Chap. III: Composition chimique de la cellule

I. Introduction
II. Constituants chimiques inorganiques
1. Eau
2. Ions inorganiques
III. Constituants chimiques organiques
1. Glucides
2. Lipides
3. Protéines
4. Nucléotides (Acides nucléiques)

I. Introduction

Pour comprendre le vivant sur le plan composition, une comparaison est faite entre la composition chimique entre la biosphère, la cellule animale et la cellule végétale (Tableau 1).

Biosphère (%)			Cellules animales (%)		Cellules végétales (%)	
O	(8)	50,0	O	62,8	O	77,9
Si	(14)	25,8	C	19,4	C	11,3
Al	(13)	7,3	H	9,3	H	8,7
Fe	(26)	4,2	N	5,1	N	0,8
Ca	(20)	3,2				
Na	(11)	2,3	Ca	1,38	P	0,70
K	(19)	2,3	S	0,64	Ca	0,58
Mg	(12)	2,1	P	0,63	K	0,22
H	(1)	0,9	Na	0,26	S	0,10
			K	0,22	Mg	0,08
Ti	(22)	0,43	Cl	0,18	Cl	0,07
Cl	(17)	0,20	Mg	0,04	Na	0,03
C	(6)	0,18				
P	(15)	0,11	F	0,009	Si	0,0093
S	(16)	0,11	Fe	0,005	Fe	0,0027
F	(9)	0,10	Si	0,004	Al	0,0025
Ba	(56)	0,08	Zn*	0,002	B*	0,0007
Mn	(25)	0,08	Al	0,001	Mn	0,0003
N	(7)	0,03	Cu*	0,0004	Zn	0,0003
Se	(34)	0,02	Se	0,0002	Cu	0,0002
			Br*	0,0002	Ti	0,0001
divers		0,47	Mn	0,0001		
			I	0,0001	divers	0,0001
			divers	0,0002		

(–) : n° atomique (*) Zn (30), Cu (29), Br (35), B (5)

Tableau 1.1

Composition pondérale élémentaire comparée entre la biosphère et deux types d'organismes : animal (corps humain) et végétal (pied de luzerne)

Trois groupes d'atomes, respectivement abondants, peu abondants et rares peuvent être distingués chez les êtres vivants ; quatre éléments : C, H, O, N, rendent compte de plus de 96 % de la masse de ces derniers. L'abondance en O, significativement supérieure chez les Végétaux, tient au degré d'hydratation plus élevé en moyenne chez les cellules végétales, relativement aux cellules animales. (D'après G. Bertrand, 1951).

De la comparaison du monde minéral et les êtres vivants ressort que:

Biosphère (%)		*Cellules Animale & Végétale (%)*
0,2	C	10 - 20
0,9	H	9
50	O	60 - 80
0,03	N	1 - 5

Les êtres vivants manifestent des propriétés étonnantes: réactions, croissance, reproduction, déplacement….
Les atomes sont les mêmes, ils engendrent des molécules qui demeurent inanimées.

Au niveau cellulaire, le vivant peut être étudié chimiquement et expliquer ses caractéristiques.
La cellule est le siège de nombreuses réactions biochimiques. Comprendre la structure et le fonctionnement cellulaire revient à connaître les différentes molécules qui coopèrent pour assurer les nombreuses activités de la cellule et créer les diverses structures cellulaires.
Les constituants chimiques sont subdivisés en deux groupes:

- **Inorganiques**: l'eau et les ions minéraux.
- **Organiques**: Protéines, acides nucléiques, sucres et lipides.

Le protoplasme de la cellule végétale et animale contient:

- 75 à 85 % d'eau,
- 10 à 20 % de protéines,
- 1 à 2 % d'acides nucléiques,
- 0,2 à 2 % de glucides,
- 1 à 5 % de lipides,
- 1 à 1,5 % de substances inorganiques.

La compréhension de la structure et du fonctionnement cellulaire nécessite la connaissance des différentes molécules qui coopèrent pour assurer les nombreuses activités de la cellule et créer les diverses structures cellulaires
Ex: E. coli contient 5.000 à 6.000 molécules organiques différentes; les cellules eucaryotes, 10.000 dans certaines cellules). La cellule eucaryote renferme globalement 1000 fois plus de molécules d'eau, de sucre, de lipides, de protéines et de minéraux.

Les biomolécules et leur hiérarchie

Ce tableau présente la composition moyenne des cellules vivantes

Composants	Pourcentage de la masse totale
Eau	70%
Protéines	18%
Lipides	5%
ADN	0,25%
ARN	1,1%
Polyosides	2%
Molécules simples (acides aminés, acides gras, glucose)	3%
Ions minéraux	1%

Le développement et le fonctionnement d'un être vivant nécessitent la biosynthèse de quelques milliers à quelques dizaines de milliers de molécules spécifiques codées par l'ADN.

L'isolement des particules subcellulaires et la détermination de leur composition chimique a permis de subdiviser ces constituants en deux groupes:

- Inorganiques: l'eau et les ions minéraux.
- Organiques: Protéines, acides nucléiques, sucres et lipides.

II. Constituants chimiques inorganiques

1. Eau

L'eau tient la première place parmi les substances de la cellule et sa quantité varie avec l'âge d'un être vivant. Le rôle de l'eau est multiple:

* milieu de dispersion pour le système colloïdal du protoplasme et de l'activité métabolique :

- *Soit par addition d'eau*: catalyse enzymatique (hydrolyse). Ex: saccharose en fructose et glucose.

- *Soit par retrait de l'eau* et lien des molécules par une liaison covalente: réaction de déshydratation-condensation. Ex: Formation de liaison peptidique.

* Intervention dans la stabilité des macromolécules (ADN) grâce aux liaisons hydrogènes.

* L'eau est un solvant naturel aux ions minéraux et à d'autres substances organiques solubles et est responsable du potentiel hydrique des systèmes biologiques par dissociation en H^+ et OH^- □ pH physiologique de 7 qui peut changer dans certaines conditions.

2. Ions inorganiques

Les atomes et les ions peuvent engager la formation des liaisons.
L'arrangement des électrons autours du noyau détermine l'habilité de l'atome à former des liaisons.
Les électrons non couplés peuvent être partagé, transférer à un autre atome avec un électron non couplé, ou mis en paire par l'acquisition d'un électron non couplé d'un autre atome.

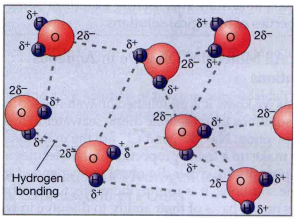
- Les sels en solution sont dissociés en anions (Cl^-,...) et en cations (Na^+, K^+,...), et sont importants pour le maintien de la pression osmotique et de l'équilibre acido/basique de la cellule.
- Les sels peuvent exister sous forme solide (carbonates de Ca des os).
- Certains ions sont des cofacteurs de l'activité enzymatique.
- Le principal anion est le phosphate (présence dans le sang, liquide tissulaire, phospholipides, nucléotides et phosphoprotéines).

Ex: * $H_2PO_4^-$ et HPO_4^{2-}: Systèmes tampon, stabilise le pH sanguin et tissulaire.

* K^+ est indispensable au métabolisme cellulaire durant les synthèses protéiques.

* Na^+ dans la pompe K^+/Na^+ et nécessite la présence de Mg^{2+}, intervient aussi dans les cellules nerveuses et musculaires.

Les molécules peuvent établir différentes entre elles différentes liaisons:
Liaisons Covalentes: Liaisons fortes résultant du couplage de paire d'électrons partagés (un électron de l'un et un deuxième de l'autre). Nécessite de l'énergie pour briser la liaison.
Liaisons Ioniques: La liaison se forme quand un atome arrache complètement un électron d'un autre atome.
Liaisons hydrogènes: Se sont des forces d'attraction faible entre les atomes d'hydrogène d'une part et autres atomes tels que l'oxygène, l'azote ou le fluore d'autre part.



Van der Waals forces: Forces d'attraction très faibles entre les noyaux des atomes et les électrons des atomes environnants.

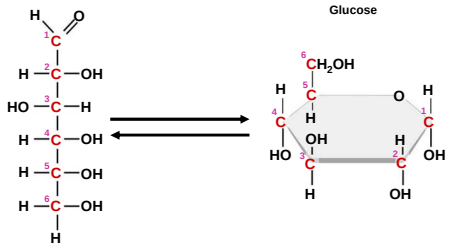
II. Les constituants chimiques organiques.

1. Les glucides ou sucres

Ce sont des hydrates de carbone, d'origine surtout végétale et constituent une source d'énergie chimique pour les cellules animales et végétales mais peuvent être des constituants des parois cellulaires.

Ils ont la formule basique de: (CH2O)n ou CnH2nOn. Par exemple, glucose est C6H12O6 qui est le plus important des “carbohydrates”.

Structure de la molécule du glucose



Les glucides résultent de l'association (Aldéhyde ou cétone + fonctions alcools primaire ou secondaire). Ils ont les caractéristiques suivantes:

- *Souvent* des HEXOSES et Pentoses cycliques, parfois structures linéaires
- Macromolécules: polyoses, polyosides ou polysaccharides
- Molécules de base: oses
- *Diversité* des liaisons, linéaire ou branchée
- Stéréo-isomérie
- Fonctions cellulaires: énergie métabolique (Glucose, amidon, glycogène), molécules de l’identité cellulaire (reconnaissance, adhésion, tissu), structurale (cellulose)

Il existe plusieurs classes:

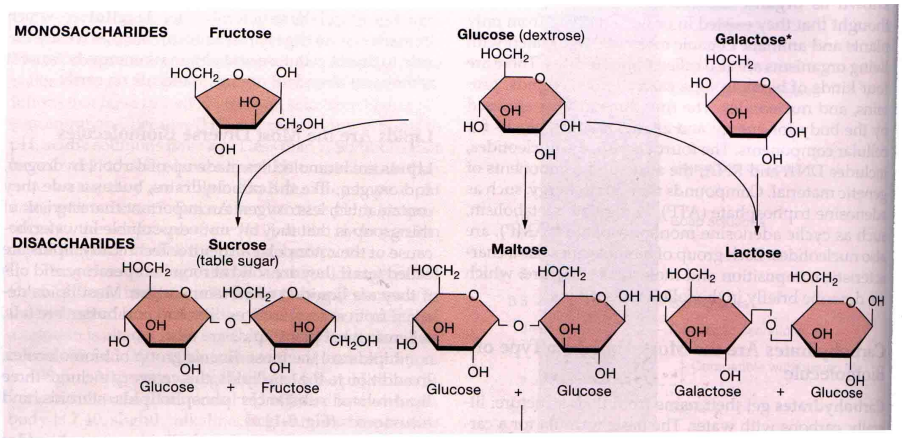
- **Monosaccharides** et **disaccharides**: solubles dans l'eau, cristallisent et passent facilement à travers les membranes cellulaires
- **Polysaccharides** ne cristallisent pas et ne passent pas à travers les membranes.

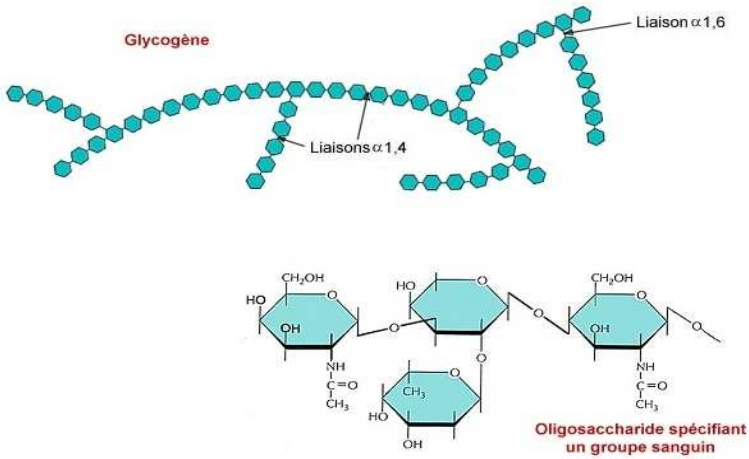
Monosaccharides: un sucre pentose (ribose et désoxyribose); hexoses (glucose, principale source d'énergie).

Disaccharides: deux sucres, saccharose (glucose + fructose) et maltose (2 glucoses) chez les végétaux; lactose (galactose + glucose) chez les animaux.

Polysaccharides: Quand plusieurs molécules de glucose se complexent ensemble

- Cellulose (substance de structure de la cellule végétale)
- Amidon (substance de réserves végétale)
- Glycogène (substance de réserve animale)





Monosaccharides, oligosaccharides et polysaccharides

D'après B. Alberts et al., 1994

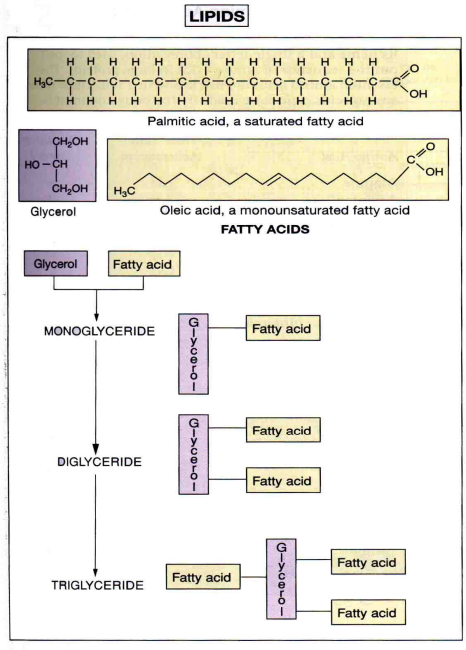
2. Les lipides

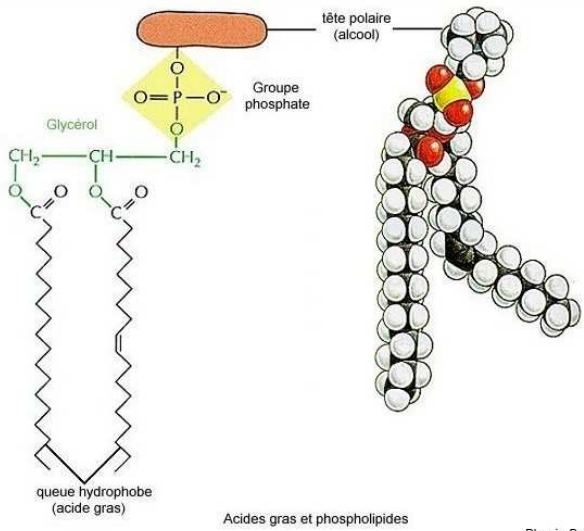
Les lipides sont des hydrophobes de carbone, insoluble dans les solutions aqueuses, mais sont solubles dans les solvants de graisse (éther, acétone). Ceci est causé par la prédominance de longues chaînes hydrocarbonées aliphatiques. Ils sont composés de carbone, hydrogène et oxygène comme les carbohydrates mais le nombre d'atome d'oxygène est moins important.

Les lipides sont pourvus de 2 pôles: hydrophile et hydrophobe, mais c'est le pôle hydrophobe qui domine. Ils sont classés en lipides simples et complexes:

* Lipides simples: esters alcooliques des acides gras, comme les triglycérides, qui sont des graisses neutres qu'on trouve dans les tissus adipeux.

* Lipides complexes: Ex. les phospholipides ou glycérolipides des membranes cellulaires. Dans les phospholipides, le glycérol est lié à 2 chaînes d'acides gras, le site restant est lié à une molécule d'acide phosphorique elle même combinée à un composé hydrophile (éthanolamine, choline et la serine). Les phospholipides assurent la base de l'architecture membranaire. Ils peuvent s'organiser en micelle ou feuillet bimoléculaire.

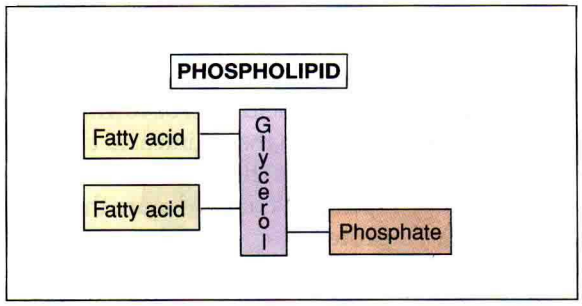




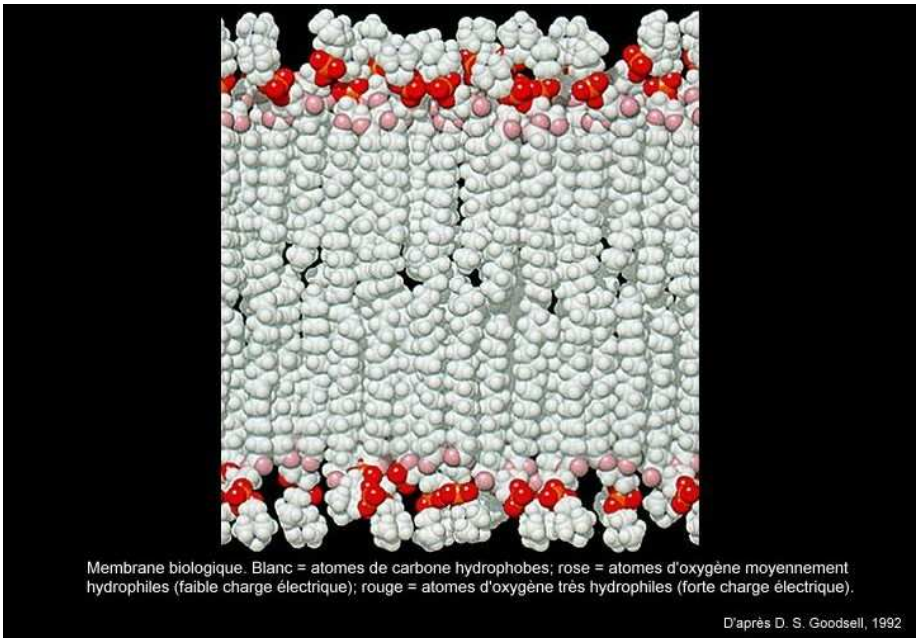
Acides gras et phospholipides

D'après B. Alberts et al., 1994

Les acides gras saturés ou insaturés courants en C16, C18
Les triglycérides (le beurre) sont des ester d'acides gras et du glycérol, ils ont une fonction de réserve énergétique.
Les phospholipides (Phosphatidylcholine) sont deseEsters d'acides gras et du glycérol (Phosphatidyl-X), ils ont une fonction structurale (membrane).



Les stéroïdes (cholestérol) ont une fonction structurale et hormonale
Les lipides ont tous la propriété d'auto-assemblage sous forme de micelle grâce à leur Amphiphilie.



3. Les protéines

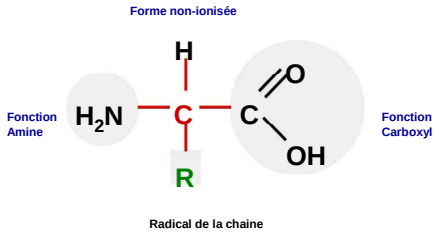
Ce sont des composés indispensables des cellules vivantes:

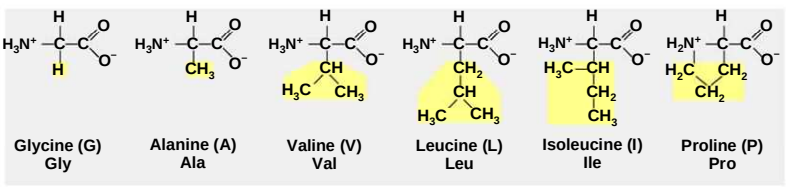
- Les protéines de structure des membranes cellulaires, des capsides virales,
- Rapport immunologique entre les anticorps et antigènes,
- Hormones et enzymes.

Les protéines sont formées à partir des 20 acides aminés reliés par des liaisons peptiques entre le groupement carboxyle d'un acide aminé et la fonction amine du suivant.

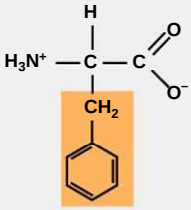
Acide aminé	Abréviation	Symbole
Alanine	Ala	A
Arginine	Arg	R
Asparagine	Asn	N
Asparagine or aspartic acid	Asx	B
Aspartic acid	Asp	D
Cysteine	Cys	C
Glutamic acid	Glu	E
Glutamine	Gln	Q
Glutamine or glutamic acid	Glx	Z
Glycine	Gly	G
*Histidine	His	H
*Isoleucine	Ile	I
*Leucine	Leu	L
*Lysine	Lys	K
*Methionine	Met	M
*Phenylalanine	Phe	F
Proline	Pro	P
Serine	Ser	S
*Threonine	Thr	T
*Tryptophan	Trp	W
Tyrosine	Tyr	Y
*Valine	Val	V

Tous les amino acides ont la même structure générale.

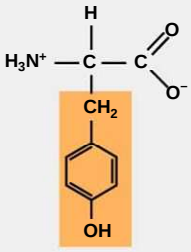




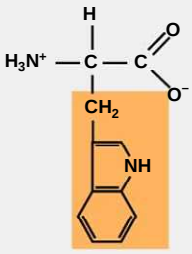
Les radicaux sont composes de carbone et/ou d'hydrogène.
Chaque AA a un radical différent.



Phenylalanine (F)
Phe

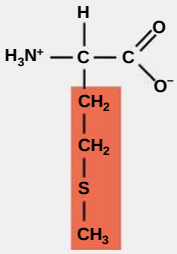


Tyrosine (Y)
Tyr

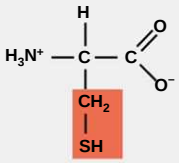


Tryptophan (W)
Trp

Les radicaux peuvent contenir des structures cycliques.

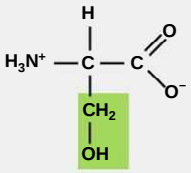


Méthionine (M)
Met

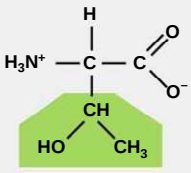


Cystéine (C)
Cys

Les radicaux peuvent contenir du sulfure.

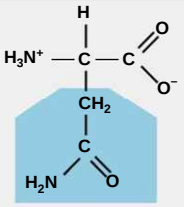


Serine (S)
Ser

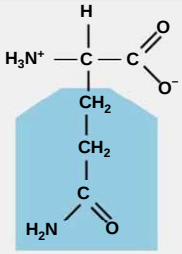


Thréonine (T)
Thr

Les radicaux peuvent contenir des fonctions hydroxyles

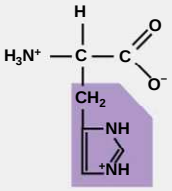


Asparagine (N)
Asn

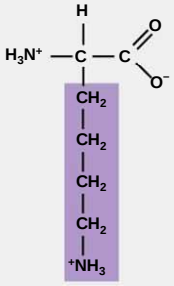


Glutamine (Q)
Gln

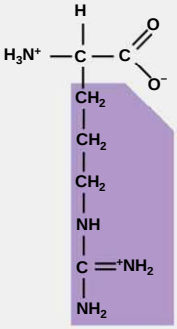
Les radicaux peuvent contenir des fonctions amines.



Histidine (H)
His

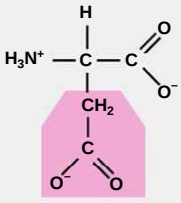


Lysine (K)
Lys

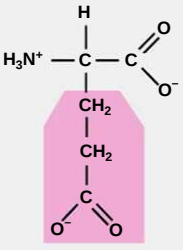


Arginine (R)
Arg

AA a radicaux basiques.



Aspartate (D)
Asp



Glutamate (E)
Glu

AA a radicaux acides.

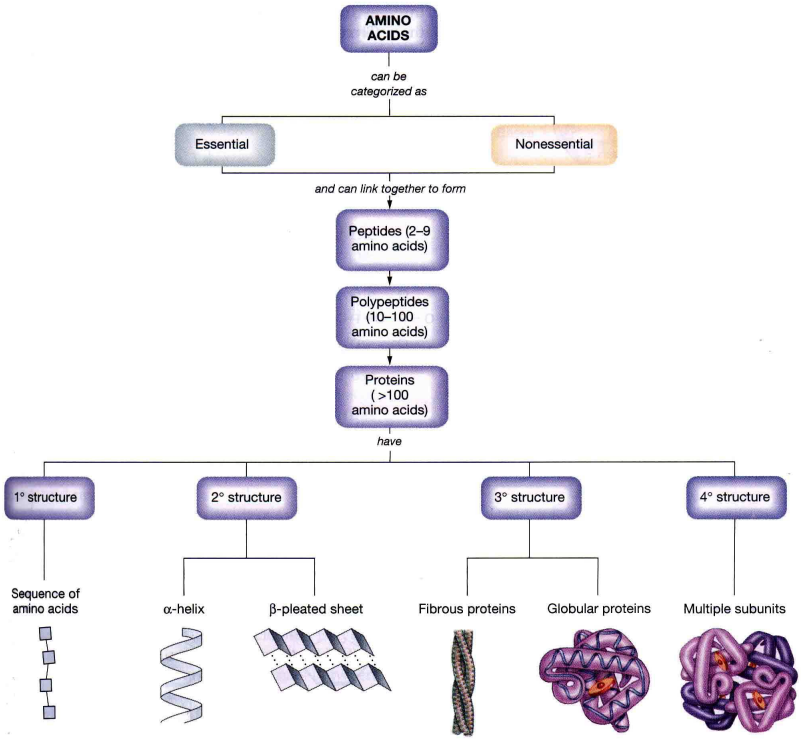
Il existe une panoplie de protéines qui diffèrent par leur structure primaire.
On trouve les protéines seules ou conjuguées (rattachés) à une fonction non protéique (groupement prosthétique : nucléoprotéines, lipoprotéines et chromoprotéines).

Glucides + Protéines = GlycoProtéines (Surface Cellulaire)
Lipides + Protéines = LipoProtéines (Sang)

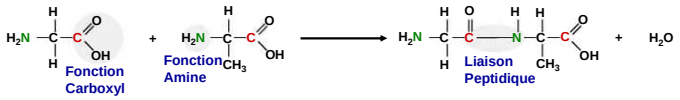
Si l'on classe les protéines sur base de leur structure, on distingue:
Les protéines **fibreuses**: chaînes de polypeptides en parallèles sous forme de rangées (fibres insolubles dans l'eau mais peuvent être solubilisées dans des solutions salines : Kératine, collagène,...).
Les protéines **globulaires**: chaînes de polypeptides se mettant en sphère, solubles dans les solutions aqueuses. Elles occupent une fonction dynamique: enzymes, hormones, et protéines de transport.

Si l'on classe les protéines sur base de leur fonction, on distingue:

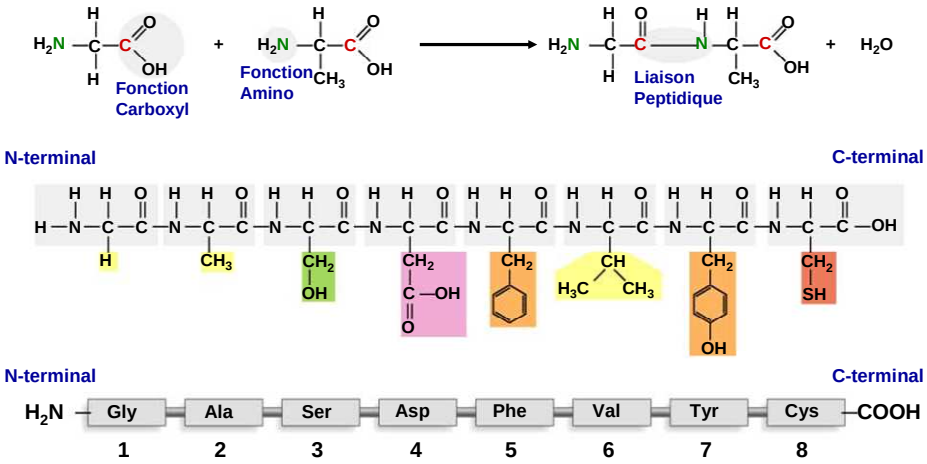
a- Enzyme. Protéine impliquée dans le métabolisme cellulaire
b- Protéines de réserve: albumine des œufs, glutelline du blé.
c- Protéine de transport: hémoglobuline.
d- Protéine structurale: protéines des membranes cellulaires.



Formation et structuration des protéines

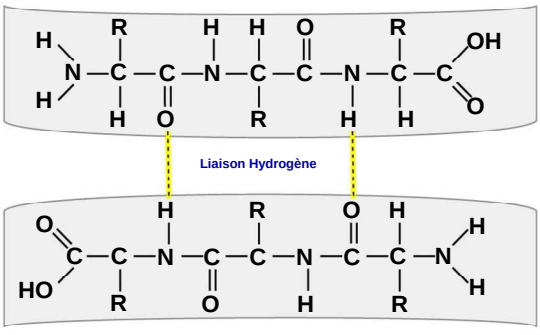


Formation de la liaison peptidique entre deux AA.

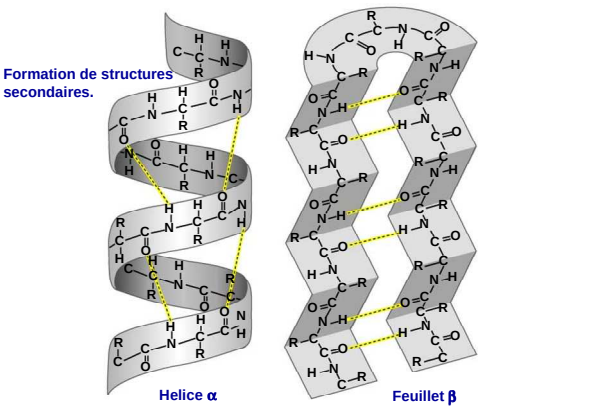


Assemblage des acides aminés lors de la synthèse des protéines

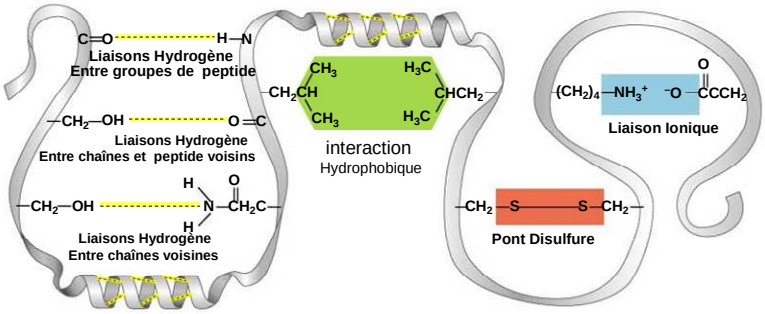
Les protéines peuvent avoir des structures:
Structure Primaire: acides aminés liés par des liaisons peptidiques.
Structure Secondaire: Liaison Hydrogène entre -COOH et -NH2 de parties différentes du même polypeptide formant des hélices alpha et des feuilles/feuillets bêta.



Des liaisons Hydrogènes se forment entre les chaînes des peptides.

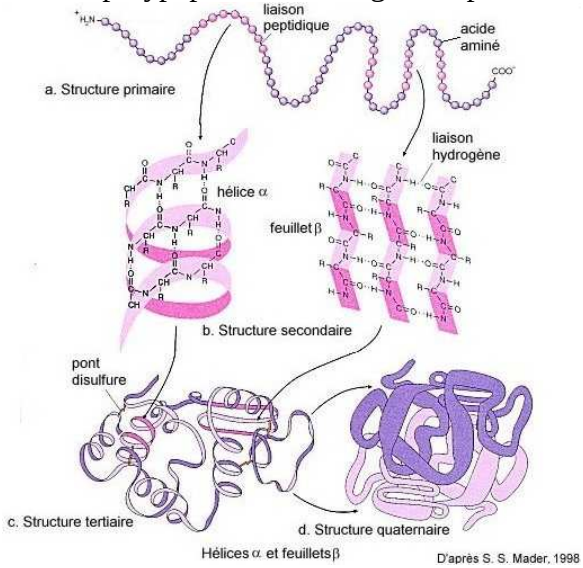


Structure Tertiaire: Résultat de réactions entre les groupes R positionnés dans différentes parties du même polypeptide.

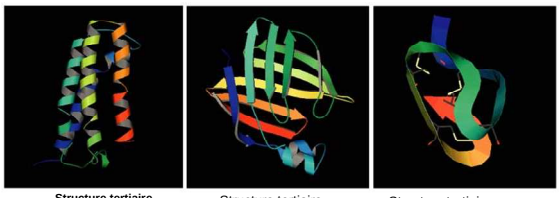


Les interactions qui déterminent la structure tertiaire des Protéines.

Structure Quaternaire: Plusieurs polypeptides s'interagissent pour former une Protéine.



Résumé: structure des protéines

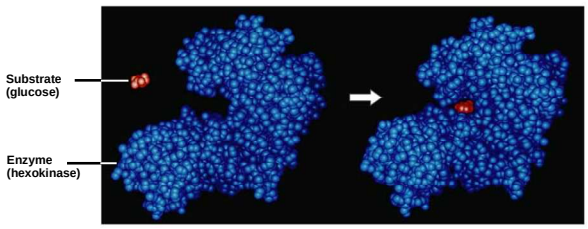


Structure tertiaire composée essentiellement d'hélice α

Structure tertiaire composée essentiellement Feuillet β

Structure tertiaire **Riche en pond disulfure**

Les Structures Tertiaires sont diverses.



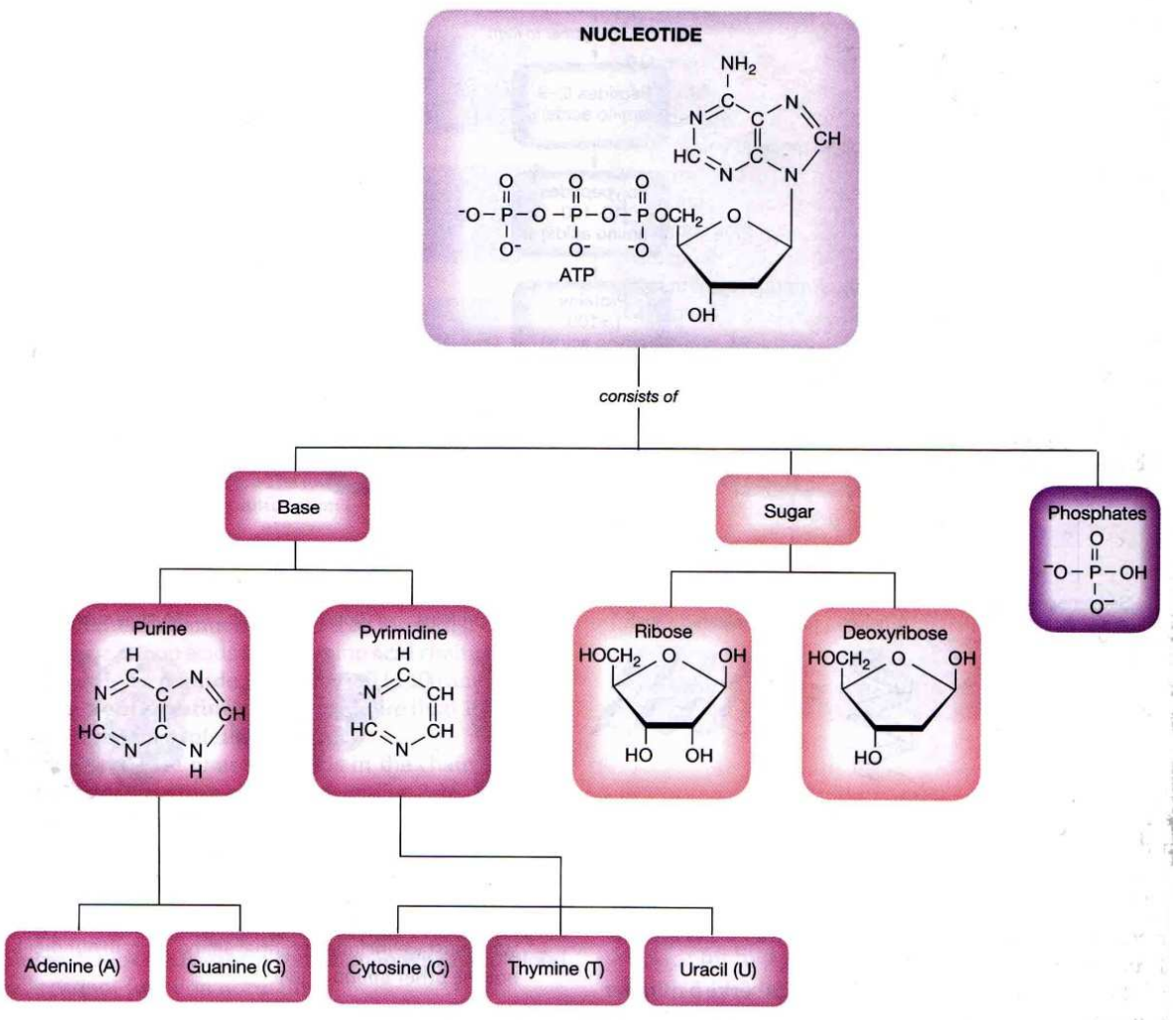
Spécificite entre le substrat et l'enzyme

4. Les acides nucléiques

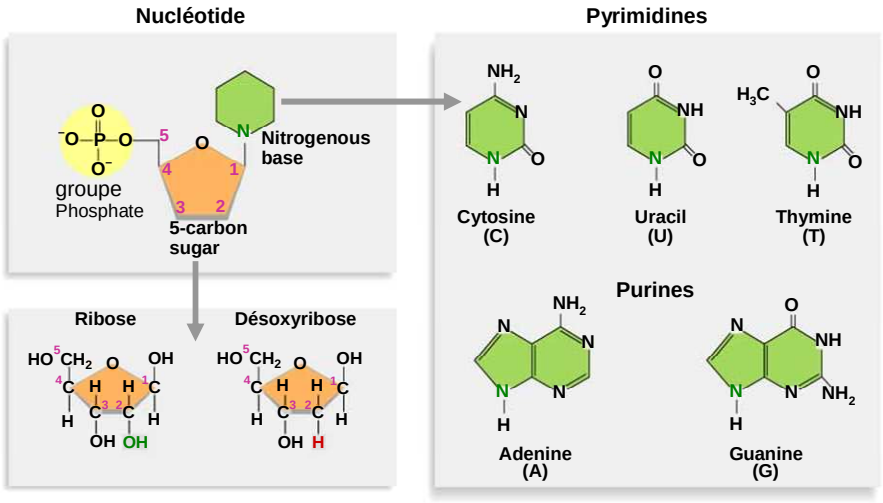
Ils résultent de l'association des nucléotides.

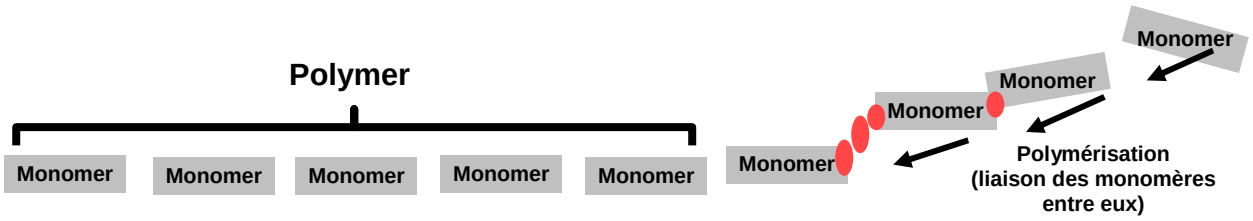
Un nucléotide est formé de composées cycliques à base azotés liés à un glucide à 5 carbones (riboses ou désoxyribose) et à un groupement phosphoré.

Les cycles azotés: cytosine (C), la thymine (T) et l'uracile (U) dérivent du cycle hexagonal, la *pyrimidine*. La guanine (G) et l'adénine (A) dérivent de la *purine*, un composé bicyclique à 9 carbones.



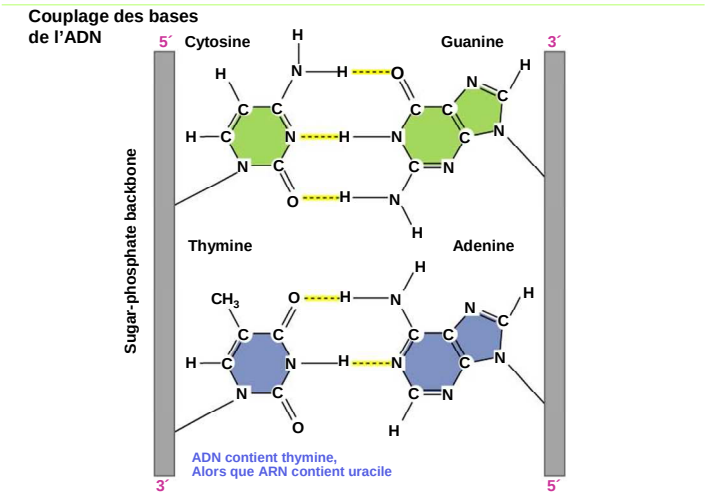
Nucléotide: structure et composition





Formation des acides nucléiques

Les acides nucléiques possèdent:
Structure Primaire: déoxyribonucléotides lies par des liaisons phosphodiesteres.
Structure Secondaire: double hélice formée par des liaisons hydrogènes entre les bases azotées de deux brins d'ADN:
A se lie a T, C se lie a G.
ADN n'a pas d'activité catalytique: il est chimiquement moins réactif que l'ARN.



L'ADN est une double hélice.

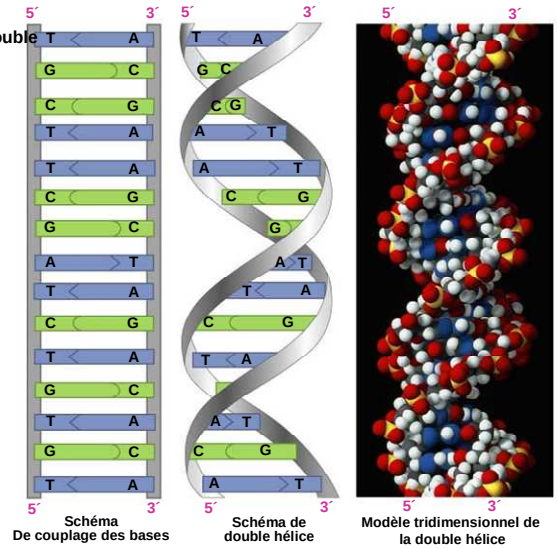
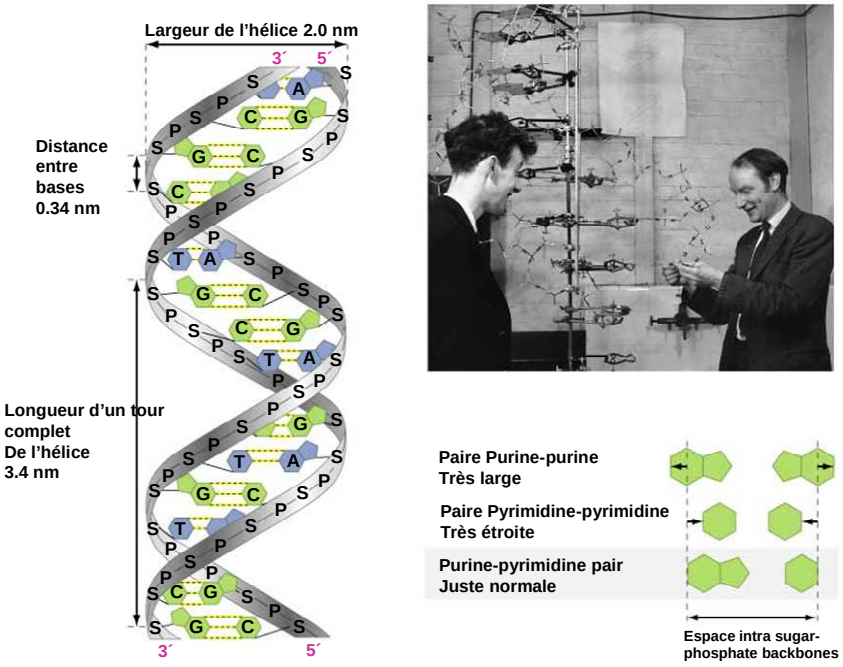
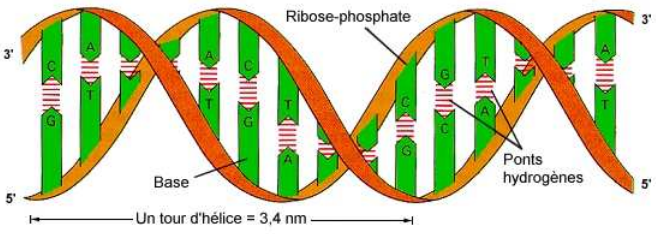


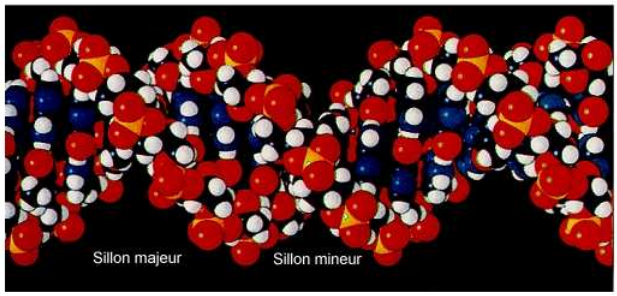
Schéma
De couplage des bases

Schéma de
double hélice

Modèle tridimensionnel de
la double hélice



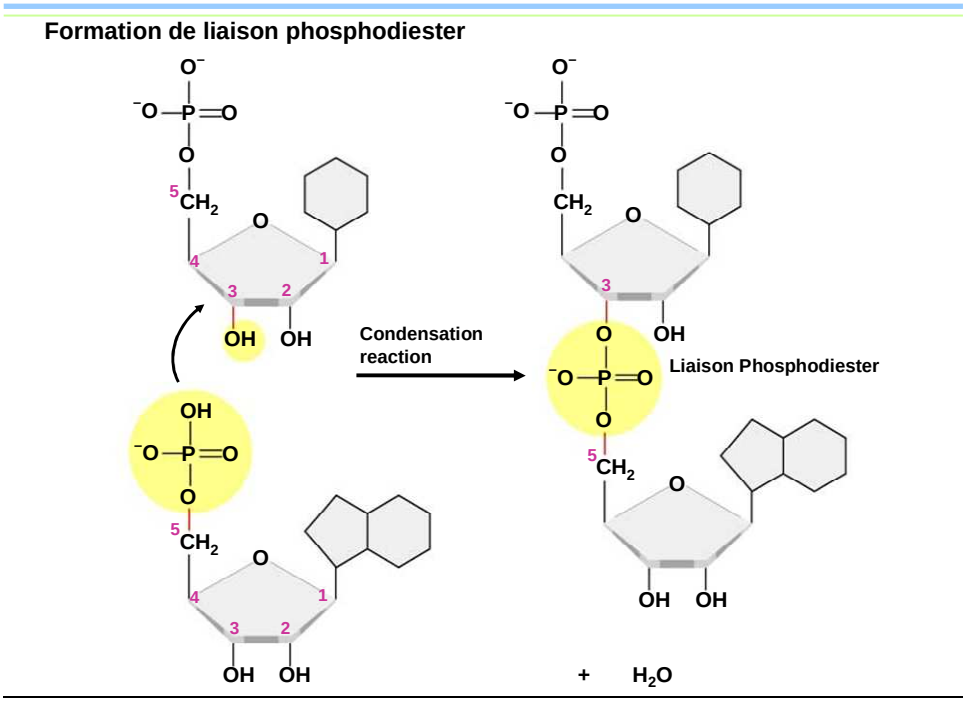


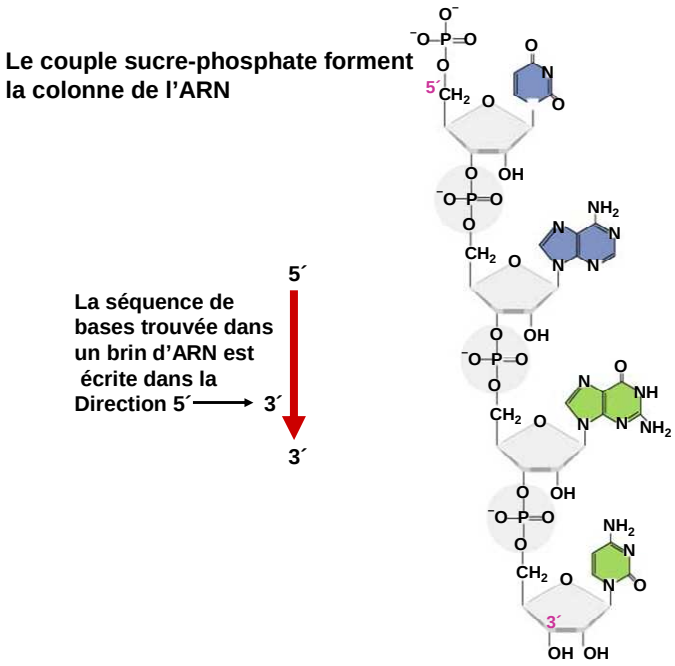


La molécule d'ADN et son sillon majeur: interaction avec les protéines

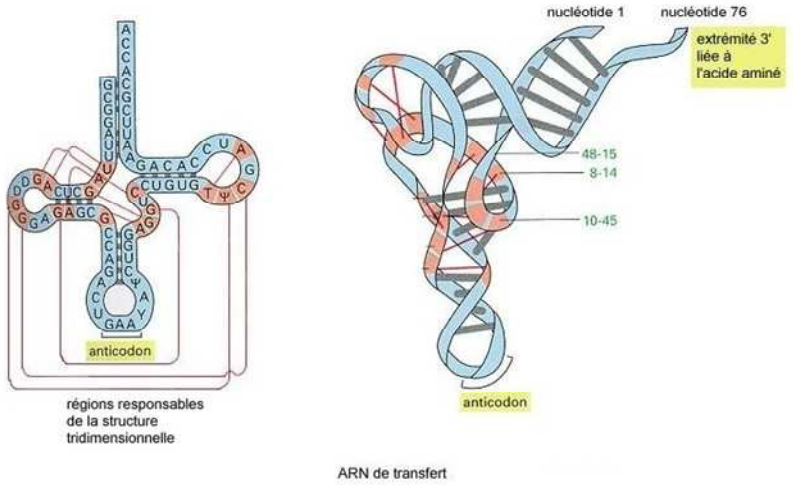
D'après B. Alberts et al., 1994

Les Acides ribonucleotides (ARN):
Structure Primaire: UN seul brin de ribonucléotides liés par des liaisons phosphodiesteres.
Structure Secondaire: Des liaisons hydrogènes peuvent se former a l'intérieur créant des tiges-boucles, "stem-loop hairpins".





ARN de transfert (ARNt)
Structure en feuillet de trèfle typique



ARN de transfert

D'après B. Alberts et al., 1994

Les propriétés des nucléotides

- ATP : transferts d'énergie des réactions cellulaires, le phosphore ajouté grâce à l'énergie fourni par oxydation des substances alimentaires, c'est aussi un transporteur (H^+ ou résidus glucidiques).
- AMP cyclique: c'est le messager universel des cellules et contrôle la vitesse d'un grand nombre de réactions intracellulaires.

Rôles des acides nucléiques

Ils interviennent dans la conservation de l'information héréditaire du vivant (ADN) et l'expression de cette information (ARNm, ARNr et ARNt).