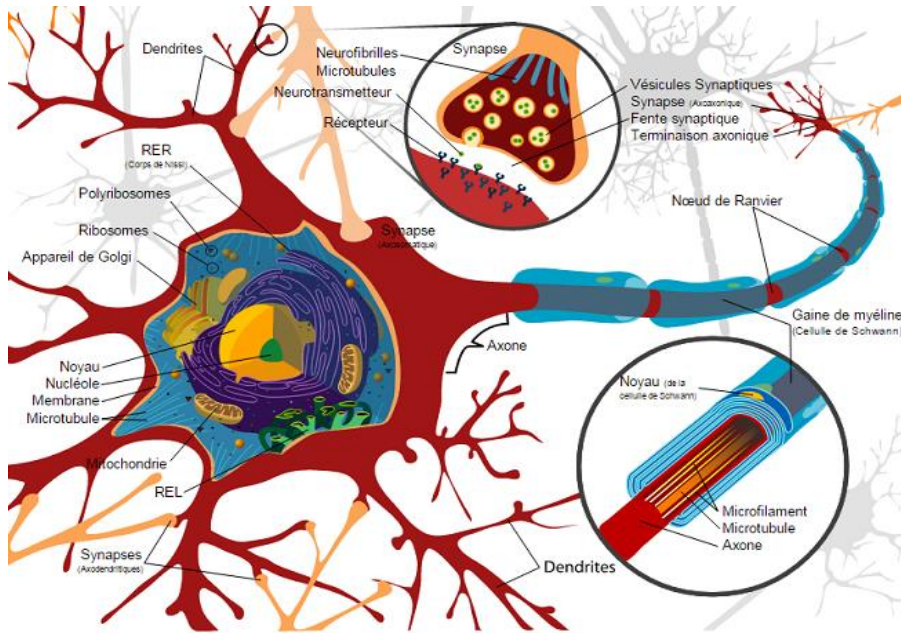
L'élimination du glucose contre un gradient de concentration dans le glomérule et les tubules rénaux de filtrat sanguin est couplée au transport de Na^+ . De même le transport d'acides aminés dans l'air (lymphe) dans les cellules.

Ce transport couplé est accompli par des enzymes qui présentent sur le même côté aussi bien des sites de Na^+ que des sites d'acides aminés (ou glucose).

La liaison de Na^+ augmente l'affinité du carrier pour l'acide aminé au sein de la cellule par diffusion où la concentration de Na^+ est faible, Na^+ se dissocie du complexe avec le support obtenu dans la libération d'acides aminés à l'intérieur. La croissance du potentiel chimique liée au transport à l'intérieur de l'acide aminé est surcompensée par le potentiel chimique de libération d'énergie liée au transport Na^+ ions à l'intérieur

9.4.TRANSMISSION SYNAPTIQUE

**La structure et le fonctionnement de la synapse électrique,
La structure chimique et la description de la transmission synaptique chimique**



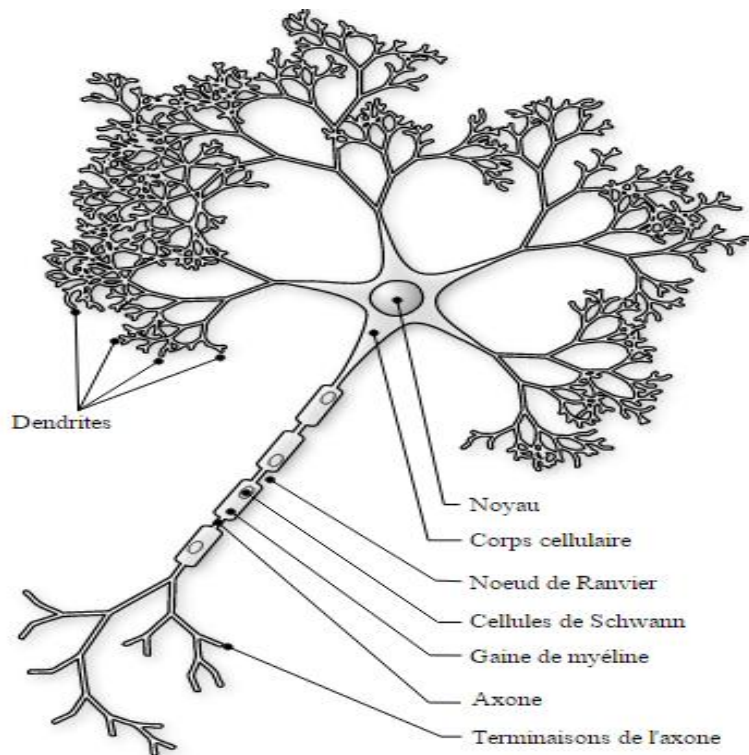
LE NEURONE est composé :

d'un corps appelé **PÉRICARYON** ou corps cellulaire ou encore **SOMA**,
et de deux types de prolongements : **L'AXONE**, unique, qui conduit le potentiel d'action de manière centrifuge,
et **LES DENDRITES**, qui sont en moyennes 7 000 par neurone et qui conduisent les potentiels d'action de manière centripète.

La morphologie, la localisation et le nombre de ces prolongements, ainsi que la forme du soma, varient et contribuent à définir différentes familles morphologiques de neurones.

Par exemple, il existe des neurones unipolaires ou multipolaires.

Le diamètre du corps des neurones varie selon leur type, de 5 à 120 μm . Il contient le noyau, bloqué en interphase et donc incapable de se diviser, et le cytoplasme. On trouve dans le cytoplasme le réticulum endoplasmique rugueux (formant les corps de *Nissl* des histologistes), les appareils de Golgi, des mitochondries et des neurofilaments qui se regroupent en faisceau pour former des neurofibrilles.



Les prolongements sont de deux types : l'**axone**, unique, et les **dendrites**.

L'AXONE (ou fibre nerveuse) a un diamètre compris entre 1 et 15 μm , sa longueur varie d'un millimètre à plus d'un mètre. Le cône d'émergence, région extrêmement riche en microtubules, constitue l'origine de l'axone.

Il est également appelé zone gâchette car il participe à la genèse du potentiel d'action. Il décrit un trajet plus ou moins long (quelquefois plusieurs mètres) avant de se terminer en se **ramifiant** (c'est l'arborisation terminale).

Chaque ramification se termine par un renflement, **LE BOUTON TERMINAL OU BOUTON SYNAPTIQUE**. Cependant, s'observent aussi des « enfilades » de renflements synaptiques sur un même segment axonal constituant des synapses en passant. La membrane plasmique de l'axone, ou axolemme, contient l'axoplasme en continuité avec le cytoplasme du péricaryon. Il est constitué de neurofilaments, de microtubules et de microvésicules (celles-ci sont produites par le réticulum endoplasmique rugueux et les appareils de Golgi). Certains axones sont recouverts d'une gaine de myéline, formée par des cellules gliales, les cellules de Schwann dans le système nerveux périphérique, et les oligodendrocytes dans le système nerveux central. On estime qu'environ un axone sur trois est recouvert de myéline. Le recouvrement des axones par la myéline est en fait discontinu, séparé par les nœuds de Ranvier, lesquels sont isolés par des astrocytes. Ce recouvrement permet une plus grande vitesse de passage de l'information nerveuse.

LES DENDRITES sont nombreuses, courtes et très ramifiées dès leur origine. Elles sont parfois recouvertes d'épines dendritiques. Contrairement à l'axone, elles ne contiennent pas de microvésicules permettant la transmission de l'information à l'extérieur du neurone. La dendrite conduit l'influx nerveux, induit à son extrémité, jusqu'au corps cellulaire : c'est un prolongement afférent.

Les axones sont rassemblés en faisceaux, eux-mêmes reliés par du tissu conjonctif (endonèvre et périnèvre) formant les tractus et les nerfs.

SYNAPSE

La transmission synaptique peut impliquer des mécanismes électriques ou chimiques.

Les synapses sont:

synapses électriques

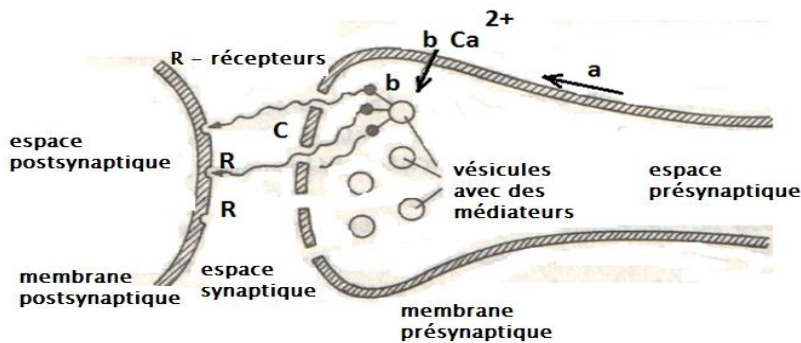
synapses chimiques

La synapse est la jonction fonctionnelle d'un neurone par laquelle se transmet l'influx nerveux d'une cellule à l'autre.

La synapse se compose d'une partie présynaptique, une fente synaptique et une Portions post-synaptique et contrairement aux fibres nerveuses la synapse transmet l'influx nerveux uniquement à la partie présynaptique ainsi seulement unidirectionnel.

Selon la taille, il ya trois types de synapses :

- **la Synapse de type synaptique I** – avec la taille :300 Å
- **la Synapse de type synaptique II** – avec la taille :200 Å – les deux avec transmission par des médiateurs chimiques - l'acétylcholine, l'adrénaline, etc.)
- **la Synapse de type synaptique III** sans intervalle (les synapses électriques sans médiateurs chimiques)



SCHEMA d'une synapse

LA TERMINAISON PRÉSYNAPTIQUE c'est la terminaison axonale, le bouton qui est la partie d'une branche de l'*arborisation terminale*.

Il est délimité par une membrane de jonction en avant et contient des mitochondries et des vésicules synaptiques avec des médiateurs chimiques.

LA PARTIE POSTSYNAPTIQUE est représentée par une membrane correspondante au zone de contact de la dendrite ou paracariome. À ce niveau se trouvent des récepteurs spécifiques pour le médiateur chimique.

La fente synaptique contient un réseau filamenteux intersynaptique qui assure l'adhérence des deux membranes et qui est traversé par le médiateur chimique.

Sur la surface d'un neurone sont 10^3 - 10^4 synapses.

Le passage à l'excitation du secteur post-synaptique comprend trois étapes essentielles:

1. L'Invasion du bouton synaptique de l'influx nerveux – avec la propagation de la dépolarisation jusqu'ici ce qui provoque des changements des membranes et la libération des médiateurs.

2. La libération de médiateur dans la fente synaptiques se produit sous l'influence des ions de Ca^{2+} et Na^+ qui entrent après la dépolarisation de la membrane. La libération du médiateur est effectuée en quanta de quelques milliers de molécules pareil au contenu des vésicules synaptiques.

3. Propagation transsynaptique d'afflux nerveux suppose la traversée de l'espace synaptique libéré par le médiateur, l'action du médiateur sur les récepteurs post-synaptiques dans le territoire, ce qui provoque la dépolarisation de la membrane post-synaptique et la propagation d'afflux nerveux.

Enfin, il y a une inactivation (décomposition enzymatique) du médiateur et la membrane post-synaptique est apte à recevoir un nouveau message.

POTENTIELS SYNAPTIQUES

Les Synapses peuvent être excitatrices ou inhibitrices et caractérisées fonctionnellement par rapport au médiateur spécifique (par exemple acétylcholine dans cholinergiques vésicules synaptiques nerf, de la noradrénaline - dans les nerfs sympathiques et le système nerveux central - gamma aminobutyrique, la dopamine et la sérotonine, etc.).

Aux **SYNAPSES EXCITATRICES** l'excitation présynaptique induit une dépolarisation de la membrane post-synaptique.

Aux **SYNAPSES INHIBITRICES** l'excitation présynaptique induit une hyperpolarisation.

Le **POTENTIEL post-synaptique d'excitation - PPSE** - est généré après la dépolarisation de la membrane post-synaptique par le médiateur, ce qui le rend perméable à Na^+ . **PPSE** a une durée de 10 ms. Il a une amplitude proportionnelle à la quantité de médiateur libéré, ce qui permet la sommation spatiale et temporelle des stimuli. Le potentiel d'action qui est propagée du neurone c'est une dépolarisation de la membrane postsynaptique d'environ 10-30 mV.

Le **POTENTIEL post-synaptique d'Inhibition – PPSI** - est l'expression de l'inhibition post-synaptique. Il est généré sous l'action de médiateurs des effets inhibiteurs qui induisent une augmentation de la perméabilité de la membrane pour les ions de K^+ et Cl^- , sans influencer la perméabilité pour les

ions des Na^+ . Ceci induit une hyperpolarisation de la membrane postsynaptique jusqu'à -5mV , ce qui indique une réduction de l'excitabilité.

Les neurones sont les éléments de base de l'ordinateur qui est le cerveau, mais au lieu d'impulsions de l'électricité, le lien entre ces éléments est par des afflux nerveux.

La dépolarisation de la membrane post-synaptique (une dendrite) est suivie d'une réponse R du potentiel d'action local dont la taille dépend de la quantité de médiateur chimique S par l'équation: $R = k \lg S$, qui se propage sur la membrane neuronale seulement s'il dépasse un certain seuil ($S \geq S_0$).

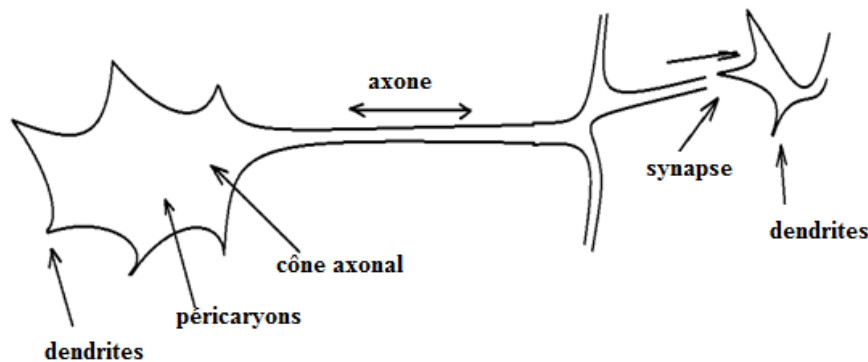
Les potentiels d'action, résultant dans le temps Δt_2 de l'axe d'un axone au niveau des synapses d'excitation et d'inhibition, s'additionnent au niveau de cône axonal.

Si la dépolarisation dépasse une limite (seuil de détonation), le neurone répond par un influx nerveux envoyé à la long de l'axone à l'autre neurone.

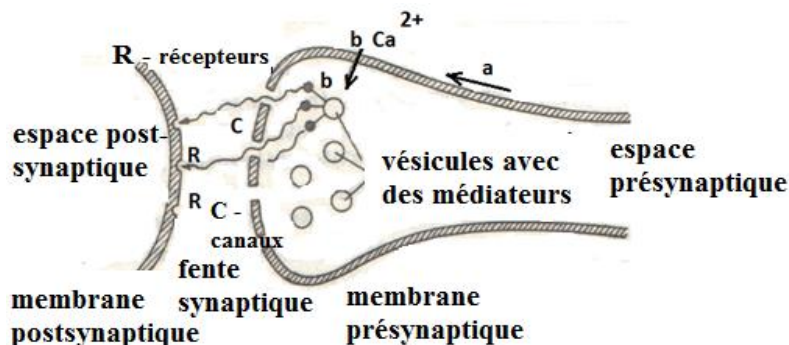
$\Delta t_2 \geq \Delta t_1$.

Δt_1 est le temps nécessaire pour la transmission synaptique pour l'afflux d'un afflux nerveux.

Le neurone intègre les entrées reçues par ses dendrites. L'intensité intégrale pour l'afflux nerveux se traduit avec des fréquence des entrées envoyées le long de l'axone.



la structure du neurone



STRUCTURE DE SYNAPSES

LES SYNAPSES PEUVENT ÊTRE: SYNAPSES ÉLECTRIQUES ET SYNAPSES CHIMIQUES

La synapse électrique est moins fréquente que la synapse chimique.

C'est très simple d.p.v. structurel.

On le trouve dans les parties du cerveau, entre les cellules musculaires lisses ou des cellules entre dans le photorécepteur de la rétine et les cellules horizontales de la rétine.

Les synapses électriques sont appelées aussi Nexus ou Macula comunicants .

Entre les deux membranes de la cellule la distance est de 2 à 2,7 nm, le contact entre les membranes est réalisé avec les protéines dans une canal- gap Jonction.

SYNAPSES ÉLECTRIQUES

En raison de cette structure, **les signaux électriques sont transmis directement - à travers des afflux ioniques - à partir de la cellule pré-synaptique à celle post-synaptique et donc la synapse électriques n'introduit pas de retard.**

La signification des signaux sont : les synapses électriques sont la plupart bidirectionnelles

Le lien entre la membrane de la cellule pré synaptique et celle de la cellule poste synaptique est atteint par une structure macromoléculaire en forme de barres, chacune composée par deux assemblages macromoléculaires qui entrent en contact dans le milieu entre les deux membranes.

Chaque groupe est constitué de six protéine identique appelée CONNEXION disposé sur la périphérie d'une structure cylindrique avec un diamètre extérieur de 70 Å, dans la position de manière à former un centre de pore appelé CONNEXON.

Ce pore a un diamètre de 10 à 20 Å, et permet le passage de microparticules (ions et des petites molécules) – leur masse moléculaire ne dépassant pas 1500D.

LA SYNAPSE CHIMIQUE a la composition suivant:

1. La partie présynaptique contenant des mitochondries et la membrane présynaptique (SRPM).

Dans la partie synaptiques sont les vésicules avec de médiateur chimique.

2. La fente synaptique avec la taille de l'espace de 200 - 500 Å.

3. La partie postsynaptique contenant la membrane post-synaptique qui est composée des canaux ioniques ordonnés chimiquement

- ❑ Dans le cas des **SYNAPSES CHIMIQUES**, la transmission du signal est **strictement unidirectionnel**,
- ❑ **La synapse chimique** agit comme une valve, et la distance entre les deux membranes de cellules est d'environ: 20-50nm.
- ❑ **Dans le cas de la SYNAPSE CHIMIQUE la transmission des signaux s'effectue par l'intermédiaire d'un médiateur chimique.**

Au niveau de la synapse entre les deux cellules, il existe d'importantes différences structurelles et fonctionnelles servant ,d' une part ,comme transmetteur de signal (pour le neurone présynaptique), d'autre part, comme récepteurs de celui-ci , dans le cas des neurones postsynaptiques respectivement de la cellule musculaire pour la plaque de la cellule du muscle moteur.

LE NEURONE PRÉSYNAPTIQUE montre des **BRANCHES AXONALES** sous la forme de **BOUTONS TERMINAUX** contenant un grand nombre de **VÉSICULES SYNAPTIQUES**.

À l'intérieur des vésicules se trouvent des milliers de **MOLÉCULES MÉDIATRICES CHIMIQUES**

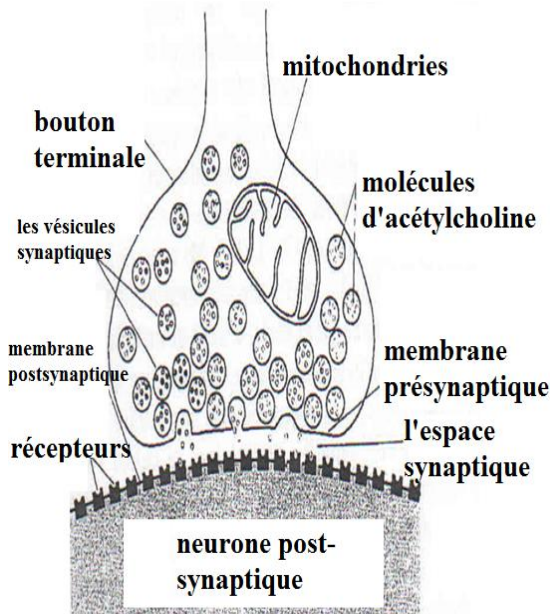
qui sont libérées dans **L'ESPACE SYNAPTIQUE**

lorsque la membrane dépolarise l'arrivée de potentiels d'action, servant de moyen de communication entre les cellules de la synapse.

Près de la **MEMBRANE PRÉSYNAPTIQUE** se trouvent des **MITOCHONDRIES** en haute densité fournissant une ATPase requise pour l'exécution des processus consommateurs d'énergie.

LE NEURONE POSTSYNAPTIQUE est constituée de dendrites ou des corps de cellule de la cellule post-synaptique.

Sa membrane a été appelée la **MEMBRANE POST-SYNAPTIQUE** et contient **CANAUX IONIQUES** exploités chimiquement qui servent de récepteurs pour le médiateur chimique



9.5.SYNAPSE CHIMIQUE - TYPES DE MEDIATEURS CHIMIQUES

- **Acétylcholine: ACh:** les plus courants se produisent dans les synapses excitatrices
- **GABA** - Les synapses inhibitrices les plus rapides dans toutes les régions du cerveau; les sédatifs, les tranquillisants.
- **Dopamine** - la maladie de Parkinson, la schizophrénie
- **Glutamate** - synapses excitatrices rapides dans le cerveau et la moelle épinière
- **Adrénaline**
- **Noradrénaline**
- **Sérotonine**
- **Histamine**
- **Glycine**

L'ACÉTYLCHOLINE est la première identifiée comme un neurotransmetteur dans le système nerveux central et au niveau du système périphérique.

STRUCTURE CHIMIQUE:

Acétylcholine est un ester formé par estérification de l'acide acétique et de la choline. Sa structure est de type ester est confirmée par la IUPAC comme : chlorure d'ammonium 2-acétyloxy-triméthyl (chlorure).

L'acétylcholine a été reconnue en 1914 par Henry Hallett Dale, qui découvre son action sur le muscle cardiaque. Otto Lewi confirme sa fonction de neurotransmetteur et l'appelle vagusstoff parce qu'elle est libérée du nerf vague.

Des recherches effectuées ont montré que L'ACÉTYLCHOLINE est liée aux récepteurs cholinergiques au niveau des fibres musculaires, ce qui détermine l'ouverture des canaux ioniques de sodium.

Les ions de sodium entrent dans la cellule, où ils stimulent la contraction musculaire. L'acétylcholine pendant l'induction de la contraction musculaire, détermine à la fois la réduction des contractions du muscle cardiaque.

Cela est dû à la différence dans la structure des récepteurs dans les muscles et le cœur. L'acétylcholine a une activité au niveau du cerveau aussi (qui est d'action excitatrice).

Biosynthèse: se produit dans le cytoplasme des neurones cholinergiques dans la choline et l'acétyl coenzyme A en présence de l'enzyme choline [4], (synthétisé à l'intérieur du neurone).

ACÉTYLCHOLINE

Métabolisme:

A lieu dans la fente synaptique par une réaction d'hydrolyse catalysée par l'acétylcholinestérase (les produits sont la choline et l'acide acétique), ou pseudocholinestérase

Stockage: Elle rend les vésicules synaptiques sous forme libre ou complexe protéique

Libération et le réglage: ACh (formulaire gratuit) est libéré de vésicules de façon permanente ou lorsqu'il est nécessaires sous l'influence de l'influx nerveux. Le réglage de cette libération survient via le récepteur de ligands et les ions physiologiques.

Types de récepteurs pour l' acétylcholine (récepteurs cholinergiques) sont de deux types:

- **Les récepteurs nicotiniques (nAChR)** récepteur connu comme «ionotropique" qui assurent la médiation de nicotine alcaloïde.

- **Les récepteurs sont des récepteurs nAChR** qui forment des canaux ioniques voltage-dépendants. Ils sont formés à partir de cinq sous-unités protéiques: α , α , β , γ , δ . Les sous-unités ont une surface extérieure plus grande, qui fixera l'acétylcholine

Récepteurs muscariniques: les récepteurs muscariniques sont des polypeptides avec une masse d'environ 80 000 daltons. Ils sont de plusieurs types: M1, M2, M3, M4, M5. Ceux-ci, quand ils sont stimulés par l'acétylcholine ou agonistes pharmacologiques ont un effet stimulant

DOPAMINE

La dopamine est un des principaux neurotransmetteurs dans le système nerveux, une substance qui transmet des informations entre les neurones du cerveau), la substance est impliquée dans une variété d'activités différentes (par exemple le contrôle de la motilité, les mouvements musculaires).

Histoire: La dopamine a été synthétisé par George Barger en 1910 avec l'aide de son collègue James Ewens, Wellcome Laboratories à Londres [1]. On l'a appelé la dopamine car il se agit d'une monoamine et son précurseur synthétique est le 3,4-dihydroxyphenylalanine (L-DOPA). La fonction de la dopamine comme neurotransmetteur a été reconnue en 1958 par Arvid Carlsson et Nils-Åke Hillarp au Laboratoire de pharmacologie chimique cœur de la Suède [2].

La dopamine biosynthèse est un processus en deux étapes, en commençant par la tyrosine d'acide aminé. Un groupe de seconde formation hydroxyle est fixé de la tyrosine formant lévodopa ou L-dopa. Ce procédé est catalysé par l'enzyme tyrosine hydroxylase. La dopamine est formée par l'élimination de l'acide carboxylique de la L-dopa, la dopa décarboxylase réaction catalysée.

GABA, ou de l'acide gamma-aminobutyrique, est considéré comme l'un des médiateurs les plus importants inhibiteurs centraux. Les plus fortes concentrations de GABA ont été trouvées dans le globus pallidus, hippocampe, substantia nigra, noyaux cérébelleux, periaqueducatale matière grise, le noyau caudé, le thalamus médial.

L'acide gamma-aminobutyrique est un produit de décarboxylation de l'acide glutamique, étroitement lié au métabolisme oxydatif des hydrates de carbone, le système nerveux central. La synthèse est réalisée par l'enzyme glutamate décarboxylase.

GABA ne peut pas traverser la barrière hémato-encéphalique (à l'extérieur de certaines zones du cerveau, où la barrière n' est pas efficace, en tant que noyau périventriculaire), qui est synthétisé in vivo.

GABA est considéré pour déterminer les effets inhibiteurs dans le cortex, l'amygdale et le noyau caudé. Émis par les axones des cellules de Purkinje, ils entraîneraient l'inhibition des neurones dans le noyau DEITERS. Il agit sur la membrane post-synaptique, provoquant une hyperpolarisation et un potentiel inhibiteur par l'augmentation de la conductance du Cl⁻. Il participe également à des mécanismes inhibiteurs de la colonne vertébrale.

Le développement du cerveau: Dans les deux dernières décennies, la théorie de l'action excitatrice du GABA dans la phase précoce de développement est indéniable, sur la base des expériences in vitro sur des tranches de cerveau. Les principales observations étaient que pour l'hippocampe et le néocortex dans le cerveau des mammifères, GABA est le premier à avoir des effets excitateurs, et en fait, il est le neurotransmetteur excitateur le plus important dans de nombreuses régions du développement du cerveau avant la maturation des synapses glutamate de ergiques. [1] [2]

L'HISTAMINE (IMIDAZOLETILAMINE) est une amine biogène. On la trouve dans les tissus des animaux, des plantes, des bactéries, des venins.

Chez l'homme HISTAMINE se trouve dans les poumons, la peau, la muqueuse gastro-intestinale.

MÉTABOLISME DE L'HISTAMINE : environ 2-3% d'histamine endogène est excrétée sous forme inchangée dans les urines, le reste métabolisée en N-méthylhistamine et le métabolite 3 acétate de méthyl imidazole, produit final

IL YA DEUX VOIES DE L'HISTAMINE:

- ❑ **Une première transformation** a lieu dans le cytoplasme de la périphérie de la cellule, où sous l'action de l'histaminase (diaminoxidază) se produit la désamination oxydante pour former de l'acétate d'imidazole.
- ❑ **La deuxième transformation** se produit dans le cerveau, où l'histamine subit l'action de deux enzymes l'histaminmétyl - transférase et monoamine d'oxydase B (MAO B); résultant un composé intermédiaire 3métylhistamina pour que le produit final soit 3-éthyl méthyl imidazole.

EFFETS - DIGESTIF

L'histamine agit en tant que stimulateur de la sécrétion d'acide gastrique, généralement facteur d'ajustement à la microcirculation. Elle est utilisée pour déterminer la capacité de sécrétion d'acide gastrique.

HISTAMINE

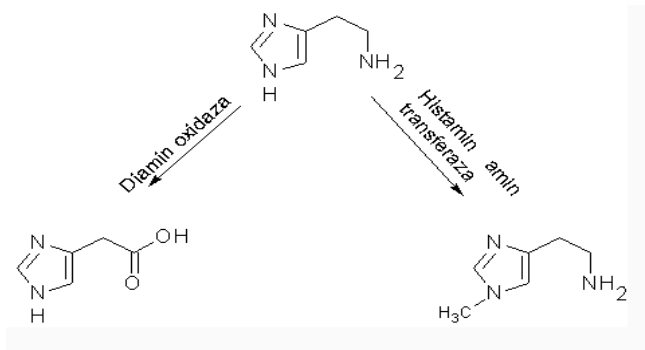
Au niveau de la peau: Il semble que les attaques physiques ou chimiques peuvent causer la libération d'histamine, étant le principal médiateur d'allergie de type I. Les manifestations cliniques de ce type d'allergie sont: urticaire, œdème, rhinite séreuse choc anaphylactique. Administrée par voie intradermique vasculaire elle provoque une réaction de «triple réponse», sur le site d'injection apparaît tache rouge en raison de la dilatation des artérioles, qui est vite remplacée par une papule avec l'aréole rouge irrégulière.

Au Système circulatoire: Au niveau circulatoire, elle est un médiateur important. Ses effets sont proportionnels à la dose et la voie d'administration: effet congestif intraveineux en particulier à des doses élevées au niveau du corps et de la tête. Elle diminue la pression artérielle par vasodilatation et hypovolémie, entraînant le choc. Au niveau artériolaire elle provoque la dilatation marquée des artérioles et veinules post-capillaires terminales.

Au Système Respiratoire: Elle peut libérer des mastocytes comme résultat de l'interaction antigène-anticorps ayant un rôle important dans les allergies et cause des réactions de bronchoconstriction allergique. L'histamine provoque la bronchoconstriction faible, les asthmatiques sont extrêmement sensibles à cette action.

Synapse chimique – Types de médiateurs chimiques:

Récepteur	Action	Antagonistes
H1	Bronchoconstriction; vasodilatation; croissance de la perméabilité capillaire, prurite	Diphenhydramine, Clorpheniramine, Prometasine, Terphenadine, Astemisol, Loratadine, Cetirisine Cloropiramine
H2	Sécrétion acide gastrique, dépresseur cardiaque; contraction œsophagienne, inhibition de l'élimination d'histamine de basophiles	Ranitidine, Phamotidine, Nisatidine
H3	Inhibition de la neurotransmission synaptique; réglage Down de la synthèse d'histamine	Tioperamide



Presque 2-3% d'histamine endogène est excrétée dans l'urine; le reste est métabolisée à N méthylhistamine et métabolite 3 méthyl imidasole acétate; le produit final

LA SYNAPSE CHIMIQUE - TYPES DE MEDiateurs CHIMIQUES - SÉROTONINE

La SÉROTONINE est une amine dérivé de l'indole. On la trouve dans les tissus végétaux, les vénins d'animaux.

La sérotonine agit comme un neurotransmetteur; impliqué dans la production du sommeil, les processus mentaux et émotionnels (dépression et l'anxiété, le trouble obsessionnel-compulsif) de la fonction motrice dans la thermorégulation, la régulation de la pression artérielle, dans l'acte de vomissements dans les fonctions hormonales.

Exemples de sérotonine : méthysergide, ergotamine, sumatriptan, buspirone, l'ondansétron.

La sérotonine, un neurotransmetteur présent dans divers organes, y compris le système nerveux central joue un rôle important dans le développement de troubles dépressifs et anxieux dûs à des substances chimiques qu'elles produisent.

La formule chimique de la sérotonine brute est: $\text{HO-C}_6\text{H}_5\text{-NH-C- (CH}_2\text{)}_2\text{-NH}_2$.

Formule chimique: $\text{HO-C}_6\text{H}_5\text{-NH-C- (CH}_2\text{)}_2\text{-NH}_2$

Les sources naturelles: la sérotonine est présente dans divers aliments (légumes, pommes de terre, céréales, etc.)

Effets biochimiques et physiologiques de la sérotonine : les neurones interagissent entre eux au moyen de produits chimiques appelés neurotransmetteurs. D'autres troubles sont provoqués soit par l'une des sous-productions ou la surproduction de neurotransmetteurs, soit par le fait que les neurones n'ont pas suffisamment de récepteurs pour les neurotransmetteurs.

Les chercheurs disent que les gens atteints du syndrome obsessionnel-compulsif ont un déséquilibre de la sérotonine.

Le contenu de la sérotonine dans le sang obsessionnel-compulsif et des amoureux est de 40% inférieur à celui des sujets normaux.

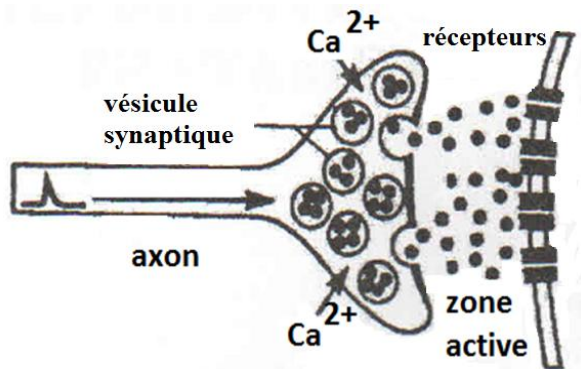
Les anti-dépressifs agissent généralement sur la sérotonine, un neurotransmetteur.

Cependant, **il est considéré que la dépression est provoquée par le manque de récepteurs de la sérotonine.** Les dernières recherches sur la maladie mentale la schizophrénie montrent que la sérotonine présente en excès dans le corps peut en être la cause et facteur précurseur et d'autres maladies mentales. Le maintien d'un niveau approprié de sérotonine dans le corps humain varie d'un organisme à un autre dû à l'alimentation, mode de vie, etc.

MECANISME DE TRANSMISSION SYNAPTIQUE CHIMIQUE

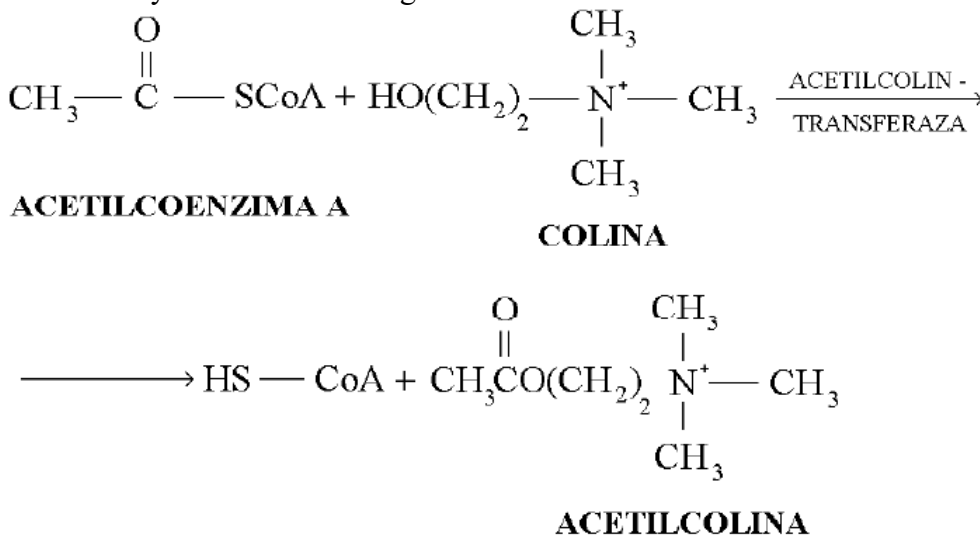
Il comporte plusieurs étapes:

1. La synthèse et le stockage de médiateur chimique
2. La libération chimique de médiateurs dans la fente synaptique
3. Diffusion médiateur dans la fente synaptique
4. La riposte aux flambées dans la membrane post-synaptique
5. l'inactivation du médiateur chimique



Étapes de transmission chimique

- La synthèse et le stockage de médiateur



[http:](http://web.williams.edu/imput/synapse/pages/IA3.html)

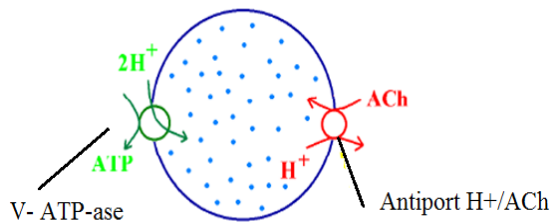
[//web.williams.edu/imput/synapse/pages/IA3.html](http://web.williams.edu/imput/synapse/pages/IA3.html)

RÉSUMÉ ET STOCKAGE des médiateurs chimiques:

L'acétylcholine (ACh) est synthétisée par la partie pré-synaptique, résultant de la réaction d'acétylation de la colline.

La réaction chimique catalysée par l'enzyme de l'acétylcholinestérase:

Après la synthèse des molécules d'ACh sont emballées dans des vésicules de 4000 à 10000 molécules de médiateurs / vésicules.



Chaque vésicule avec le médiateur, d'un diamètre d'environ 500 Å contient de 4000 à 10000 molécules d'ACh.

Le mécanisme de stockage comporte l'action combinée des deux mécanismes de transport actifs:

- Un type ATPase vacuolaire ayant le rôle de générer un gradient de protons entre le cytoplasme et à l'intérieur de la vésicule - et
- le transport actif secondaire d'un type antiport de ACh / H^+ qui utilise le gradient de protons mentionnés déjà pour mener les molécules endergoniques du médiateur à l'intérieur du vésicule.

LA LIBÉRATION DU MÉDIATEUR CHIMIQUE PAR LA FENTE SYNAPTIQUE

La membrane présynaptique contient en dehors des canaux ioniques voltage dépendants nécessaires à la génération et à la propagation des potentiels d'action, des canaux ioniques voltage-dépendants de Ca^{2+} . Les potentiels d'action propagés le long de la membrane présynaptique déclenche sa dépolarisation

Dans les cellules au repos, **la concentration intracellulaire est de $[Ca^{2+}]_i < 10^{-7} M$** , est beaucoup plus faible que **la concentration extracellulaire $[Ca^{2+}]_e = 1,5 mM$** .

La dépolarisation de la membrane présynaptique entraînera l'ouverture de ces canaux, suivie d'un fort afflux d'ions de Ca.

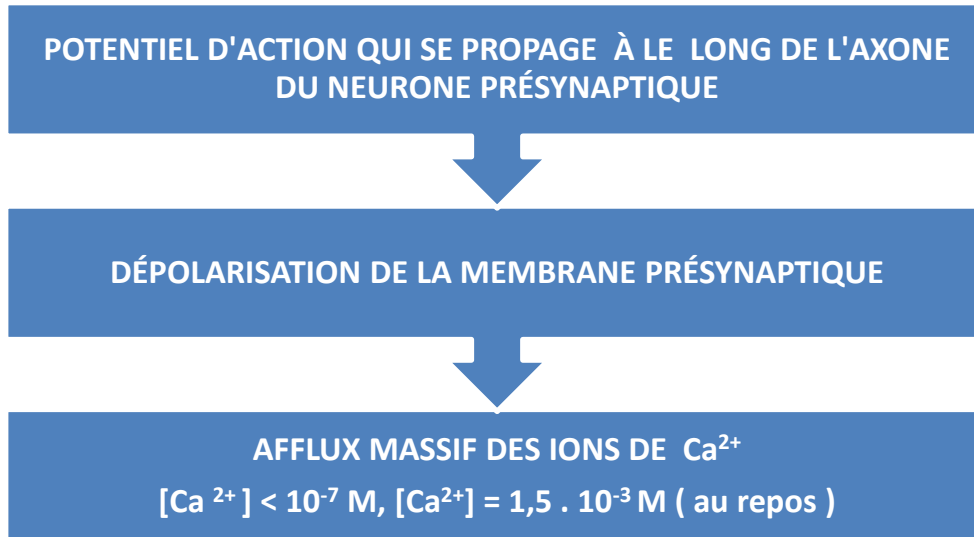
Dans le voisinage du membranaires présynaptiques se trouvent des vésicules de médiateur en haute densité, étant regroupés au moyen d'une protéine intracellulaire appelé synapsine pyruvique

La croissance de la concentration intracellulaire en calcium a comme effet la phosphorylation de la synapsine, suivie d'une séparation des vésicules dans le groupe.

Étant à proximité immédiate de la membrane présynaptique, sous l'action d'un complexe de protéine d'ancrage dont l'activité dépend de la présence de Ca^{2+} , les vésicules fusionnent avec la membrane présynaptique subissant le processus d'exocytose en versant leur contenu dans la fente synaptique.

Le mécanisme est connu comme **LA THÉORIE QUANTIQUE DE LA TRANSMISSION SYNAPTIQUE** parce que par exocytose à chaque vésicule on libère dans une fente synaptique un paquet de plusieurs milliers de molécules d'ACh appelé quanta.

LA LIBÉRATION DE MÉDIATEURS



LA DIFFUSION DU MÉDIATEUR PAR LA FENTE SYNAPTIQUE

Contrairement à la synapse électrique, la synapse chimique induit un retard d'environ 500 μ s entre le moment où le potentiel d'action atteint au niveau de la membrane présynaptique, déclenche la dépolarisation de la membrane présynaptique et le moment de sa réponse au niveau de la membrane post-synaptique.

Au retard contribue la durée de diffusion des molécules d'ACh à travers la fente synaptique, mais le temps nécessaire pour que ces molécules se déplacent à travers l'espace qui sépare les membranes pré et post-synaptiques, calculé sur la base de l'équation Einstein- Smoluchowski ne dépasse pas 2-5 μ s.

Les principales raisons du retard sont générées d'une part par les processus qui se déroulent dans la membrane présynaptique (l'ouverture lente du canaux de Ca, d'autre part par la phosphorylation du synapsine, l'exocytose des vésicules avec médiateur.

Ce qui se passe dans la membrane post-synaptique.

Une fois arrivées au niveau de la membrane post-synaptique les molécules d'Ach subissent un processus de diffusion latérale afin de trouver des sites libres dans la composition des récepteurs spécifiques des médiateur.

LE DÉCLENCHEMENT DE LA RÉPONSE AU NIVEAU DE LA MEMBRANE POST-SYNAPTIQUE

La première échelle dans la génération du potentiel postsynaptique consiste dans la liaison des molécules de médiateur aux récepteurs spécifiques localisés dans la membrane postsynaptique. Les canaux ioniques commandés chimiquement par Ach à structure pentamétrique présente chacune deux sites de connexion du neurotransmetteur:

Celui-ci est un canal cationique peu sélectif:

- ▶ Présente une valeur grande de la conductance ionique ; aprox. 27pS et s'ouvre à la liaison des deux molécules de médiateur:
- ▶ Comme résultat de la liaison du médiateur, le canal ionique s'ouvre, produisant des flux ioniques qui entraînent des modifications du potentiel de la membrane postsynaptique:

LE DÉCLENCHEMENT DE LA RÉPONSE QU NIVEAU DE LA MEMBRANE POST-SYNAPTIQUE

En fonction de la nature des changements, les synapses sont classées comme suit:

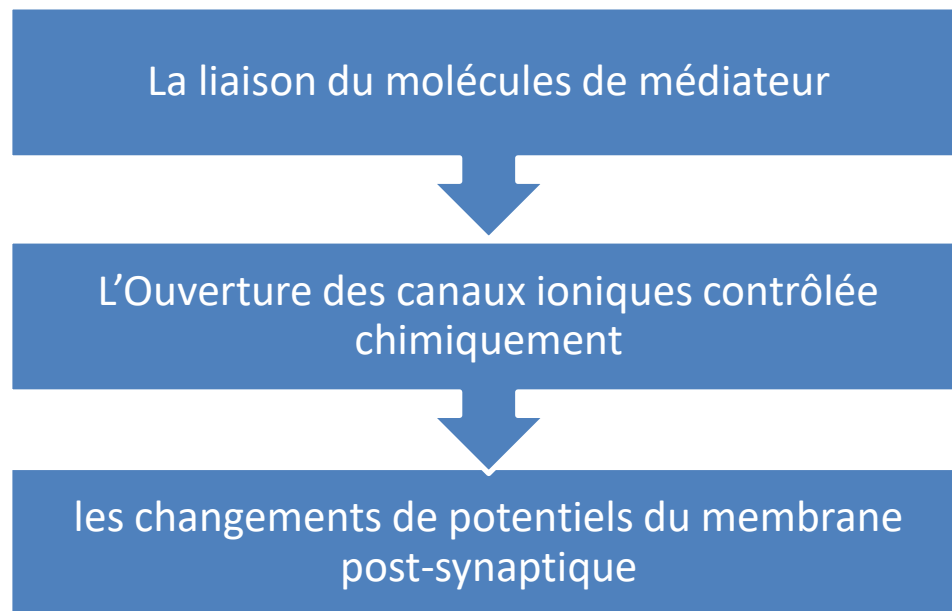
1. SINAPSE excitatrice: où est le flux d'ions Na^+ et K^+ déterminent la dépolarisation de la membrane postsynaptique et l'augmentation de l'excitabilité de la cellule post-synaptique.

Les médiateurs, qui génèrent la dépolarisation de la membrane postsynaptique et sont : l'acétylcholine et le glutamate.

2. SINAPSE inhibitrice: c'est le cas où les ions de Cl^- causent la hyperpolarisation de la membrane postsynaptique, avec une diminution de l'excitabilité de la cellule post-synaptique

Les médiateurs qui génèrent la dépolarisation de la membrane postsynaptique sont la glycine et l'acide gamma aminobutyrique (GABA) .

LE DÉCLENCHEMENT LA RÉPONSE POST-SYNAPTIQUE



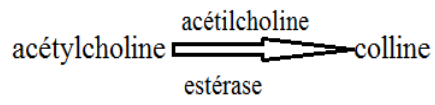
L'inactivation des médiateurs chimiques

Les molécules d'Ach qui restaient libres dans la fente synaptique sont hydrolysées par une enzyme appelée: l'acétylcholinestérase dans les ions de choline et acétate.

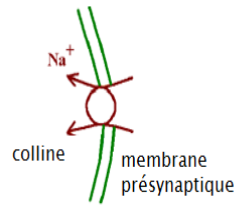
La Choline résultant de la réaction d'hydrolyse est retransportée dans la partie présynaptique par le simport de Na^+ /colline: en utilisant l'énergie libre résultant du transport passif d'ions Na^+ de la fente synaptique à l'intérieur de la cellule pré synaptique, les molécules de colline sont activement transportées de la même manière, étant réintroduites dans le bouton de terminaison présynaptique.

inactivation du médiateur chimique

ACH hydrolyse



le sim ports du colline dans la partie présynaptique



MÉDIATEURS CHIMIQUES

- **ACÉTYLCHOLINE : ACH**
- **GABA -**
- **DOPAMINE -**
- **GLUTAMATE -**
- **ADRÉNALINE**
- **NORADRÉNALINE**
- **SÉROTONINE**
- **HISTAMINE**
- **GLYCINE**

L'ACÉTYLCHOLINE

L'ACÉTYLCHOLINE est le premier neurotransmetteur à avoir été identifié dans le système nerveux central et dans le système nerveux périphérique.

L'acétylcholine est un ester de l'acide acétique et de la choline, qui agit comme un neurotransmetteur. Elle joue le rôle d'agent vasodilatateur, d'agoniste muscarinique, d'hormone, de métabolite humain, de métabolite de souris et de neurotransmetteur. C'est un ester d'acétate et une acylcholine.

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/187>

<https://www.ebi.ac.uk/chebi/searchId.do?chebiId=CHEBI:15355>

Un neurotransmetteur. Chez les vertébrés, l'acétylcholine est le principal neurotransmetteur au niveau des jonctions neuromusculaires, des ganglions autonomes, des jonctions effectrices parasympathiques, d'un sous-ensemble de jonctions effectrices sympathiques et dans de nombreuses zones du système nerveux central. En général, elle n'est pas utilisée comme médicament administré, car elle est très rapidement dégradée par les cholinestérases, mais elle est utile dans certaines applications ophtalmologiques.

<https://www.drugbank.ca/drugs/DB03128>

L'acétylcholine est un agoniste des récepteurs cholinergiques. Le mécanisme d'action de l'acétylcholine est celui d'un agoniste cholinergique.

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/187>

STRUCTURE CHIMIQUE

L'acétylcholine est l'ester résultant de la réaction d'estérification entre l'acide acétique et la choline ; sa structure de type ester est également confirmée par sa dénomination IUPAC : 2-acétyloxy-triméthylammonium (chlorure).

L'acétylcholine a été identifiée pour la première fois en 1914 par Henry Hallett Dale, qui a découvert son action sur le muscle cardiaque. C'est Otto Lewi qui a confirmé sa fonction de neurotransmetteur et l'a baptisée « vagusstoff » car elle était libérée au niveau du nerf vague. Les recherches menées ont montré que l'acétylcholine se lie aux récepteurs cholinergiques au niveau des fibres musculaires, ce qui entraîne l'ouverture des canaux ioniques sodiques. Les ions sodium pénètrent dans les cellules, où ils stimulent la contraction musculaire. L'acétylcholine, tout en induisant la contraction musculaire, entraîne parallèlement une réduction des contractions du muscle cardiaque. Cela est dû à la différence de structure des récepteurs dans les muscles et au niveau du cœur. L'acétylcholine est également active au niveau du cerveau (où elle a une action excitatrice).

Biosynthèse : elle a lieu au niveau du cytoplasme des neurones cholinergiques à partir de la choline et de l'acétyl-coenzyme A en présence de l'enzyme choline acétyltransférase[4] (synthétisée à l'intérieur du neurone).

L'acétylcholine appartient à la catégorie suivante d'agents :

- Agonistes cholinergiques

Médicaments qui se lient aux récepteurs cholinergiques et les activent.

- Agents vasodilatateurs

Médicaments utilisés pour provoquer la dilatation des vaisseaux sanguins.

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/187>

MÉTABOLISME

Apparaît dans la fente synaptique par une réaction d'hydrolyse catalysée par l'acétylcholinestérase (les produits sont la choline et l'acide acétique) ou la pseudocholinestérase

<http://www.neurosci.pharm.utoledo.edu/MBC3320/acetylcholine.htm>

Stockage : se trouve dans les vésicules synaptiques sous forme libre ou sous forme de complexe protéique

Libération et fixation : l'ACh (forme libre) est libérée des vésicules de manière permanente ou à la demande sous l'influence des impulsions nerveuses. La régulation de cette libération s'effectue par le récepteur du ligand et les ions physiologiques.

Il existe deux types de récepteurs de l'acétylcholine (récepteurs cholinergiques) :

Les récepteurs nicotiniques (nAChR), également appelés « ionotropes », qui sont activés par la nicotine.

Les récepteurs nAChR forment des canaux ioniques dépendants de la tension. Ils se composent de cinq sous-unités protéiques : α , α , β , γ , δ . Les sous-unités présentent une surface externe plus importante, qui se lie à l'acétylcholine

Récepteurs muscariniques : les récepteurs muscariniques sont des polypeptides d'une masse d'environ 80 000 daltons. Il en existe plusieurs types : M1, M2, M3, M4, M5. Lorsqu'ils sont stimulés par l'acétylcholine ou par des agonistes pharmacologiques, ils ont un effet stimulant. Métabolisation : elle a lieu dans la fente synaptique, par une réaction d'hydrolyse catalysée par l'acétylcholinestérase (les produits étant la choline et l'acide acétique), ou par la pseudocholinestérase.

- Stockage : Il s'effectue dans les vésicules présynaptiques sous forme libre ou sous forme de complexe avec une protéine

- Libération et régulation : L'ACh (forme libre) est libérée des vésicules soit en continu, soit à la demande sous l'influence de l'impulsion nerveuse. La régulation de la libération s'effectue par l'intermédiaire des récepteurs, de certains ligands physiologiques mais aussi d'ions.

- Types de récepteurs : Il existe deux types de récepteurs de l'acétylcholine (récepteurs cholinergiques) :

- Les récepteurs nicotiniques (nAChR), connus sous le nom de récepteurs « ionotropiques », qui ont pour médiateur l'alcaloïde nicotine.

- Les récepteurs nAChR sont des récepteurs qui forment des canaux ioniques dépendants du voltage. Ils sont constitués de 5 sous-unités protéiques : α , α , β , γ , δ . Les sous-unités présentent une surface externe plus large, sur laquelle se fixe l'acétylcholine

- Récepteurs muscariniques : Les récepteurs muscariniques sont des polypeptides d'une masse d'environ 80 000 daltons. Il en existe plusieurs types : M1, M2, M3, M4, M5. Lorsqu'ils sont stimulés par l'acétylcholine ou des agonistes pharmacologiques, ils ont un effet stimulant.

L'acétylcholine (ACh) est un neurotransmetteur essentiel du système nerveux central et périphérique, impliqué dans de nombreuses fonctions physiologiques, notamment la transmission neuromusculaire, la modulation du système nerveux autonome et les processus cognitifs.

Synthèse et métabolisme de l'acétylcholine

L'acétylcholine est synthétisée dans les neurones cholinergiques à partir de la choline et de l'acétyl-coenzyme A, sous l'action de l'enzyme choline acétyltransférase (ChAT). Elle est ensuite stockée dans des vésicules synaptiques et libérée dans la fente synaptique lors de la dépolarisation neuronale [1]. Après sa libération, l'ACh est rapidement hydrolysée en choline et acétate par l'enzyme acétylcholinestérase (AChE), ce qui permet de terminer le signal synaptique [2].

Récepteurs de l'acétylcholine

L'ACh agit via deux grandes classes de récepteurs :

a) Récepteurs nicotiniques (nAChR)

Ce sont des récepteurs ionotropes (canaux ioniques ligand-dépendants) présents : à la jonction neuromusculaire, dans les ganglions du système nerveux autonome, dans certaines régions du cerveau. Ils permettent une entrée rapide de Na^+ et Ca^{2+} , entraînant une dépolarisation cellulaire [3].

b) Récepteurs muscariniques (mAChR)

Ce sont des récepteurs métabotropes couplés aux protéines G, subdivisés en cinq sous-types (M1–M5). Ils sont impliqués dans : la régulation cardiaque, la contraction des muscles lisses, la sécrétion glandulaire, les fonctions cognitives [4].

Rôle physiologique

a) Système nerveux périphérique

- Transmission neuromusculaire → contraction musculaire
- Neurotransmetteur principal du système parasympathique [5]

b) Système nerveux central

- Apprentissage et mémoire
- Attention et éveil
- Plasticité synaptique [6]

Implications cliniques

a) Maladie d'Alzheimer

Une diminution des neurones cholinergiques est associée aux troubles cognitifs. Les inhibiteurs de l'acétylcholinestérase (ex. donépézil) sont utilisés pour améliorer les symptômes [7].

b) Myasthénie grave

Maladie auto-immune caractérisée par une altération des récepteurs nicotiniques à la jonction neuromusculaire, entraînant une faiblesse musculaire [8].

c) Intoxications

Les organophosphorés inhibent l'acétylcholinestérase, provoquant une accumulation d'ACh et une stimulation excessive des récepteurs cholinergiques [9].

Organisation du système cholinergique

L'acétylcholine (ACh) est le principal neurotransmetteur des neurones cholinergiques, présents dans le système nerveux central (SNC) et périphérique (SNP). Dans le SNC, les principaux noyaux cholinergiques incluent : le noyau basal de Meynert, les noyaux septaux médiaux, le tronc cérébral (complexe pédonculopontin).

Ces projections jouent un rôle clé dans la cognition, la mémoire et l'attention [1].

Biosynthèse, stockage et libération

Synthèse

L'ACh est synthétisée dans le cytoplasme neuronal via : choline (transportée activement via CHT1), acétyl-CoA (issu du métabolisme mitochondrial).

La réaction est catalysée par la **choline acétyltransférase (ChAT)** [2].

Transport vésiculaire

L'ACh est ensuite transportée dans les vésicules synaptiques par le **transporteur vésiculaire VAcHT** [3].

Libération

La libération dépend du calcium :entrée de Ca^{2+} via canaux voltage-dépendants ,interaction avec les protéines SNARE (synaptobrevine, syntaxine, SNAP-25) ,exocytose vésiculaire [4]

Inactivation et recyclage

L'ACh est hydrolysée dans la fente synaptique par l'**acétylcholinestérase (AChE)** en :choline (recyclée) ET acétate [5]

La choline est recaptée par le transporteur CHT1, limitant ainsi la vitesse de synthèse de l'ACh [6].

Récepteurs cholinergiques : structure et signalisation

Récepteurs nicotiques (nAChR)

Les nAChR sont des récepteurs ionotropes pentamériques appartenant à la famille des canaux cys-loop. Ils sont composés de différentes sous-unités ($\alpha 1$ – $\alpha 10$, $\beta 1$ – $\beta 4$), ce qui détermine leurs propriétés pharmacologiques [7].

Mécanisme :

- liaison de l'ACh → ouverture du canal
- influx de Na^+ et Ca^{2+}
- dépolarisation rapide

Distribution :

- jonction neuromusculaire ($\alpha 1\beta 1\delta\epsilon$)
- SNC ($\alpha 4\beta 2$, $\alpha 7$) [7]

Les récepteurs $\alpha 7$ sont particulièrement importants pour la plasticité synaptique et la neuroprotection [8].

Récepteurs muscariniques (mAChR)

Les mAChR sont des récepteurs couplés aux protéines G (GPCR), divisés en deux groupes :

Groupe Gq (M1, M3, M5)

- activation de la phospholipase C (PLC)
- production d'IP3 et DAG
- augmentation du Ca^{2+} intracellulaire

Groupe Gi/o (M2, M4)

- inhibition de l'adénylate cyclase
- ouverture des canaux K^+
- effet inhibiteur neuronal [9]

Rôles fonctionnels

Dans le système nerveux central

a) Cognition et mémoire

L'ACh module l'activité hippocampique et corticale, favorisant :

- l'encodage mnésique
- l'attention
- la plasticité synaptique (LTP/LTD) [10]

b) Modulation des circuits neuronaux

Elle agit comme neuromodulateur : régulation du rapport signal/bruit, synchronisation des oscillations neuronales [11]

Dans le système nerveux périphérique

a) Jonction neuromusculaire

L'ACh active les récepteurs nicotiniques → contraction musculaire [12].

b) Système autonome

- Parasympathique : neurotransmetteur principal
- Sympathique : présent dans les ganglions [13]

Implication dans les pathologies

Maladie d'Alzheimer

- perte des neurones cholinergiques du noyau basal de Meynert
- déficit en ACh cortical

Les inhibiteurs de l'AChE augmentent la disponibilité synaptique de l'ACh [14].

Myasthénie grave

- auto-anticorps contre les nAChR
- diminution de la transmission neuromusculaire [15]

Maladie de Parkinson

- déséquilibre dopamine/acétylcholine dans le striatum
- hyperactivité cholinergique relative [16]

Toxicologie cholinergique

Les organophosphorés inhibent irréversiblement l'AChE : accumulation d'ACh, syndrome cholinergique (SLUDGE : salivation, larmimation, etc.) [17]

Pharmacologie cholinergique

Agonistes cholinergiques

- directs : muscarine, nicotine
- indirects : inhibiteurs de l'AChE (néostigmine, donépézil)

Antagonistes

- muscariniques : atropine
- nicotiniques : curare [18]

Perspectives récentes

Des recherches récentes montrent que : les récepteurs $\alpha 7$ nAChR sont impliqués dans l'inflammation (axe neuro-immun), l'ACh joue un rôle dans la régulation du système immunitaire (voie cholinergique anti-inflammatoire) [19]

DOPAMINE

La dopamine est l'un des principaux neurotransmetteurs du système nerveux (une substance qui transmet l'information entre les neurones du cerveau) ; cette substance intervient dans un large éventail d'activités différentes (par exemple, le contrôle de la motricité et des mouvements musculaires).

Historique : La dopamine a été synthétisée pour la première fois par George Barger en 1910 avec l'aide de son collègue James Ewens, aux laboratoires Wellcome de Londres[1]. Elle a été nommée dopamine car il s'agit d'une monoamine, et son précurseur synthétique est la 3,4-dihydroxyphénylalanine (L-DOPA). La fonction de la dopamine en tant que neurotransmetteur a été identifiée pour la première fois en 1958 par Arvid Carlsson et Hillarp Nils-Åke du Laboratoire de chimie pharmacologique du cœur, en Suède [2].

La biosynthèse de la dopamine est un processus en deux étapes, commençant par l'acide aminé tyrosine. Un deuxième groupe hydroxyle est ajouté à la tyrosine pour former la lévodopa, ou L-dopa. Ce processus est catalysé par l'enzyme tyrosine hydroxylase. La dopamine se forme par l'élimination de l'acide carboxylique de la L-dopa, réaction catalysée par la dopa décarboxylase.

Dopamine : informations scientifiques essentielles

1. Qu'est-ce que la dopamine ?

La dopamine est un neurotransmetteur catécholaminergique synthétisé principalement dans le cerveau (substance noire et aire tegmentale ventrale). Elle joue un rôle central dans : la motivation et la récompense, le contrôle moteur, les fonctions cognitives, la régulation émotionnelle. Elle est produite à partir de la tyrosine, via la L-DOPA (1).

2. Les principales voies dopaminergiques

Il existe quatre voies majeures dans le cerveau :

Voie mésolimbique → récompense et plaisir

Voie mésocorticale → cognition et prise de décision

Voie nigrostriée → contrôle du mouvement

Voie tubéro-infundibulaire → régulation hormonale

Des altérations de ces circuits sont associées à diverses pathologies neurologiques et psychiatriques (2).

3. Dopamine et système de récompense

La dopamine ne code pas directement le plaisir, mais plutôt :

-une erreur de prédiction de récompense (reward prediction error)

Cela signifie qu'elle augmente lorsque la récompense est meilleure que prévu et diminue lorsqu'elle est inférieure aux attentes (3).

Ce mécanisme est essentiel dans : l'apprentissage par renforcement, les comportements addictifs

4. Dopamine et maladies

a) Maladie de Parkinson

- Diminution des neurones dopaminergiques (substance noire)
- Symptômes : tremblements, rigidité, bradykinésie(4)

b) Schizophrénie

- Hyperactivité dopaminergique (voie mésolimbique)
- Hypoactivité (voie mésocorticale)(5)

c) Addiction

- Suractivation du système dopaminergique
- Sensibilisation aux stimuli liés à la drogue(6)

d) Dépression

- Dysfonction dopaminergique impliquée dans l'anhédonie(7)

5. Régulation de la dopamine

La dopamine est régulée par :

- transporteurs DAT (recapture synaptique)
- enzymes : MAO, COMT
- récepteurs dopaminergiques (D1–D5)

Un déséquilibre peut entraîner des troubles neuropsychiatriques (2).

6. Facteurs influençant la dopamine

Facteurs physiologiques

- sommeil
- alimentation (tyrosine)
- activité physique

Facteurs environnementaux

- stress chronique ↓ dopamine
- récompenses artificielles (réseaux sociaux, drogues) → dérégulation

Des études récentes montrent que les comportements modernes (exposition numérique intense) peuvent modifier la signalisation dopaminergique (8).

Le GABA

Le GABA, ou acide gamma-aminobutyrique, est considéré comme l'un des principaux neurotransmetteurs inhibiteurs du système nerveux central. Les concentrations les plus élevées de GABA ont été observées dans le globus pallidus, l'hypothalamus, la substance noire, les noyaux cérébelleux, la substance grise périaqueducale, le noyau caudé et le thalamus médial.

Qu'est-ce que le GABA ?

Le GABA est un neurotransmetteur qui **réduit l'excitabilité neuronale** dans le cerveau. Il joue un rôle essentiel dans l'équilibre entre excitation et inhibition neuronale.

- Il est synthétisé à partir du glutamate via l'enzyme **glutamate décarboxylase (GAD)**
- Il agit principalement via les récepteurs **GABA_A** (ionotropes) et **GABA_B** (métabotropes)

Le GABA est impliqué dans des fonctions comme : l'anxiété, le sommeil, la relaxation musculaire, le contrôle du stress

Mécanisme d'action

Le GABA agit en se liant à ses récepteurs :

- **GABA_A** : ouvre des canaux Cl^- → hyperpolarisation neuronale
- **GABA_B** : active des protéines G → inhibition indirecte

Résultat : diminution de l'activité neuronale excessive (1)

Rôle physiologique

Le GABA intervient dans plusieurs processus :

1. Régulation de l'anxiété

Une diminution du tonus GABAergique est associée à des troubles anxieux (2).

2. Sommeil

Le GABA favorise l'endormissement en inhibant les circuits d'éveil (3).

3. Épilepsie

Un déficit en GABA est impliqué dans l'hyperexcitabilité neuronale (4).

4. Métabolisme et hormones

Le GABA pourrait aussi influencer : la sécrétion d'insuline, la régulation du cortisol (5)

Supplémentation en GABA

Les compléments alimentaires à base de GABA sont souvent utilisés pour : réduire le stress, améliorer le sommeil, favoriser la relaxation

Cependant, leur efficacité reste controversée car :

- le GABA traverse **faiblement la barrière hémato-encéphalique** (6)
- certains effets pourraient être indirects (axe intestin-cerveau)

Effets cliniques (preuves scientifiques)

- Une étude a montré que le GABA peut réduire les marqueurs de stress et améliorer la relaxation (7)
- D'autres travaux suggèrent un effet sur le sommeil, mais avec des résultats variables (8)

Globalement, les preuves restent **modérées à limitées**

Effets secondaires et sécurité

Le GABA est généralement bien toléré, mais peut provoquer : somnolence, vertiges, baisse de la pression artérielle

Prudence si combiné avec : anxiolytiques, alcool, médicaments sédatifs

L'acide gamma-aminobutyrique est un produit de la décarboxylation de l'acide glutamique, étroitement lié au métabolisme oxydatif des glucides au niveau du système nerveux central. Sa synthèse est assurée par l'enzyme glutamate décarboxylase.

Le GABA ne peut pas traverser la barrière hémato-encéphalique (à l'exception de certaines zones du cerveau où cette barrière n'est pas efficace, comme le noyau périventriculaire), celui-ci étant synthétisé *in vivo*.

Le GABA est considéré comme ayant des effets inhibiteurs au niveau du cortex, des noyaux amygdaliens et du noyau caudé. Libéré par les axones des cellules de Purkinje, il provoquerait l'inhibition des neurones du noyau de Deiters. Il agit au niveau de la membrane postsynaptique, provoquant une hyperpolarisation et des potentiels inhibiteurs par l'augmentation de la conductance pour le Cl⁻. Il participe également aux mécanismes inhibiteurs médullaires.

Développement du cerveau : Au cours des deux dernières décennies, la théorie selon laquelle le GABA aurait une action excitatrice au cours des premiers stades du développement était incontestée, s'appuyant sur des expériences *in vitro* réalisées sur des coupes de cerveau. Les principales observations ont montré que dans l'hippocampe et le néocortex du cerveau des mammifères, le GABA a principalement des effets excitateurs et qu'il est en fait le neurotransmetteur excitateur le plus important dans de nombreuses régions du cerveau, avant la maturation du glutamate dans les synapses. [1] [2]

Cependant, cette théorie a été contestée car les résultats présentés sont basés sur des coupes de cerveau de souris immatures incubées dans un liquide céphalo-rachidien artificiel (ACSF) (modifié de manière à tenir compte de la composition normale du milieu neural chez les nourrissons par l'ajout d'un substrat énergétique alternatif à la glucose, l'acide bêta-hydroxybutyrique).

Au-delà du système nerveux : Enzymes GAD67 produisant du GABA dans des coupes de cerveau au premier jour postnatal, fortement exprimées dans la zone sous-ventriculaire (zsv). D'après Popp et al., 2009. [3]

Des mécanismes GABAergiques ont été mis en évidence dans divers tissus et organes périphériques, notamment, mais sans s'y limiter, les intestins, l'estomac, le pancréas, les trompes de Fallope, l'utérus, les ovaires, les testicules, les reins, la vessie, les poumons et le foie. [4]

En 2007, un système GABAergique excitateur a été décrit dans l'épithélium des voies respiratoires. Ce système s'active suite à une exposition à des allergènes et pourrait participer aux mécanismes de l'asthme.[5]

Des systèmes GABAergiques ont également été mis en évidence dans les testicules [6] et dans le cristallin de la rétine oculaire [7].

Embryon de riz présentant une expression de l'acide gamma-aminobutyrique

L'acide gamma-aminobutyrique est également présent, bien que rarement, dans les germes de certaines graines, dans les légumes verts et dans les fruits. Certaines études ont montré que l'embryon de riz est riche en GABA, qui peut inhiber l'augmentation de la pression artérielle, contrairement au GABA présent dans le soja, le blé, les tomates et les haricots, qui ne peut pas l'inhiber. Outre l'effet du GABA, l'embryon de riz est riche en d'autres substances issues de l'activité physiologique de l'embryon de riz. C'est pourquoi le GABA extrait d'embryons de riz est considéré comme sûr pour servir de matière première dans les médicaments et les aliments fonctionnels.

HISTAMINE

L'HISTAMINE (imidazoléthylamine) est une amine biogène. On la trouve dans les tissus animaux, les plantes, les bactéries et les venins.

Chez l'être humain, l'histamine est présente dans les poumons, la peau et la muqueuse gastro-intestinale.

Métabolisme : Environ 2 à 3 % de l'histamine endogène est excrétée sous forme inchangée dans l'urine, le reste étant métabolisé en N-méthylhistamine et en 3-méthylimidazole acétate, le produit final

Il existe deux voies de métabolisation de l'histamine :

- La première transformation a lieu dans le cytoplasme cellulaire, à la périphérie, où, sous l'action de l'histaminase (diaminoxydase), se produit une désamination oxydative avec formation d'imidazole acétate.
- La deuxième voie se déroule au niveau cérébral, où l'histamine subit l'action de deux autres enzymes : l'histamine méthyltransférase et la monoamine oxydase B (MAO B) ; il en résulte un composé intermédiaire, la 3-méthylhistamine, le produit final étant l'acétate de 3-méthylimidazole.

Effets

Appareil digestif : l'histamine agit comme un stimulateur de la sécrétion gastrique et comme un facteur de régulation de la microcirculation. Elle est généralement utilisée pour déterminer la capacité de sécrétion acide de l'estomac.

Au niveau cutané : il semble que des agressions physiques ou chimiques puissent entraîner la libération d'histamine, qui est le principal médiateur des allergies de type I. Les manifestations cliniques de ce type d'allergie sont : l'urticaire, l'œdème, la rhinite allergique, le choc anaphylactique. Administrée par voie intradermique, elle provoque une réaction vasculaire de type « triple réaction » : une tache rouge apparaît au site d'injection en raison de la dilatation des artérioles, qui est rapidement remplacée par une papule avec une aréole rouge irrégulière.

Système circulatoire : au niveau circulatoire, c'est un médiateur important, ses effets étant proportionnels à la dose mais aussi à la voie d'administration : administrée par voie intraveineuse, elle a un effet congestif, notamment au niveau de la tête et du tronc. À fortes doses, elle fait baisser la pression artérielle par vasodilatation et hypovolémie, provoquant un état de choc. Au niveau artériolaire, elle provoque une dilatation marquée des artérioles terminales et des veinules postcapillaires.

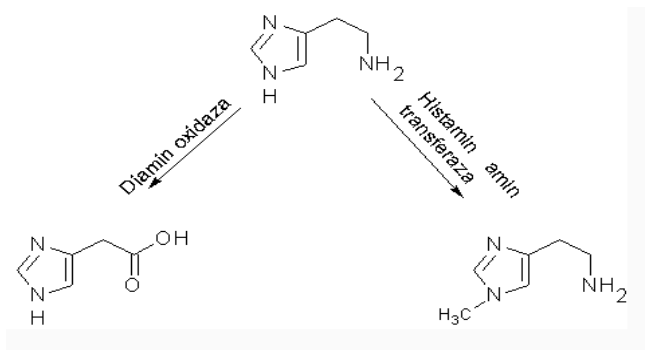
Système respiratoire : elle peut également être libérée par les mastocytes à la suite d'une interaction antigène-anticorps, jouant ainsi un rôle important dans les allergies et les réactions allergiques. Elle provoque une légère bronchoconstriction, les asthmatiques étant extrêmement sensibles à cette action.

Valentin Stroescu, Pharmacologie, Ed ALL 1999

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/774>

Synapses chimiques – types de neurotransmetteurs :

Récepteur	Action	Antagonistes
H1	bronchoconstriction ; vasodilatation ; augmentation de la perméabilité capillaire, démangeaisons	Difenhidramine , Clorfeniramine, Prometazine , Terfenadine , Astemisol , Loratadine, Cetirizina , cloropiramina e _
H2	Sécrétion d'acide gastrique, dépression cardiaque ; contraction œsophagienne, inhibition de la libération d'histamine par les basophiles	Ranitidină Ph amotidină Nis atidin e
H3	Inhibition de la neurotransmission synaptique ; régulation de la synthèse de l'histamine	Tioperamidă



Environ 2 à 3 % de l'histamine endogène est excrétée dans l'urine ; le reste est métabolisé en N-méthylhistamine et en 3-méthylimidazole acétate, un métabolite final

1. Définition et biosynthèse de l'histamine

L'histamine est une amine biogène dérivée de l'acide aminé histidine, formée par l'enzyme histidine décarboxylase .

Elle est principalement stockée dans les mastocytes et basophiles, puis libérée lors de stimuli immunologiques ou non immunologiques .

Elle agit comme : médiateur de l'inflammation , neurotransmetteur , régulateur physiologique (digestif, cardiovasculaire, nerveux)

2. Récepteurs de l'histamine et signalisation

L'histamine agit via 4 récepteurs couplés aux protéines G (GPCR) :

- H1 : allergie, inflammation, bronchoconstriction
- H2 : sécrétion acide gastrique
- H3 : neurotransmission (régulation des neurotransmetteurs)
- H4 : immunité et chimiotaxie des cellules immunitaires

Ces récepteurs activent différentes voies intracellulaires (PLC, AMPc, Ca^{2+}), expliquant les effets multiples de l'histamine .

3. Rôles physiologiques

3.1 Système immunitaire

L'histamine est un médiateur clé de l'immunité innée et adaptative :

- vasodilatation
- augmentation de la perméabilité vasculaire
- recrutement des cellules immunitaires

Elle module aussi l'activité de nombreuses cellules (T, macrophages, éosinophiles) .

3.2 Système nerveux

- régulation du sommeil et de l'éveil
- mémoire et apprentissage
- modulation de neurotransmetteurs (dopamine, GABA)

3.3 Système digestif

- stimulation de la sécrétion d'acide gastrique via H2

4. Rôles pathologiques

L'histamine est impliquée dans plusieurs pathologies :

4.1 Réactions allergiques

- rhinite allergique
 - urticaire
 - asthme
- via activation des récepteurs H1

4.2 Inflammation chronique et maladies immunitaires

- dermatite atopique
- maladies auto-immunes
- polyarthrite rhumatoïde

4.3 Troubles neurologiques

- narcolepsie
- maladies neurodégénératives (ex : Parkinson)

4.4 Système cardiovasculaire

Une libération excessive peut provoquer :

- hypotension
- arythmies cardiaques

5. Intolérance à l'histamine (concept récent)

L'« intolérance à l'histamine » est un syndrome complexe multifactoriel, impliquant :

- activité de la DAO (diamine oxydase)
- microbiote intestinal
- facteurs hormonaux et nutritionnels

Important :

- aucun test diagnostique fiable unique
- approche individualisée recommandée

6. Implications thérapeutiques

Les médicaments ciblant l'histamine incluent :

- antihistaminiques H1 → allergies
- antagonistes H2 → ulcères gastriques
- antagonistes H3 → troubles neurologiques
- H4 → en développement

SÉROTONINE

La SÉROTONINE est une amine dérivée de l'indole. On la trouve dans les tissus végétaux et dans les venins animaux.

La sérotonine agit comme un neurotransmetteur ; elle intervient dans le sommeil, les processus mentaux et émotionnels (dépression et anxiété, trouble obsessionnel-compulsif), la fonction motrice, la thermorégulation, la régulation de la pression artérielle, le réflexe nauséeux et les fonctions hormonales.

Exemples de sérotonine : métisergide, ergotamine, sumatriptan, buspirone, ondansétron.

La sérotonine, un neurotransmetteur présent dans divers organes, y compris le système nerveux central, joue un rôle important dans le développement des troubles dépressifs et anxieux en raison des substances chimiques qu'elle produit.

La formule chimique de la sérotonine brute est : $\text{HO-C}_6\text{H}_5\text{-NH-C-(CH}_2\text{)}_2\text{-NH}_2$

Formule chimique : $\text{HO-C}_6\text{H}_5\text{-NH-C-(CH}_2\text{)}_2\text{-NH}_2$

Sources naturelles : la sérotonine est présente dans divers aliments (légumes, pommes de terre, céréales, etc.)

Les effets biochimiques et physiologiques de la sérotonine : les neurones interagissent entre eux par le biais de substances chimiques appelées neurotransmetteurs. D'autres troubles sont dus soit à une sous-production ou à une surproduction de neurotransmetteurs, soit au fait que les neurones ne disposent pas d'un nombre suffisant de récepteurs pour ces neurotransmetteurs.

Les chercheurs affirment que les personnes atteintes de TOC présentent un déséquilibre de la sérotonine.

Le taux de sérotonine dans le sang des personnes souffrant de TOC et des amoureux est inférieur de 40 % à celui des sujets sains.

Les antidépresseurs agissent généralement sur la sérotonine, un neurotransmetteur.

Cependant, on pense que la dépression est causée par un manque de récepteurs de la sérotonine. Les recherches les plus récentes sur la schizophrénie et les maladies mentales montrent qu'un excès de sérotonine dans l'organisme peut être à la fois la cause et le précurseur de cette maladie et d'autres troubles mentaux.

Le maintien d'un taux adéquat de sérotonine dans le corps humain varie d'un individu à l'autre en fonction de l'alimentation, du mode de vie, etc.

10. EXEMPLES DE QCM POUR L'EXAMEN

1* Écrivez la définition du mètre adoptée en 2019 :

- A) Le mètre est la longueur du trajet parcouru par la lumière dans le vide en $1/299\,792\,458$ de seconde
- B) Le mètre est la longueur égale à $16\,507\,637$ longueurs d'onde dans le vide du rayonnement correspondant à la transition entre les niveaux d'énergie $2A_{10}$ et $5D_5$ de l'atome de césium 133.
- C) La seconde est la durée de $9\,192\,631\,770$ périodes du rayonnement correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.
- D) L'ampère est l'intensité d'un courant électrique qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles rectilignes de longueur infinie et de section circulaire négligeable, placés dans le vide à une distance de 1 m l'un de l'autre, produira entre ces conducteurs une force de 1 N sur une longueur de 1 m .
- E) La candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source émettant un rayonnement monochromatique d'une fréquence de $540 \times 10^{12}\text{ Hz}$ et dont l'intensité énergétique dans cette direction est $\frac{1}{683} \cdot \frac{W}{Sr}$

R : A

2*. La chaleur Q est définie par l'équation suivante :

- A) $DF = -P.DV = -DW$, B) $F = U - T.S$, C) $DU = T.DS - P.DV$, D) $H = U + PV$,
- E) $Q = \Delta U + W$

R : E

3*. Parmi les unités de pression suivantes, lesquelles font partie du Système international d'unités ?

A) l'atmosphère physique $1atm = 760Torr$

B) $[p]_{S.I.} = 1 \frac{N}{m^2}$

C) $[p] = 1 \frac{dyn}{cm^2} = 1barye$

D) $1Torr = 133,322 \frac{N}{m^2}$

E) $1mmH_2O \approx 9,8 \frac{N}{m^2}$

R: B,

4*. Énoncez le principe d'inertie

- A) Tout corps sur lequel n'agit aucune force conserve son état de mouvement rectiligne et uniforme ou de repos relatif.
- B) Une force agissant sur un corps lui imprime une accélération proportionnelle à la force et inversement proportionnelle à la masse du corps
- C) L'ampère est l'intensité d'un courant électrique qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles rectilignes de longueur infinie et de section circulaire négligeable, placés dans le vide à une distance de 1 m l'un de l'autre, produira entre ces conducteurs une force de 1 N sur une longueur de 1 m.
- D) Le principe d'action et de réaction affirme que les forces entre deux corps en interaction sont égales en grandeur et de sens opposé, c'est-à-dire $F_{ij} = F_{ji}$ ($i \neq j$) où F_{ij} est la force avec laquelle le corps j agit sur le corps i , et F_{ji} est la force avec laquelle le corps i agit sur le corps j .
- E) chacune des forces auxquelles un corps est soumis agit indépendamment de l'existence des autres forces appliquées

R: A

5.*La force de gravité est donnée par la relation :

- A) $G = m.a$
- B) $G = kx/2$
- C) $G = \mu N$
- D) $G = m.g$
- E) $G = F.d$

R : D

6*. Définissez l'état liquide :

- A) L'état liquide est un état de la matière, stable, intermédiaire entre la région de stabilité de l'état solide et celle de l'état gazeux pour une densité et une température données.
- B) Le coefficient de compressibilité est plus élevé pour l'argon que pour le sodium ; les forces de répulsion de type ion-ion ou atome-atome sont beaucoup plus fortes chez les métaux. Pour les mêmes raisons, la vitesse du son est également différente.
- C) Le sodium liquide est un métal à l'état liquide et se rapproche davantage de l'état solide, tandis que l'argon liquide se rapproche davantage de l'état gazeux
- D) des liquides associés, dont les molécules possèdent des liaisons hydrogène, comme par exemple l'eau ;
- E) des liquides formés de grands groupes de molécules, dans lesquels le mouvement interne joue un rôle déterminant.

R A

7. Écrivez l'équation de Poisson pour une transformation adiabatique d'un gaz parfait

(où p désigne la pression, V le volume, T la température et γ le coefficient adiabatique)

- A) $pV\gamma = \text{const}$, B) $T.V^{\gamma-1} = \text{const}$, C) $T^\gamma p^{1-\gamma} = \text{const.}$, D) $pV = n.R.T$, E) $T = \text{const.}$

R: A, B, C

8. Laquelle des affirmations suivantes ne correspond pas à la loi d'Archimède :

- A) Un corps immergé dans un liquide est poussé vers le haut par une force égale au poids du volume de fluide déplacé par le corps.
- B) Le coefficient de compressibilité est plus élevé pour l'argon que pour le sodium ; les forces de répulsion de type ion-ion ou atome-atome sont beaucoup plus fortes chez les métaux. Pour les mêmes raisons, la vitesse du son est également différente.
- C) Le sodium liquide est un métal à l'état liquide et se rapproche davantage de l'état solide, tandis que l'argon liquide se rapproche davantage de l'état gazeux
- D) des liquides associés, dont les molécules possèdent des liaisons hydrogène, comme par exemple l'eau ;
- E) Un corps immergé dans un liquide est poussé de bas en haut par une force égale au poids du volume de fluide déplacé par le corps.

R : B, C, D

9. Laquelle des affirmations suivantes concerne la notion de viscosité ?

- A) La viscosité cinématique est le rapport entre la viscosité et la densité du fluide
- B) La force de frottement interne qui apparaît dans le plan de glissement par unité de surface est proportionnelle au gradient de vitesse (loi de Newton)
- C) Si les couches de fluide glissent les unes par rapport aux autres, des forces de frottement interne ou de viscosité apparaissent
- D) La pression statique s'exerce sur un élément de surface placé parallèlement aux lignes de courant, par exemple sur les parois du tube (c'est pourquoi on l'appelle parfois pression sur les parois), ou sur un élément de surface orienté arbitrairement mais se déplaçant solidairement avec le fluide.
- E) Un corps immergé dans un liquide est poussé de bas en haut par une force égale au poids du volume de fluide déplacé par le corps.

R: A, B, C

10. Donnez la définition du mètre :

- A) Le mètre est la longueur égale à 1 650 763,73 longueurs d'onde dans le vide du rayonnement correspondant à la transition entre les niveaux d'énergie $2p^{10}$ et $5d^5$ de l'atome de krypton 86.
- B) Le mètre est la masse du prototype international. Le terme de poids désigne la même grandeur qu'une force $G = mg$, où g est l'accélération gravitationnelle ; $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$.
- C) La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes du rayonnement correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.
- D) Le mètre est la longueur du trajet parcouru par la lumière dans le vide en $1/299\,792\,458$ de seconde
- E) Un mètre est la fraction $1/273,16$ de la température thermodynamique du point triple de l'eau.

R:A, D

11. Écrivez l'expression de la viscosité dynamique et son unité de mesure :

A) $\frac{dF}{dS} \frac{dz}{dv} = \eta$, B) $[\eta]_{s.l.} = \frac{N \cdot s}{m^2}$, C) $1P = 1 \frac{g}{cm \cdot s} = 0,1 \frac{Kg}{m \cdot s}$, D) $pV = n.R.T$,

E) $p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$

R: A), B,

12. Écrivez l'équation fondamentale de la thermodynamique :

A) $DF = -P.DV = -DW$, B) $F = U - T.S$, C) $dU = T.dS - P.dV$, D) $dU = dQ - dW$,

E) $Q = dU + W$

R : C, D

13. Donnez la définition du kilogramme :

A. Le kilogramme est la longueur égale à 1 650 763,73 longueurs d'onde dans le vide du rayonnement correspondant à la transition entre les niveaux d'énergie 2p10 et 5d5 de l'atome de krypton 86.

B. Le kilogramme est la masse du prototype international. Le terme de poids désigne la même grandeur qu'une force $G = mg$, où g est l'accélération gravitationnelle ; $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$

C. Le kilogramme est défini par la fixation de la valeur de la constante de Planck h à la valeur exacte de $6,62607015 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, ($J = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$), compte tenu des définitions du mètre et de la seconde. La formule devient ainsi $\text{kg} = h / (6,62607015 \times 10^{-34} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$.

D. L'ampère est l'intensité d'un courant électrique qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles rectilignes de longueur infinie et de section circulaire négligeable, placés dans le vide à une distance de 1 m l'un de l'autre, produira entre ces conducteurs une force de 1 N sur une longueur de 1 m.

E. Un kilogramme est la fraction 1/273,16 de la température thermodynamique du point triple de l'eau.

R : B,C

14. Si plusieurs forces agissent simultanément sur un corps, alors :

A. chaque force NE lui imprime PAS sa propre accélération ;

B. les actions des forces s'annulent mutuellement ;

C. l'accélération résultante est la somme vectorielle des accélérations individuelles ;

D. les réponses A et C NE sont PAS correctes ;

E. aucune réponse n'est correcte.

R : B, C

15. L'énergie cinétique est :

- A. une grandeur d'état ;
- B. une grandeur qui se conserve pour tout système fermé ;
- C. une grandeur qui se mesure, dans le Système international, en J ;
- D. toutes les réponses sont correctes ;
- E. les réponses A et C sont correctes.

R: A, C, E

16. Parmi les grandeurs physiques suivantes, lesquelles sont vectorielles ?

- A) la chaleur (Q), B) l'impulsion, C) le travail mécanique, D) le moment de force (M), E) la force (F)

R : B, D, E

17. Indiquez l'unité de mesure du travail mécanique :

- a) m, b) m/s, c) J, d) $(\text{kg} \cdot \text{m}^2) / \text{s}^2$, e) s.

R : C; D

18. Parmi les unités de mesure suivantes, lesquelles appartiennent au système CGS ?

- A) mètre, B) kilogramme, C) dyn, D) joule, E) erg,

R : C; E

19. Choisissez l'expression correcte pour définir le levier de premier genre :

- A) Le levier de premier genre a son point d'appui situé entre les points d'application des deux forces
- B) Le levier de premier genre a son point d'appui situé entre le point d'application de la force active et celui de la force réactive
- C) Le levier de premier genre a son point d'appui situé à une extrémité, tandis que l'autre extrémité est le point d'application de la force résistante
- D) La somme vectorielle des moments de la force active et de la force résistante, par rapport au point d'appui, est nulle
- E) Un levier est une barre rigide qui peut pivoter autour d'un point fixe, appelé point d'appui.

R: A, B

20. Parmi les unités de mesure suivantes, lesquelles concernent l'énergie ?

a) J, b) $(\text{kg.m}^2) / \text{s}^2$, c) erg, d) $(\text{g.cm}^2) / \text{s}^2$, e) °C.

R : A ; B, C, D.

21. Parmi les grandeurs physiques suivantes, lesquelles sont vectorielles ?

a) la densité ; b) l'intensité du courant électrique ; c) l'impulsion ; d) le moment de force ; e) l'angle solide

R : C, D.

22. Parmi les grandeurs physiques suivantes, lesquelles sont scalaires ?

A) la densité ; B) l'accélération ; C) la viscosité ; D) la force ; E) la température

R : A, C, E

23. Écrivez la formule du travail mécanique et expliquez les éléments qui la composent :

A) $W_{12} = \int_{x_1}^{x_2} F dx$ où W représente le travail mécanique, F la force appliquée, et x_1 et x_2 les positions initiale et finale où la force est appliquée.

B) $W_{12} = \int_{x_1}^{x_2} F dx = \int_{x_1}^{x_2} -kx dx = -\frac{k}{2}(x_2^2 - x_1^2)$ où W représente le travail mécanique, F la force appliquée, et x_1 et x_2 les positions initiale et finale où la force est appliquée

C) $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$ où L est le travail mécanique, r le vecteur de position et p l'impulsion.

D) $W_{12} = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{F} \cdot d\vec{r} = \vec{F} \cdot (\vec{r}_2 - \vec{r}_1)$ et x_1 et x_2 les positions initiale et finale où la force est appliquée.

E) $E_c = \frac{1}{2}mv^2$, où E_c est l'énergie cinétique, m la masse du corps et v sa vitesse.

R : A, B, D.

24. Parmi les grandeurs physiques suivantes, lesquelles sont des grandeurs d'état ?

A) la chaleur, B) le travail mécanique, C) l'énergie interne, D) la distance, E) la quantité de mouvement.

R : A, C

25. Le rapport entre la température exprimée en degrés Kelvin et celle exprimée en degrés Celsius est :

- A) $\theta_{Fahrenheit} = \frac{9}{5}\theta_{celsius} + 32$, B) $\theta_{celsius} = \theta_{Kelvin} - 273,16$, C) $\theta_{celsius} = \frac{5}{9}(\theta_{Fahrenheit} - 32)$;
 D) $\theta_{Kelvin} = \theta_{celsius} + 273,16$; E) $\theta_{Kelvin} = \frac{5}{9}(\theta_{Fahrenheit} - 32) + 273,16$

R: B, C

26. Écrivez la formule de la vitesse

- A) $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$, B) $T.V^\gamma = \text{const}$, C) $t.v^{\gamma+5} = \text{const.}$, D) $pV = n.R.T$, E) $\vec{v} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k}$

R: A, E

27. Quel est le rôle biologique de l'eau :

- A) Elle constitue le solvant universel de la matière vivante intra- et extracellulaire
 B) Elle régule la pression osmotique des trois compartiments hydriques par les mécanismes suivants : elle diffuse à travers les membranes biologiques qui délimitent les espaces hydriques, elle est éliminée ou retenue dans l'organisme en fonction des besoins, le volume hydrique peut être reconstitué par l'ingestion d'eau.
 C) L'eau constitue le milieu dans lequel se déroulent les multiples réactions chimiques et biochimiques de l'organisme (hydrolyse, oxydations, participation aux réactions enzymatiques par l'intermédiaire des ions hydrogène)
 D) Elle ne participe pas au maintien constant de la température de l'organisme (rôle de thermorégulation)
 E) Elle ne participe pas à l'élimination des déchets de l'organisme par voie rénale

R: A, B, C

11.REFERENCE

1. ***, *Compendiu de fizica, Ed.Stiintifica si Enciclopedica, Bucuresti , 1988.*
2. Abdou AM, et al. Relaxation and immunity enhancement effects of GABA. *Biofactors*. 2006;26(3):201–208.
3. Adeghate E, Ponery AS. GABA in the endocrine pancreas. *Diabetes Res Clin Pract*. 2002;55(1):1–9.
4. Albuquerque EX, et al. Mammalian nicotinic receptors. *Physiol Rev*. 2009;89:73–120.
5. Al-maamari A, et al. Histamine-induced mechanisms. *Allergy Immunol*. 2025.
6. Barbulescu M., *Elemente de Fizica Generala*, EDP, Bucuresti, 1962.
7. Barca – Galateanu D., Titeica R., Maumescu M., Septilici R., *Fizica, Ed.a-II-a, , vol.II, EDP, Bucuresti , 1971*
8. Belujon P, Grace AA. Dopamine system dysregulation in major depressive disorders. *Int J Neuropsychopharmacol*. 2022;25(5):373–386.
9. Ben-Ari Y, Gaiarsa JL, Tyzio R, Khazipov R (1 octombrie 2007). „GABA: un trasițător pionier ce excită neuroni imaturi și generează oscilații primitive”. *Physiol. Rev.* 87 (4): 1215–1284. doi:10.1152/physrev.00017.2006..
10. Benes, F. M. Carlsson et la découverte de la dopamine. *Trends in Pharmacological Sciences*, Volume 22, article 1, 1 Janvier 2001 Pages 46-47
11. Caprita Rodica, *Biofizica*, Ed.Mirton, Timisoara, 2000.
12. Changeux JP. Nicotinic acetylcholine receptors. *Neuron*. 2018;98(2):357–374.
13. Changeux JP. Nicotinic receptors and brain plasticity. *Neuron*. 2010;67(4):546–558.
14. Cretu I.Traian, *Fizica – Curs universitar , Ed. Tehnica, Bucuresti , 1996*
15. Dragomirescu E., Enache L., *Biofizica*, EDP, Bucuresti, 1993.
16. Dylan C. Sieck, Sydney H. Kobak, Emily A. Larson, Hans C. Dreyer, Matthew J. Fogarty, Gary C. Sieck, Christopher T. Minson, and John R. Halliwill, Histamine is a molecular transducer of adaptation to endurance exercise training in humans, *Journal of Applied Physiology* 2025 138:6, 1398-1410 10.1152/japplphysiol.00687.2024
17. Eddleston M, Buckley NA, Eyer P, Dawson AH. Management of acute organophosphorus pesticide poisoning. *Lancet*. 2008;371(9612):597–607.
18. Eddleston M, et al. Organophosphorus poisoning. *Lancet*. 2008;371:597–607.
19. Eniu Daniela, *Curs de Biofizica*, UMF Cluj, 2013
20. Erdö SL, Wolff JR (1990). „gamma-Aminobutyric acid outside the mammalian brain”. *J. Neurochem*. 54 (2): 363–372. doi:10.1111/j.1471-4159.1990.tb01882.x.
21. Fahn, Stanley, "L'Histoire de la lévodopa en ce qui a trait à la maladie de Parkinson," 10e Congrès international de la Société de troubles du mouvement des maladies et des mouvements de troubles du Parkinson 1 Novembre 2006, à Kyoto, au Japon.
22. Fonnum F. Choline acetyltransferase: a review. *J Neurochem*. 1975;24(2):407–409.
23. Ford CP. The role of D2-autoreceptors in regulating dopamine neuron activity and transmission. *Neuroscience*. 2021;454:64–74.
24. Ganea Constanta , *Curs de Biofizica pentru studentii de la Medicina Generala, Universitatea Carol Davila Bucuresti*, 2010-2011.
25. Gilhus NE. Myasthenia gravis. *N Engl J Med*. 2016;375:2570–2581.
26. Hall JE. *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*. 14th ed. Philadelphia: Elsevier; 2021.
27. Hasselmo ME. Role of acetylcholine in learning. *Curr Opin Neurobiol*. 2006;16:710–715.
28. Hasselmo ME. The role of acetylcholine in learning and memory. *Curr Opin Neurobiol*. 2006;16(6):710–715.
29. <http://web.williams.edu/imput/synapse/pages/IA3.html>
30. <http://www.neurosci.pharm.utoledo.edu/MBC3320/acetylcholine.htm>
<https://doi.org/10.1016/j.jaci.2024.12.1081>.(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0091674924024151>)

31. Jochum F. Histamine intolerance review. 2025.
32. Katzung BG. *Basic & Clinical Pharmacology*. 14th ed. New York: McGraw-Hill; 2018.
33. Klein MO, Battagello DS, Cardoso AR, Hauser DN, Bittencourt JC, Correa RG. Dopamine: Functions, signaling, and association with neurological diseases. *Cell Mol Neurobiol*. 2021;41(1):31–59.
34. Kong L, Olze H, Szczepek AJ. Histamine H3 Receptor Antagonists Influence the Directional Growth of Type II Spiral Ganglion Neurites Within the Developing Cochlea of C57BL/6 Mice. *Neurochem Res*. 2025 Aug 13;50(4):266. doi: 10.1007/s11064-025-04521-9. PMID: 40801998; PMCID: PMC12350512.
35. Koob GF, Volkow ND. Neurobiology of addiction: a neurocircuitry analysis. *Lancet Psychiatry*. 2021;8(1):70–82.
36. Kwakowsky, A.; Schwirtlich, M.; Zhang, Q.; Eisenstat, D.; Erdélyi, F.; Baranyi, M.; Katarova, Z.; Szabó, G. (2007).. "GAD isoforms exhibit distinct spatiotemporal expression patterns in the developing mouse lens: correlation with Dlx2 and Dlx5".. 236. 3532–3544.. doi:10.1002/dvdy.21361.
37. Lane RM, et al. Cholinesterase inhibitors. *Int J Neuropsychopharmacol*. 2006;9:101–124.
38. Lane RM, Potkin SG, Enz A. Targeting acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase in dementia. *Int J Neuropsychopharmacol*. 2006;9(1):101–124.
39. Laue Max von, Istoria fizicii, Editura Stiintifica Bucuresti, 1963
40. Li K, Xu E (June 2008).. „Rolul și mecanismul acidului gamma-aminobutyric pe durata dezvoltării sistemului nervous central".". *Neurosci Bull* 24 (3): 195–200.. doi:10.1007/s12264-008-0109-3..
41. McCutcheon RA, Abi-Dargham A, Howes OD. Schizophrenia, dopamine and the striatum: from biology to symptoms. *Trends Neurosci*. 2020;43(3):205–220.
42. Mesulam MM. The cholinergic innervation of the human cerebral cortex. *Prog Brain Res*. 2004;145:67–78.
43. Montag C, Hegelich S. Understanding dopamine and digital behavior: implications for addiction. *Addict Behav Rep*. 2021;14:100395
44. Motoc C., Fizica- Bazele Fizicii clasice, Ed. All. Bucuresti, 1994
45. Nagy Iosif.I., Curs de biofizica , Colegiul de Tehnica dentara, Eurobit, 1995.
46. Nagy Iosif.I., Curs de Biofizica Medicala, Ed. EUROBIT, Timisoara, 2001
47. Neagu Adrian, Neagu Monica, Curs de Biofizica pentru Facultatea de Medicina Dentara, Ed.EUROBIT, 2007.
48. Nemeroff CB. The role of GABA in anxiety disorders. *J Clin Psychiatry*. 2003;64 Suppl 3:13–17.
49. Nicolov Mirela, Fizica – Teorie si Aplicatii, Ed.UAV, 2006
50. Nicolov Mirela, Fizica pentru ingineri, Ed.UAV, 2009
51. Nicolov Mirela, Fizica și Biofizica, Ed.UAV, 2001
52. Okuda T, et al. High-affinity choline transporter. *Nat Neurosci*. 2000;3:120–125.
53. Patel RH, et al. Biochemistry, Histamine. StatPearls. 2023. Patel RH, Rahimi N. Biochemistry, Histamine. [Updated 2026 Jan 10]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan-. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557790/?utm_source=chatgpt.com
54. Payne, Anita H.; Matthew H. Hardy (2007). The Leydig cell in health and disease. Humana Press. ISBN 1588297543, ISBN 978-1-58829-754-9
55. Picciotto MR, et al. Acetylcholine in attention. *Neuron*. 2012;76:116–129.
56. Pisani A, et al. Striatal cholinergic dysfunction. *Nat Rev Neurosci*. 2007;8:383–393.
57. Poewe W, Seppi K, Tanner CM, et al. Parkinson disease. *Nat Rev Dis Primers*. 2021;7(1):52.
58. Popp A, Urbach A, Witte OW, Frahm C (2009). Reh, Thomas A.. ed. „Adult and embryonic GAD transcripts are spatiotemporally regulated during postnatal development in the rat brain”. PLoS ONE 4 (2): e4371. doi:10.1371/journal.pone.0004371.
59. Prado VF, et al. Vesicular acetylcholine transporter. *J Neurochem*. 2013;126(2):249–262.
60. Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, et al. *Neuroscience*. 6th ed. Oxford: Oxford University Press; 2018.
61. Roberts E. GABA and the blood-brain barrier. *Neurochem Res*. 1974;1(3):303–316.
62. Sahleanu Victor, Biofizica, Ed.Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1956.
63. Saper CB, Fuller PM. Wake–sleep circuitry. *Neuron*. 2017;93(4):747–765.

64. Schirmer, B., & Neumann, D. (2021). The Function of the Histamine H4 Receptor in Inflammatory and Inflammation-Associated Diseases of the Gut. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(11), 6116. <https://doi.org/10.3390/ijms22116116>
65. Schultz W. Dopamine reward prediction-error signalling: a two-component response. *Nat Rev Neurosci*. 2023;24(3):173–186.
66. Seldeslachts, A., Peigneur, S., & Tytgat, J. (2023). Histamine Receptors: Ex Vivo Functional Studies Enabling the Discovery of Hits and Pathways. *Membranes*, 13(12), 897. <https://doi.org/10.3390/membranes13120897>
67. Sieghart W. Structure and pharmacology of γ -aminobutyric acid A receptor subtypes. *Pharmacol Rev*. 1995;47(2):181–234.
68. Sima Heidarzadeh-Asl, Marcus Maurer, Amir Kiani, Dmitrii Atiakshin, Per Stahl Skov, Daniel Elieh-Ali-Komi, Novel insights on the biology and immunologic effects of histamine: A road map for allergists and mast cell biologists, *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, Volume 155, Issue 4, 2025, Pages 1095–1114,
69. Simon Zeno, Note de curs Biofizica, Lito IMT, 1979.
70. Simon Zeno, Rotemberg Floare, Mihalas Gheorghe I., Biofizica, Lito IMT, 1989
71. Stroescu Valentin, Farmacologie, Ed ALL 1999
72. Südhof TC. Neurotransmitter release. *Annu Rev Neurosci*. 2004;27:509–547.
73. Taylor P, Radić Z. The cholinesterases. *Annu Rev Pharmacol Toxicol*. 1994;34:281–320.
74. Tracey KJ. The inflammatory reflex. *Nature*. 2002;420:853–859.
75. Treiman DM. GABAergic mechanisms in epilepsy. *Epilepsia*. 2001;42 Suppl 3:8–12.
76. Wess J. Muscarinic acetylcholine receptor knockout mice: novel phenotypes and clinical implications. *Annu Rev Pharmacol Toxicol*. 2004;44:423–450.
77. Wess J. Muscarinic receptors. *Annu Rev Pharmacol Toxicol*. 2004;44:423–450.
78. Xiang, Y.; Wang, S.; Liu, M.; Hirota, J.; Li, J.; Ju, W.; Fan, Y.; Kelly, M. et al. (2007).. „A GABAergic system in airway epithelium is essential for mucus overproduction in asthma".". *Nature medicine* 13: 862–867.. doi:10.1038/nm1604.
79. Yamatsu A, et al. Effects of GABA on sleep. *J Clin Neurol*. 2016;12(4):429–435.
80. Zhang, X., Liu, G., Zhong, YN. et al. Structural basis of ligand recognition and activation of the histamine receptor family. *Nat Commun* 15, 8296 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-52585-y>