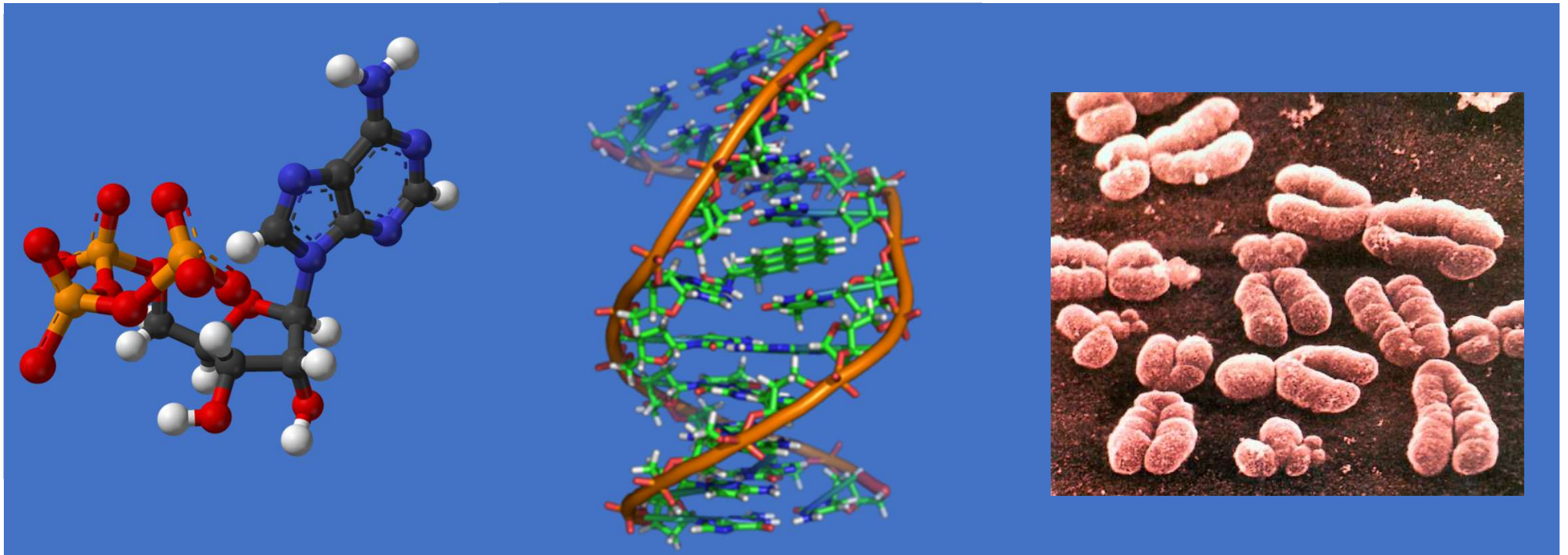


SV-D-2-3 NUCLÉOTIDES ET ACIDES NUCLÉIQUES

SV-D-2 LES GRANDES FAMILLES BIOLOGIQUES



SV-D-2-3 Nucléotides et acides nucléiques

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles
<p>Les nucléotides sont des molécules organiques composées d'une base azotée purique ou pyrimidique et d'un pentose phosphorylé.</p> <p>Leur diversité est due à la nature de la base azotée.</p> <p>Ils forment des molécules de petite taille solubles et mobiles ou susceptibles de s'associer à des protéines.</p> <p>Les acides nucléiques sont des polymères séquencés de nucléotides. Vecteurs d'information, ils peuvent interagir avec des protéines.</p>	<ul style="list-style-type: none">- représenter l'organisation des nucléotides (Pentose - phosphate - base azotée) ;- indiquer la distinction ribose / désoxyribose ;- représenter schématiquement ATP et NAD en Liaison avec leur fonction d'intermédiaires du Métabolisme ; <p>La seule formule exigible est celle de l'ATP.</p> <ul style="list-style-type: none">- représenter schématiquement et commenter les Structures de l'ADN et de l'ARN, les relier à leurs Propriétés en relation avec les attendus des cours De génétique (§ IV-A)

INTRODUCTION

Acides nucléiques

ADN = Acide DésoxyriboNucléique

ARN = Acide RiboNucléique

Structure ?

Où les trouve-t-on ?

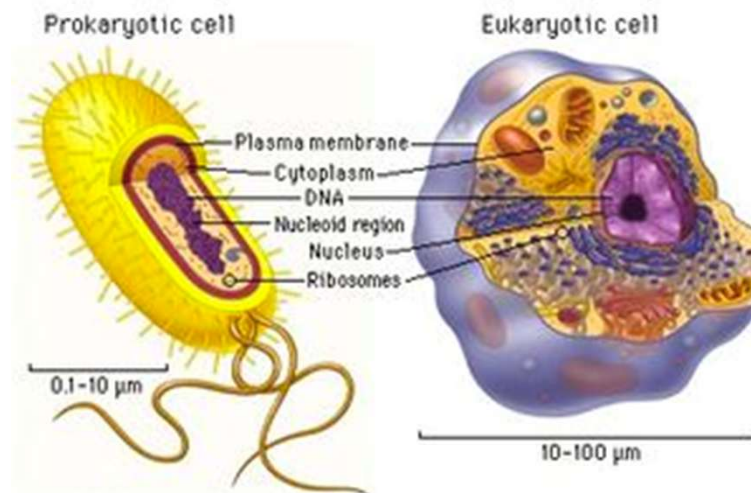
Fonctions ?

Stockage et
expression de
l'information
génétique

Dans (presque) toutes
les cellules de tous les
organismes vivants

	Acides nucléiques
Bactérie	23
Mammifère	3

*Part des acides nucléiques
dans une cellule
(% masse de matière sèche)*



PARTIE I : LES NUCLEOTIDES, PETITES MOLECULES SOLUBLES, MOBILES ET BRIQUES ELEMENTAIRES DES ACIDES NUCLEIQUES

I. Structure d'un nucléotide

- A. Vue d'ensemble
- B. Les sucre, élément structural central
- C. Le(s) phosphate(s)
- D. Les bases azotées

II. Fonctions des nucléotides

- A. Constituants des acides nucléiques
- B. Coenzymes nucléotidiques
- C. Nucléotides seconds messenger

PARTIE I : LES NUCLEOTIDES, PETITES MOLECULES SOLUBLES, MOBILES ET BRIQUES ELEMENTAIRES DES ACIDES NUCLEIQUES

I. Structure d'un nucléotide

- A. Vue d'ensemble
- B. Les sucre, élément structural central
- C. Le(s) phosphate(s)
- D. Les bases azotées

II. Fonctions des nucléotides

- A. Constituants des acides nucléiques
- B. Coenzymes nucléotidiques
- C. Nucléotides seconds messenger

I. STRUCTURE DES NUCLÉOTIDES

A. VUE D'ENSEMBLE

■ Les **nucléotides*** sont constitués de :

- | **sucres**
- | **base azotée**
- | à 3 **phosphate(s)**

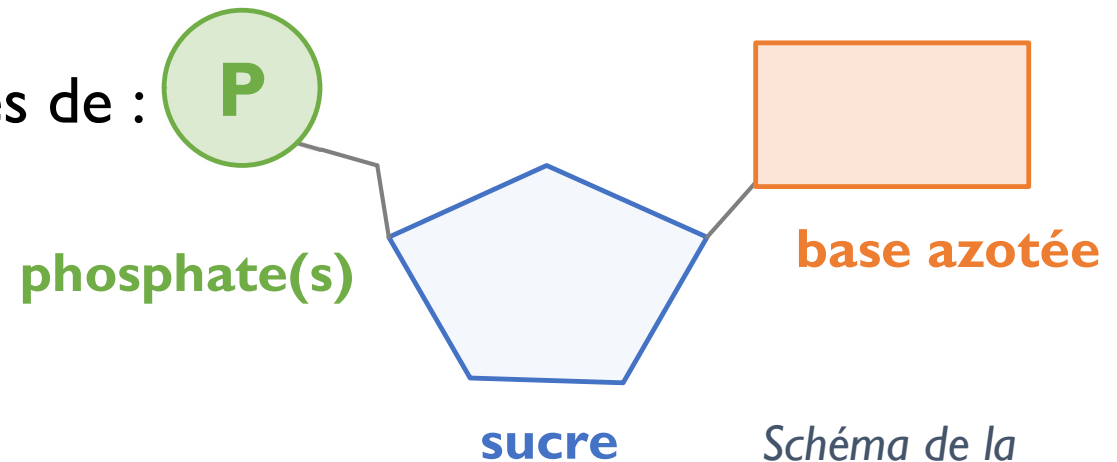
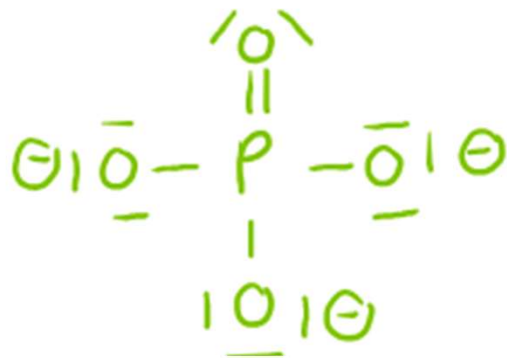
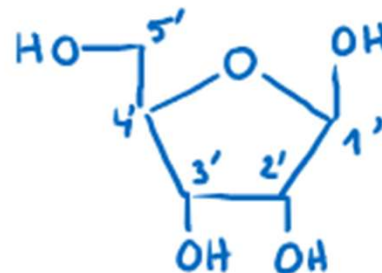


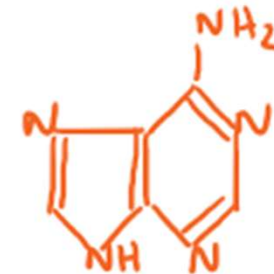
Schéma de la structure de base des nucléotides



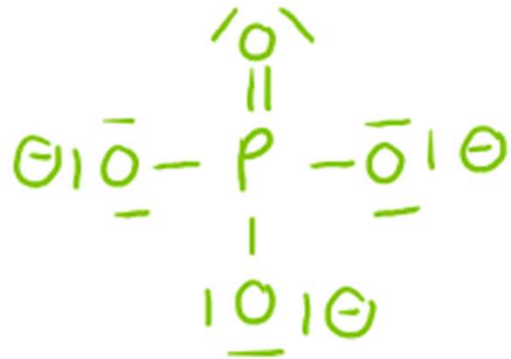
phosphate



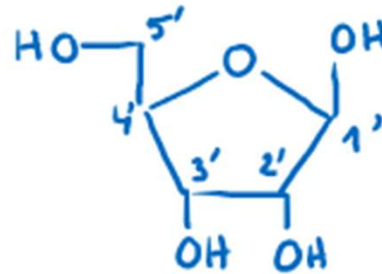
(désoxy-)ribose



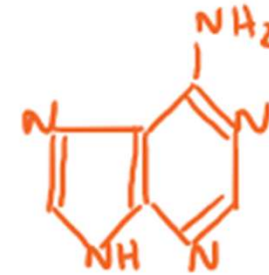
base azotée (adénine)



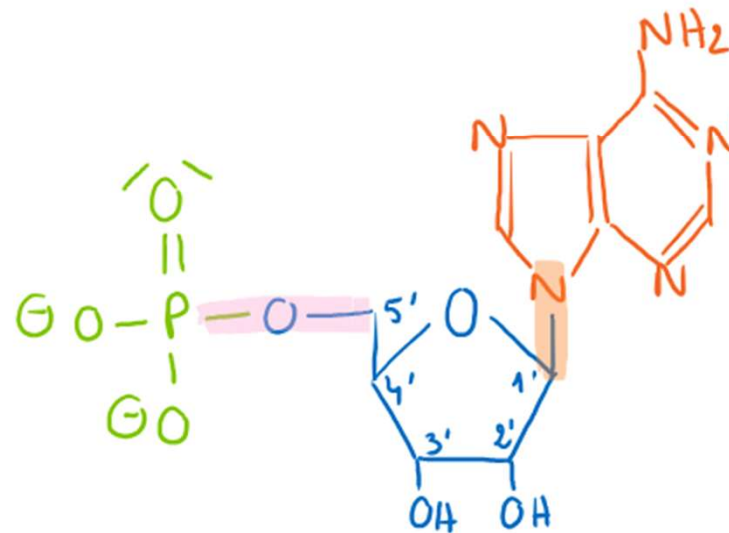
phosphate



(désoxy-)ribose



base azotée (adénine)



Liaison phosphoester

Liaison N-osidique

PARTIE I : LES NUCLEOTIDES, PETITES MOLECULES SOLUBLES, MOBILES ET BRIQUES ELEMENTAIRES DES ACIDES NUCLEIQUES

I. Structure d'un nucléotide

- A. Vue d'ensemble
- B. Les sucre, élément structural central
- C. Le(s) phosphate(s)
- D. Les bases azotées

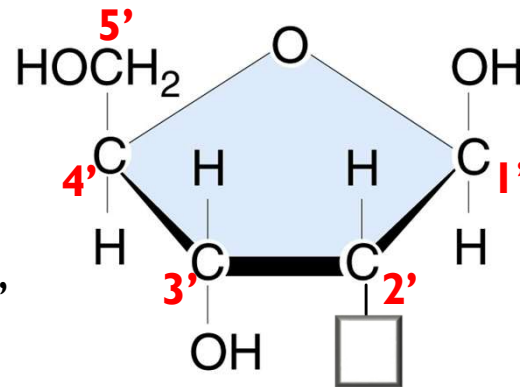
II. Fonctions des nucléotides

- A. Constituants des acides nucléiques
- B. Coenzymes nucléotidiques
- C. Nucléotides seconds messenger

I. STRUCTURE DES NUCLÉOTIDES

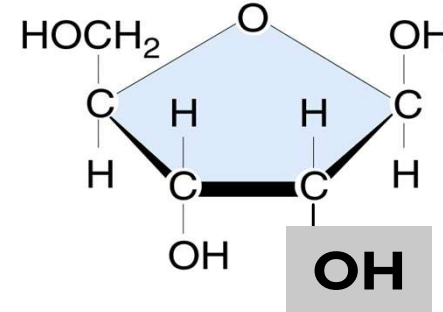
B. LE SUCRE, ÉLÉMENT STRUCTURAL CENTRAL

- Le sucre est un **pentose**
 - Sucre à 5 carbones
 - Numérotation 1' à 5'
 - Groupe variable sur le C-2'
- Le **sucre** peut former des **liaisons...**
 - ... avec une **base azotée** en 1'
 - ✓ liaison **N-glycosidique**
 - ... avec un **phosphate** en 5'
 - ✓ → liaison **phosphoester**



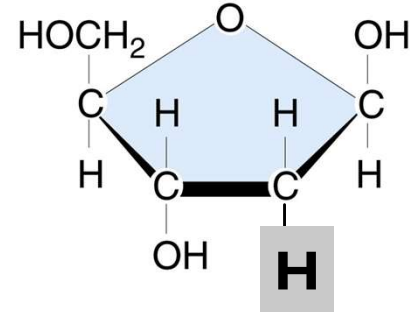
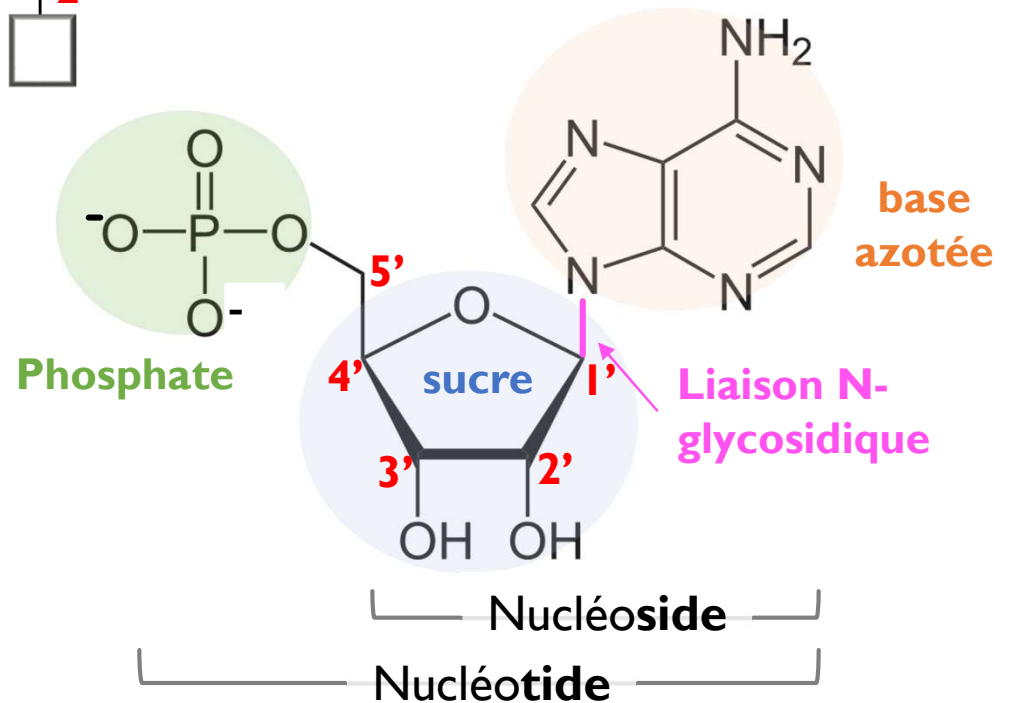
Ribose

(ARN)



Désoxyribose

(ADN)



PARTIE I : LES NUCLEOTIDES, PETITES MOLECULES SOLUBLES, MOBILES ET BRIQUES ELEMENTAIRES DES ACIDES NUCLEIQUES

I. Structure d'un nucléotide

- A. Vue d'ensemble
- B. Les sucre, élément structural central
- C. Le(s) phosphate(s)
- D. Les bases azotées

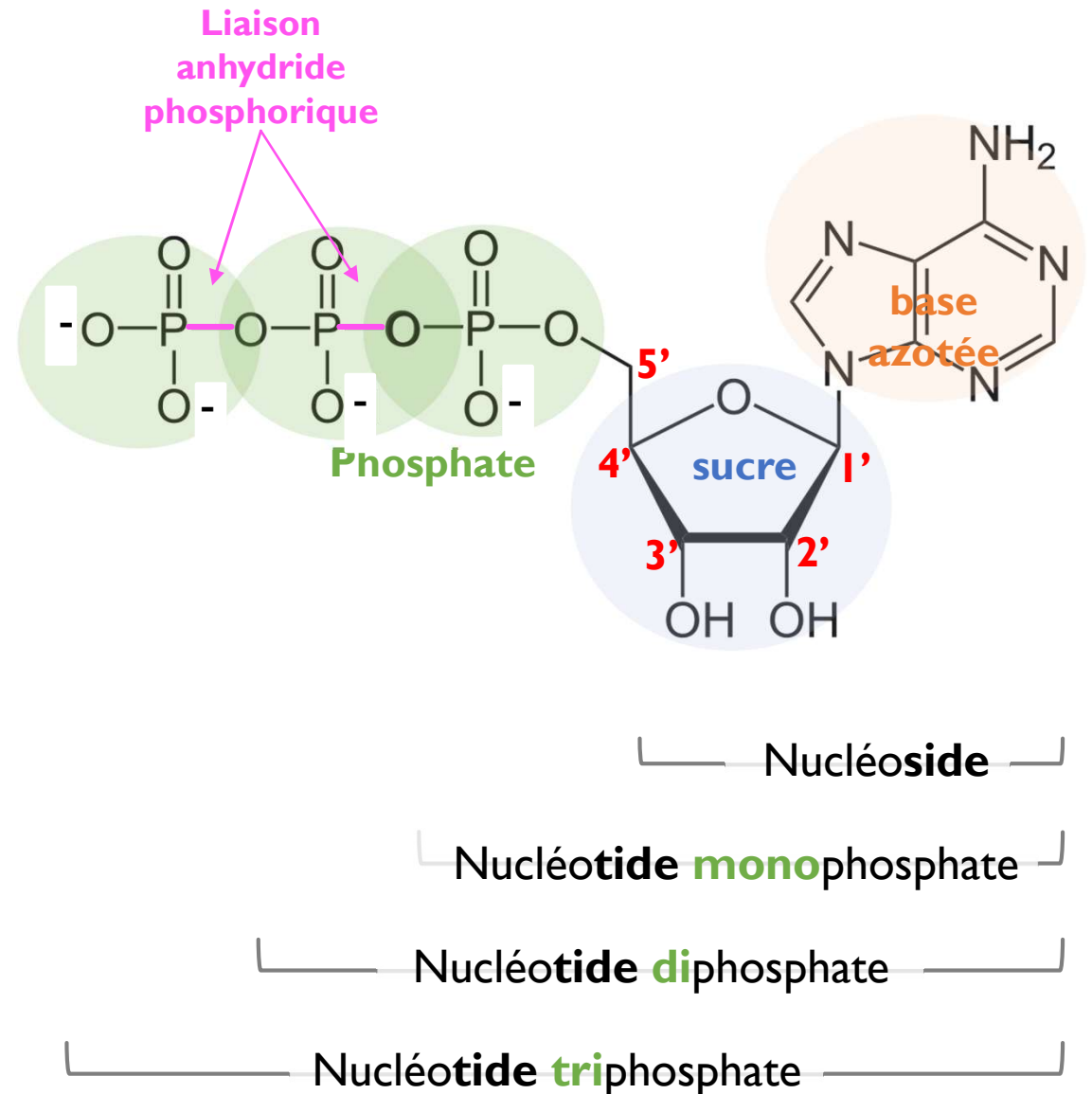
II. Fonctions des nucléotides

- A. Constituants des acides nucléiques
- B. Coenzymes nucléotidiques
- C. Nucléotides seconds messenger

I. STRUCTURE DES NUCLÉOTIDES

C. LE(S) PHOSPHATE(S)

- Il peut y avoir jusqu'à 3 phosphates qui s'associent par des liaisons *anhydride phosphorique* (susceptibles de libérer beaucoup d'énergie)



PARTIE I : LES NUCLEOTIDES, PETITES MOLECULES SOLUBLES, MOBILES ET BRIQUES ELEMENTAIRES DES ACIDES NUCLEIQUES

I. Structure d'un nucléotide

- A. Vue d'ensemble
- B. Les sucre, élément structural central
- C. Le(s) phosphate(s)
- D. Les bases azotées

II. Fonctions des nucléotides

- A. Constituants des acides nucléiques
- B. Coenzymes nucléotidiques
- C. Nucléotides seconds messenger



I. STRUCTURE DES NUCLÉOTIDES

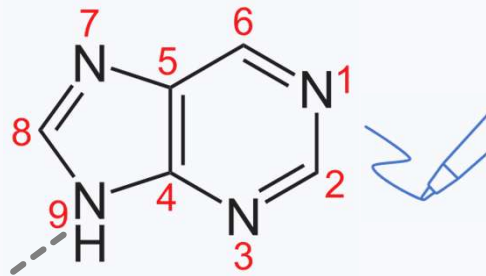
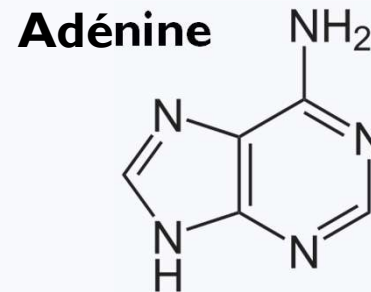
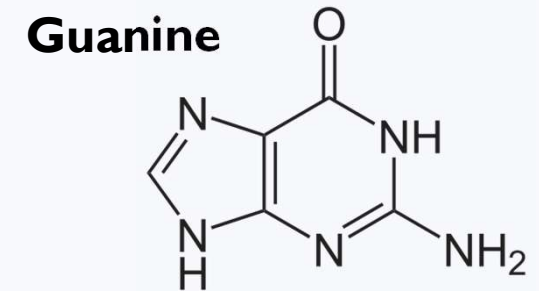
D. LES BASES AZOTÉES

- « base » → tendance à capter des H^+
- « azotée » → molécule cyclique riche en N

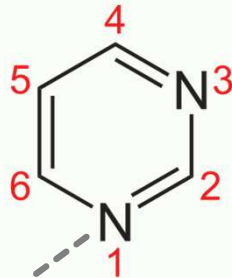
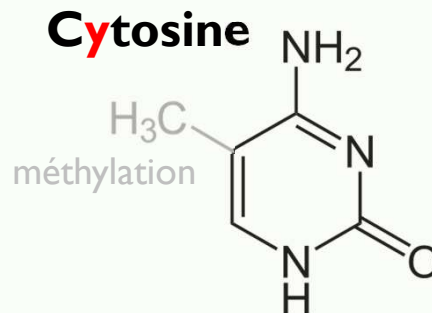
Type de base	Base	Symbole	(désoxy)nucléoside
Purines	Adénine	A	(d-)adénosine
	Guanine	G	(d-)guanosine
Pyrimidines	Cytosine	C	(d-)cytidine
	Uracile	U	(d-)uridine
	Thymine	T	(d-)thymidine

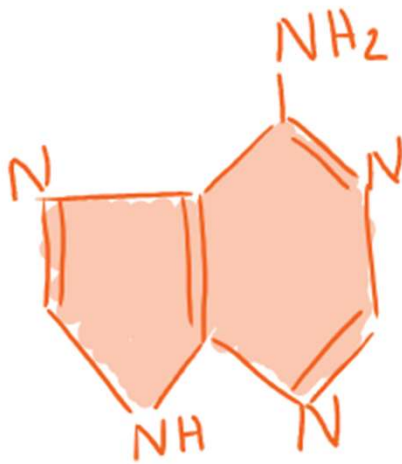
- Il y a 5 bases différentes:

Bases
puriques
ou purines :
2 cycles

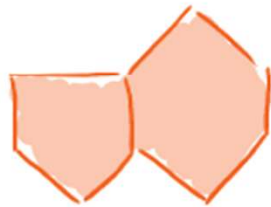


Bases
pyrimidiques
ou pyrimidines :
1 cycle





Adénine



Guanine

Bases puriques

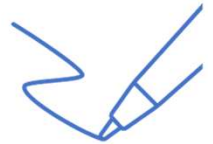


Thymine, Uracile



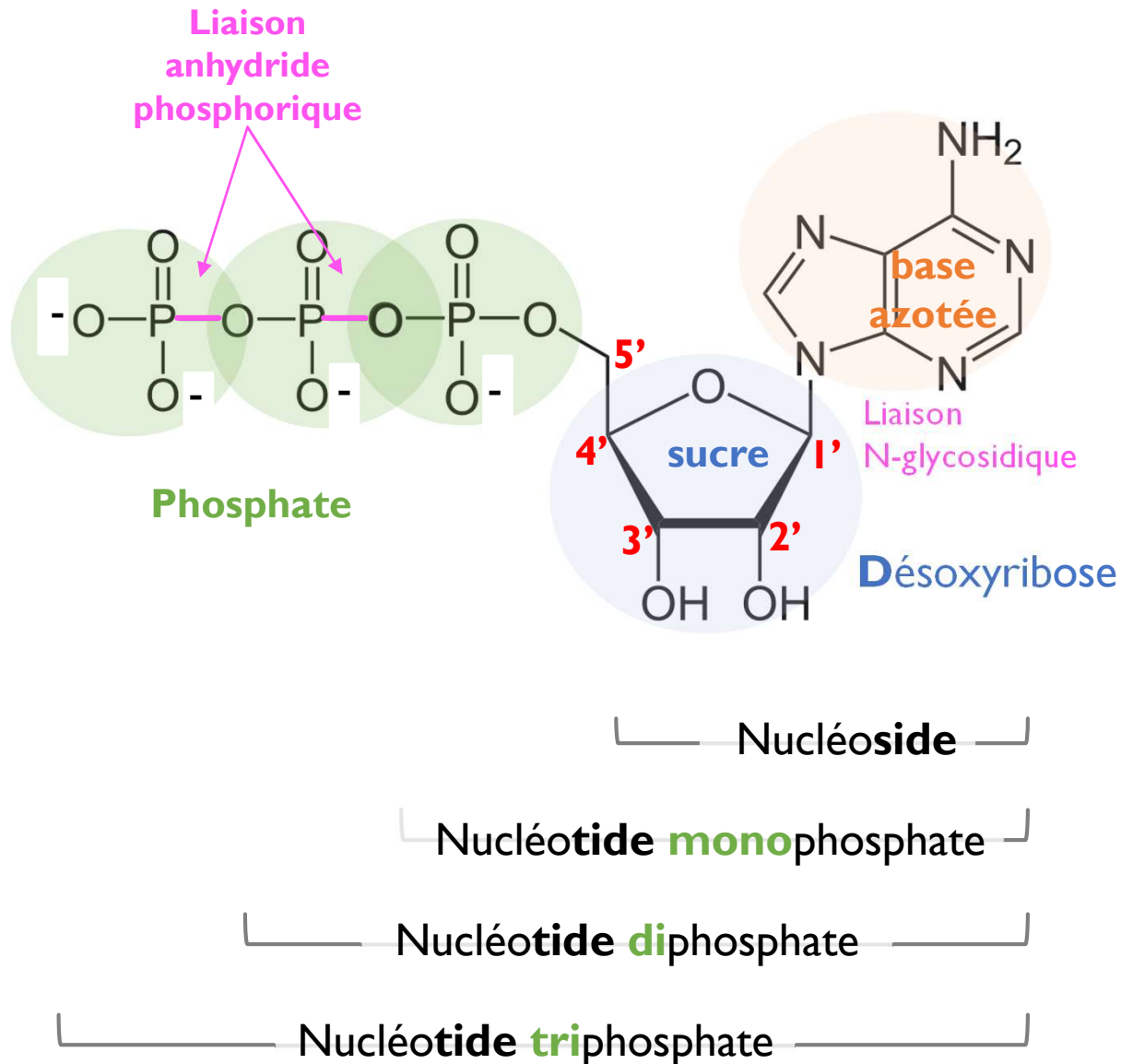
Cytosine

Bases pyrimidiques

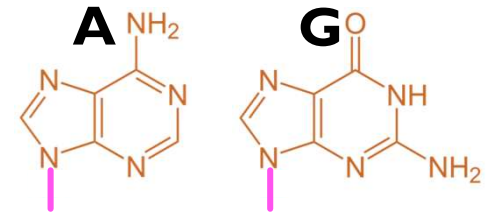


I. STRUCTURE DES NUCLÉOTIDES

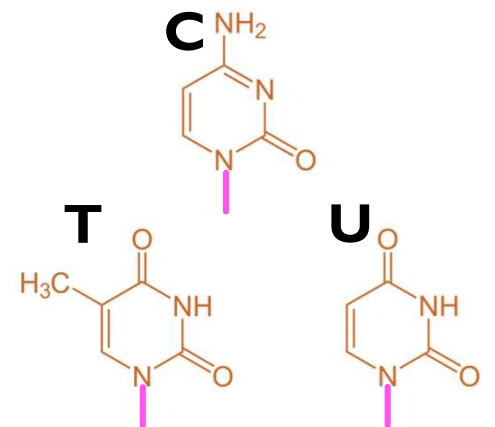
BILAN



Purines (2 cycles)



Pyrimidines (1 cycle)



PARTIE I : LES NUCLEOTIDES, PETITES MOLECULES SOLUBLES, MOBILES ET BRIQUES ELEMENTAIRES DES ACIDES NUCLEIQUES

I. Structure d'un nucléotide

- A. Vue d'ensemble
- B. Les sucre, élément structural central
- C. Le(s) phosphate(s)
- D. Les bases azotées

II. Fonctions des nucléotides

- A. Constituants des acides nucléiques
- B. Coenzymes nucléotidiques
- C. Nucléotides seconds messenger

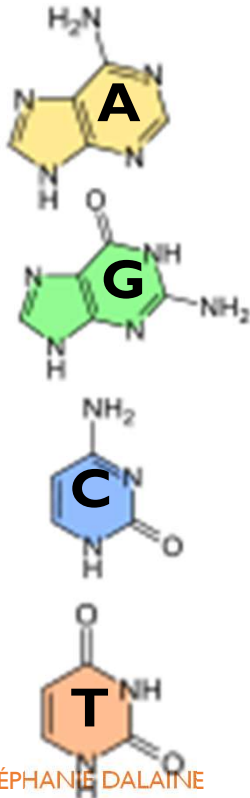
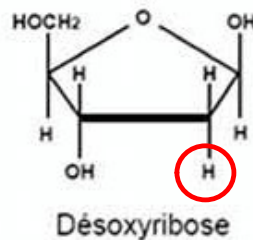
II. FONCTIONS DES NUCLÉOTIDES

A. CONSTITUANTS DES ACIDES NUCLÉIQUES

- Les nucléotides sont les constituants de base des acides nucléiques

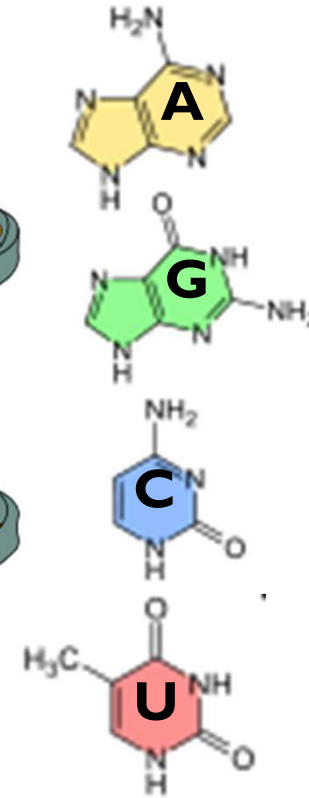
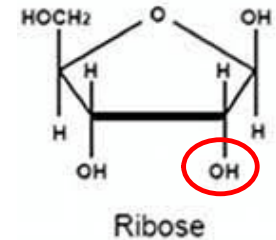
ADN

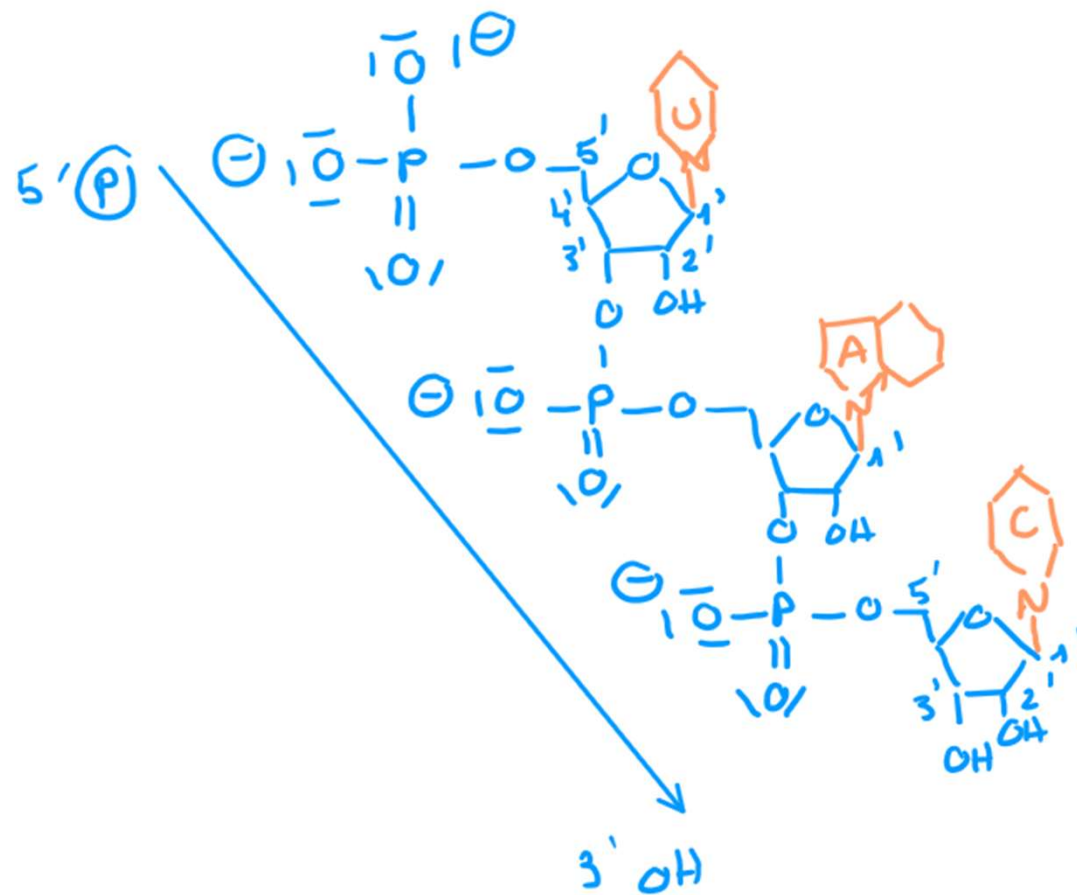
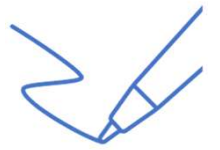
acide désoxyribonucléique



ARN

acide ribonucléique





PARTIE I : LES NUCLEOTIDES, PETITES MOLECULES SOLUBLES, MOBILES ET BRIQUES ELEMENTAIRES DES ACIDES NUCLEIQUES

I. Structure d'un nucléotide

- A. Vue d'ensemble
- B. Les sucre, élément structural central
- C. Le(s) phosphate(s)
- D. Les bases azotées

II. Fonctions des nucléotides

- A. Constituants des acides nucléiques
- B. Coenzymes nucléotidiques
- C. Nucléotides seconds messenger

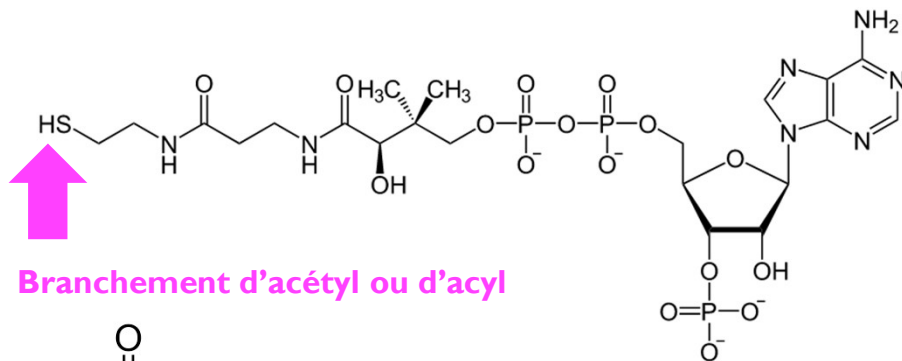
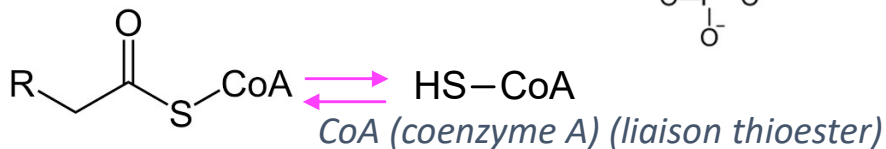


II. FONCTIONS DES NUCLÉOTIDES

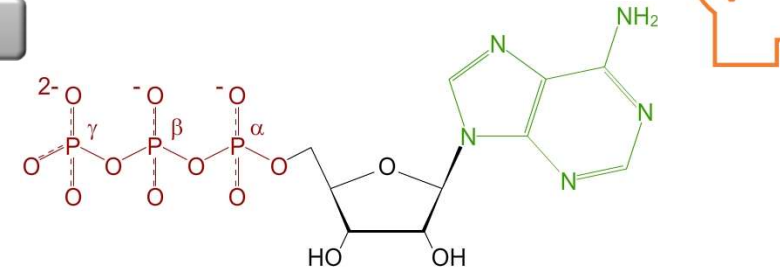
B. COENZYMES NUCLÉOTIDIQUES

Coenzyme : n.m. petite biomolécule, non protéique, indispensable au fonctionnement d'une enzyme

- Il existe 3 types de coenzymes de nature nucléotidique :
 - **Coenzymes de transfert de groupements phosphoryle**
 - ✓ Ex: ATP, GTP (synthèse prot), UTP (synthèse polysides)
 - **Coenzymes de transfert de groupements acétyle et acyle**
 - ✓ Ex: Coenzyme A
 - **Coenzymes d'oxydo-réduction**
 - ✓ Ex : NAD^+ , NADP^+ , FAD

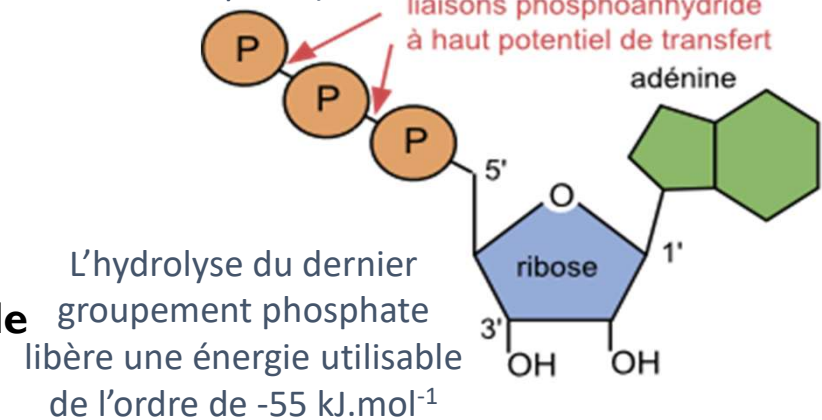
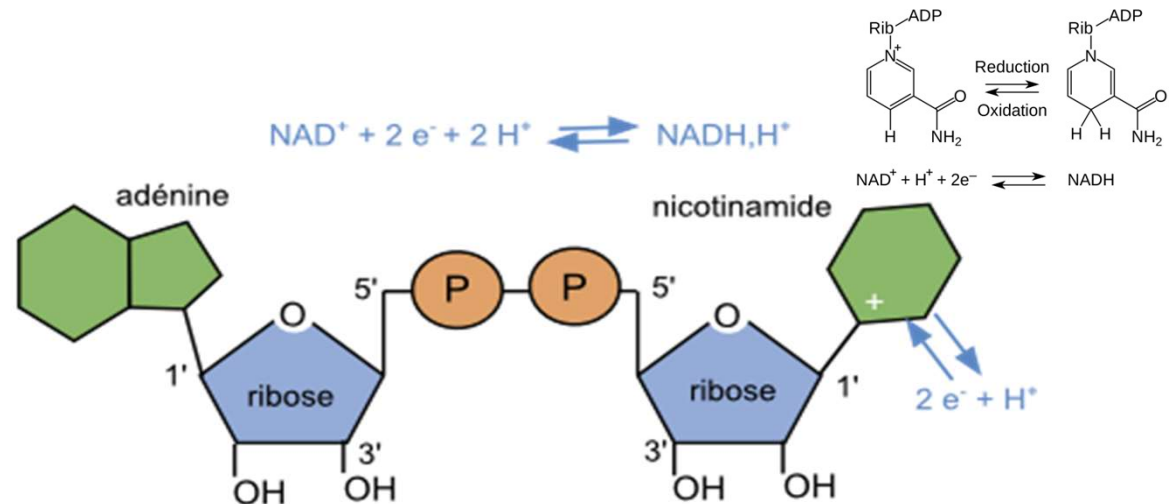


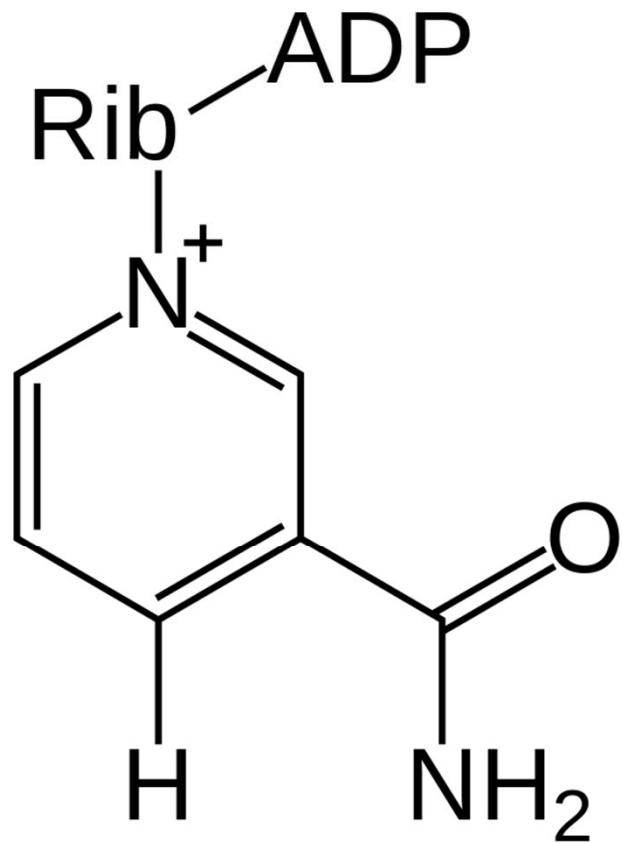
Cf. SV-E



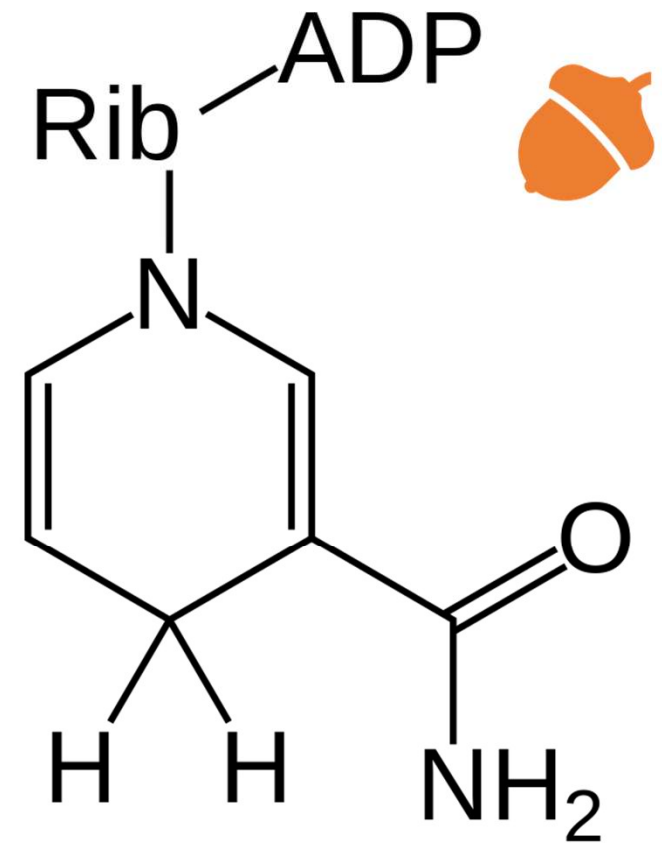
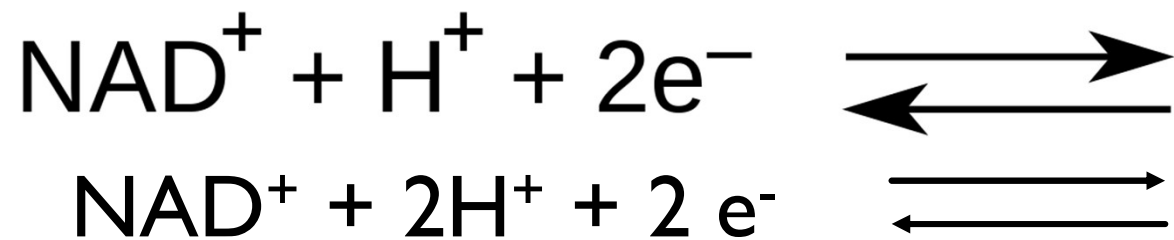
L'ATP (Adénosine-Tri-Phosphate)

liaisons phosphoanhydride à haut potentiel de transfert

Le NAD^+ , nicotinamide adénosine dinucléotide



Reduction
 $\rightleftharpoons$
 Oxidation



NADH
 NADH, H⁺

Jour

Sève brute

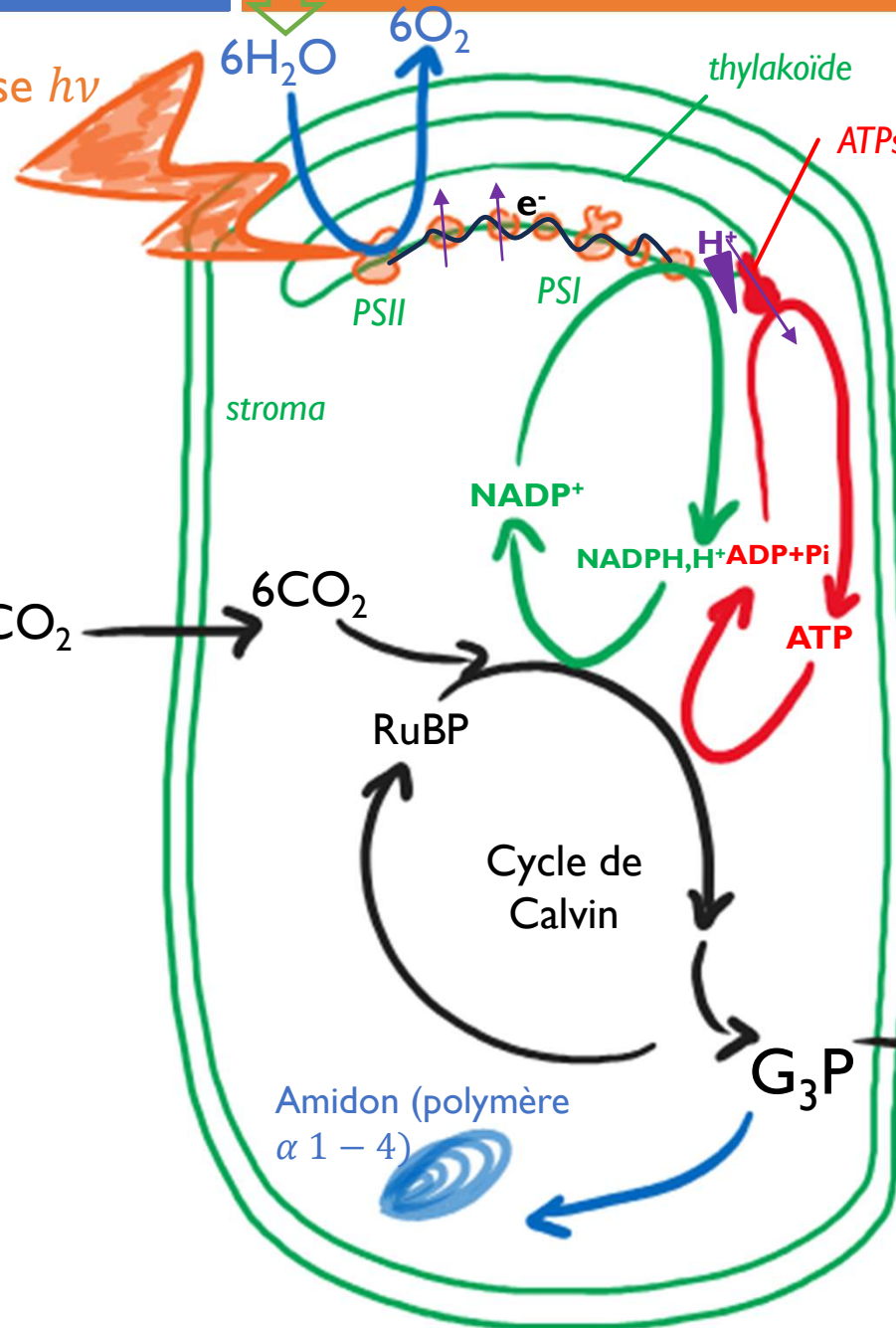
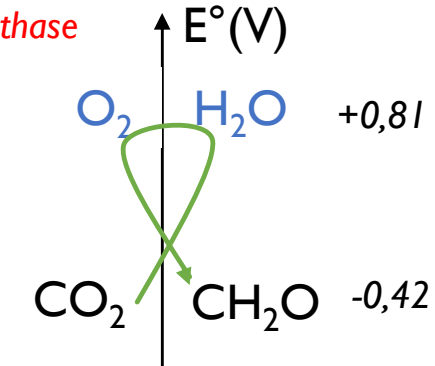
Cf SV-D-2-2

Énergie lumineuse $h\nu$

Phase photochimique: réactions membranaires et synthèse d'intermédiaires (ATP et coenzymes réduits)

Ouverture des stomates

Phase non photochimique: utilisation des intermédiaires (ATP et coenzymes réduits) pour la synthèse des oses



$$\Delta G^\circ = -nF\Delta E$$

$$\text{Soit } \Delta G^\circ = -4.96500.(-0,42-0,81)=475 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

$$\Delta G^\circ > 0$$

Réaction endergonique

Sève élaborée vers les organes puits (nuit)

II. LES OSES SONT SOLUBLES ET RÉACTIFS DANS L'EAU

D. SYNTHÈSE ET DÉGRADATION DES OSES AU SEIN DU MÉTABOLISME

2. Dégradation des oses au cours du catabolisme oxydatif et formation d'énergie utilisable par la cellule

- **Oxydation partielle du glucose dans le cytoplasme: glycolyse**
 - dix étapes catalysées chacune par une enzyme spécifique
 - glucose « découpé » en G3P et en DHAP = phase de préparation : consomme un peu d'**ATP**
 - Oxydation de G3P (DHAP) en **pyruvate** → phase de remboursement (NADH, H⁺ et ATP).
- En milieu **aérobie**: **oxydation complète** du pyruvate dans la **mitochondrie** → **grandes quantités d'ATP** (= d'énergie chimique).
 - respiration cellulaire.
- En milieu **anaérobie**: le pyruvate subit des **fermentations**.
- **DHAP** et **glycéraldéhyde-3-phosphate** = **intermédiaires** à la fois pour les voies de synthèse et de dégradation des oses

DÉGRADATION DU GLUCOSE OU GLYCOLYSE (voie d'Embden-Meyerhof)

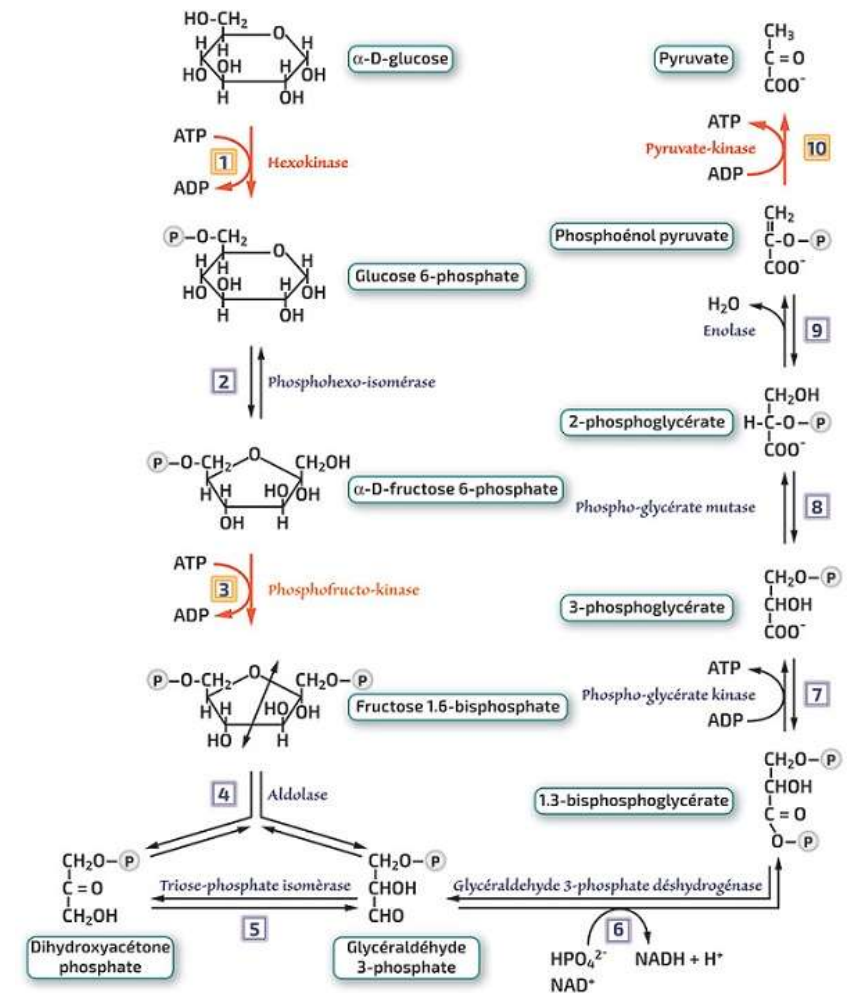


Figure 15 : la dégradation cytosolique du glucose, la glycolyse

II. LES OSES SONT SOLUBLES ET RÉACTIFS DANS L'EAU

E. OSES ET FONCTION

3. La voie des pentoses phosphates

- La voie des pentoses phosphates, ou voie du phosphogluconate, génère
 - du **NADPH** = **pouvoir réducteur** → biosynthèses cellulaires = **anabolisme**
 - ✓ Ex : acides gras et des stéroïdes
 - du **ribulose-5-P** → **précurseurs** des nucléotides, acides nucléiques et coenzymes
- Voie des pentoses phosphates = « shunt » de la glycolyse, utilisé ou pas selon les besoins cellulaires

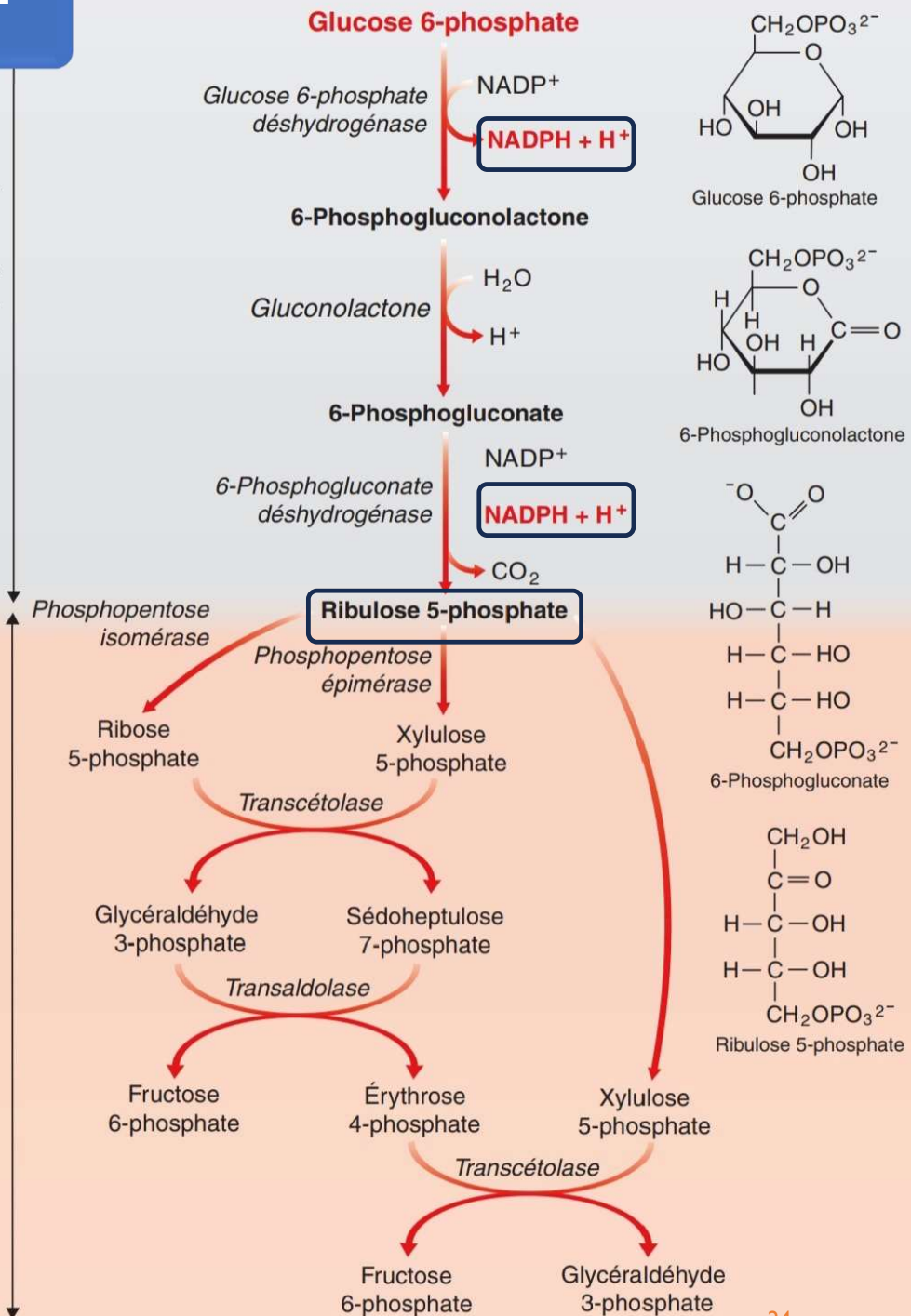
Voie des pentoses phosphates (shunt)

La voie des pentoses phosphates se divise en deux parties :

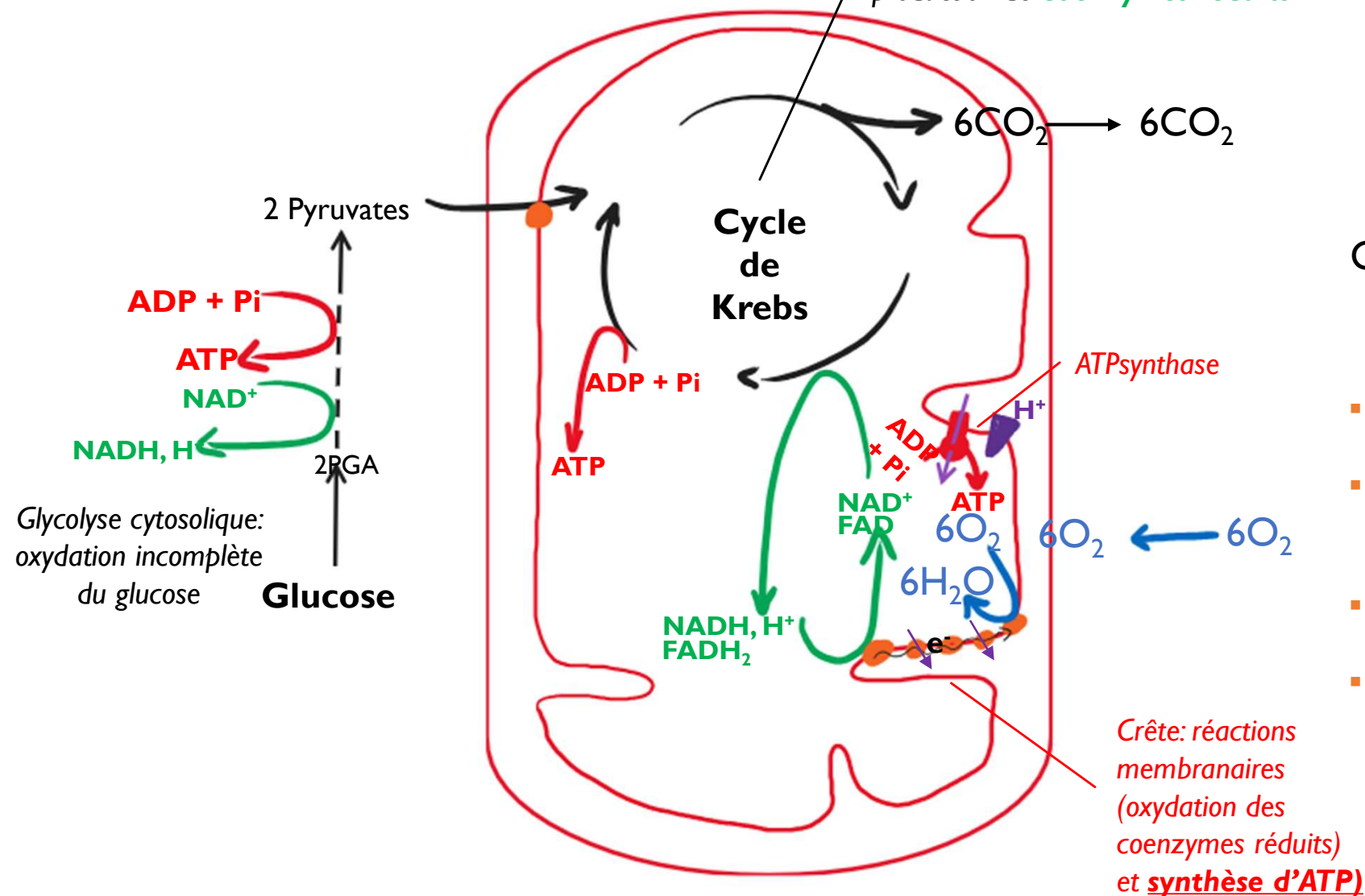
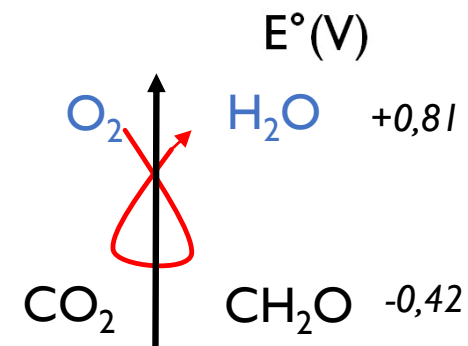
- ✓ un segment oxydatif irréversible → Production de **Ribulose-5-P** et **NADPH** utilisables pour biosynthèse
- ✓ un segment non oxydatif réversible qui intervient si la cellule nécessite plus de NADPH que de Ribulose-5-P → Recyclage du Ribulose-5-P

Phase 1 (oxydative)

Phase 2 (non oxydative)



Oxydation de la MO (pyruvate) et production de **coenzymes réduits**

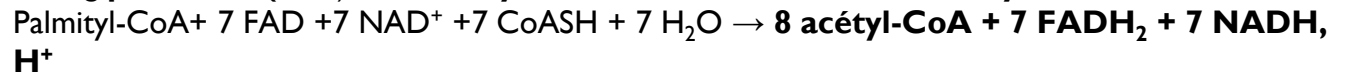
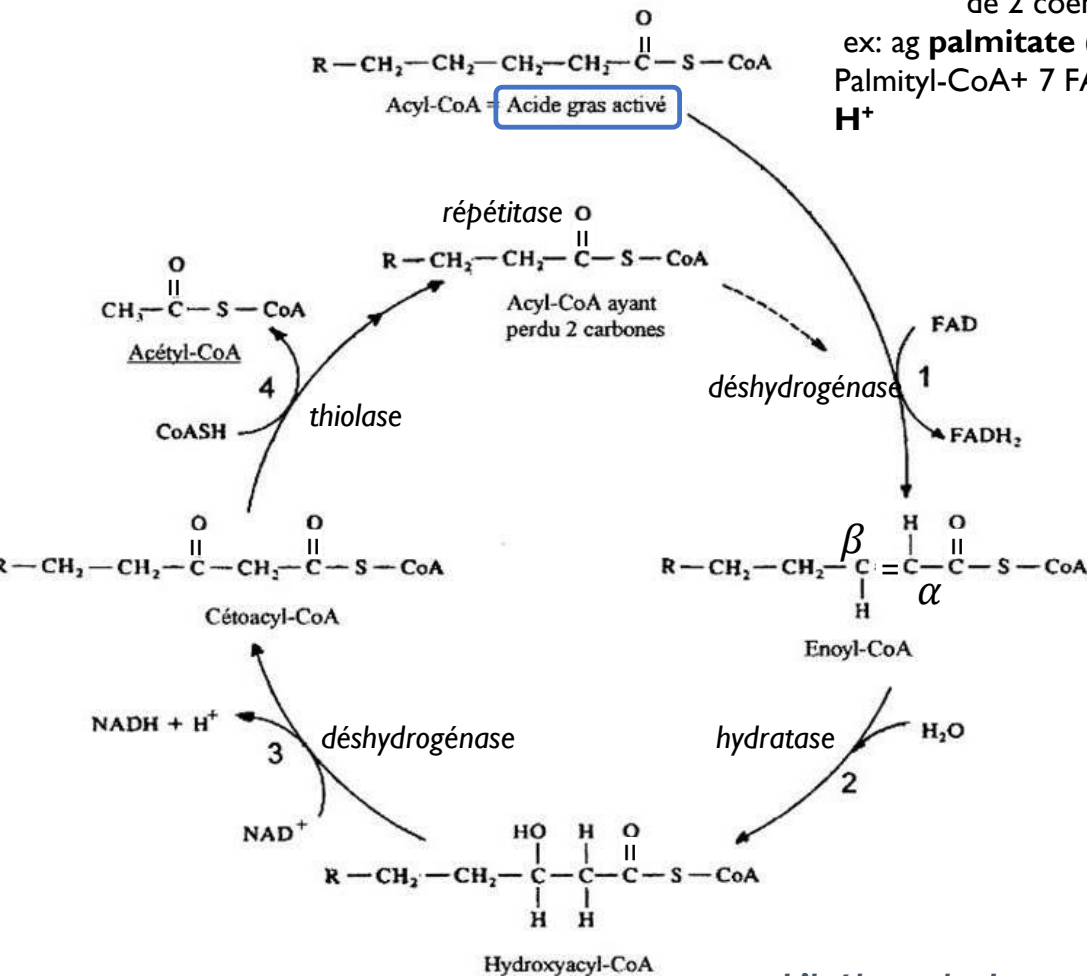
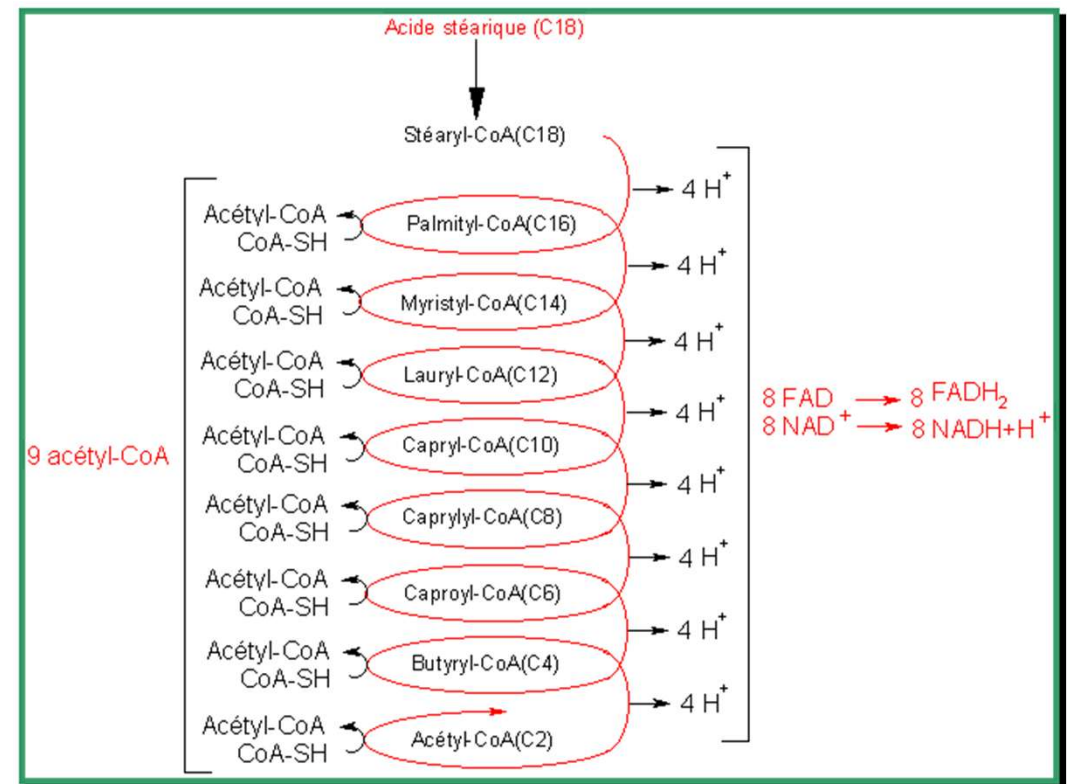


- $\Delta G^{\circ} = - nF\Delta E$
- soit $\Delta G^{\circ} = - 4.96500. (+0,81 - (-0,42)) = - 475 \text{ kJ.mol}^{-1}$
- $\Delta G^{\circ} < 0$
- **Réaction exergonique = spontanée**

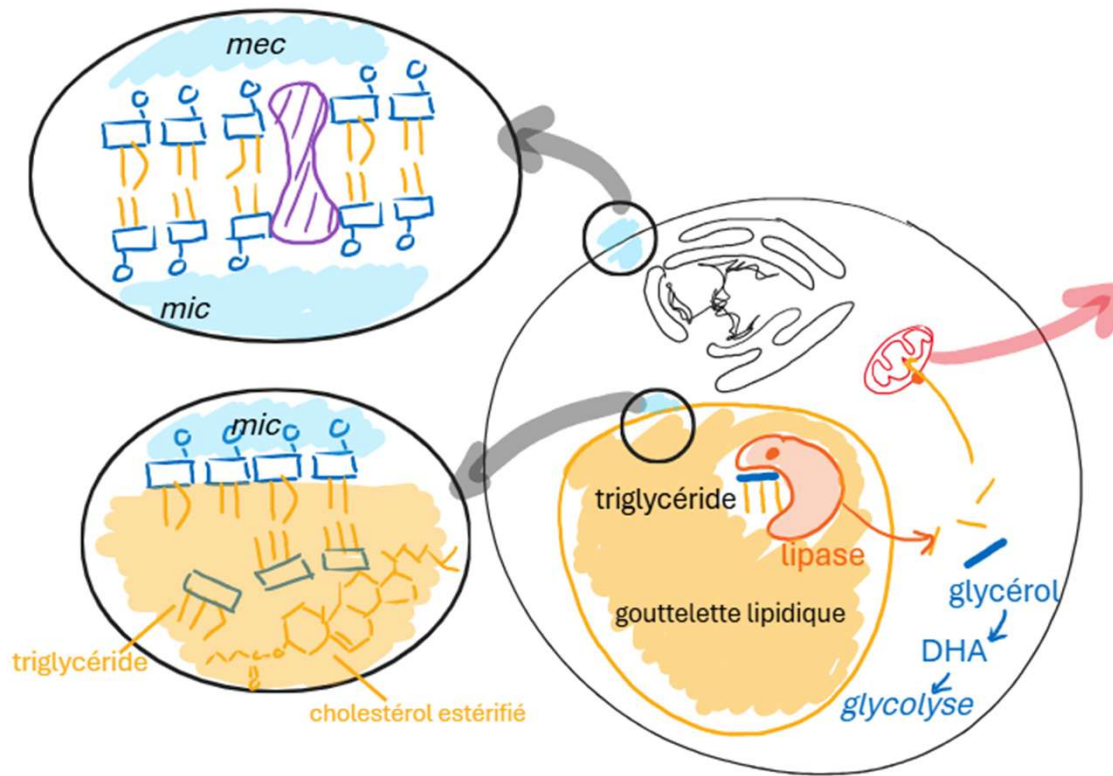
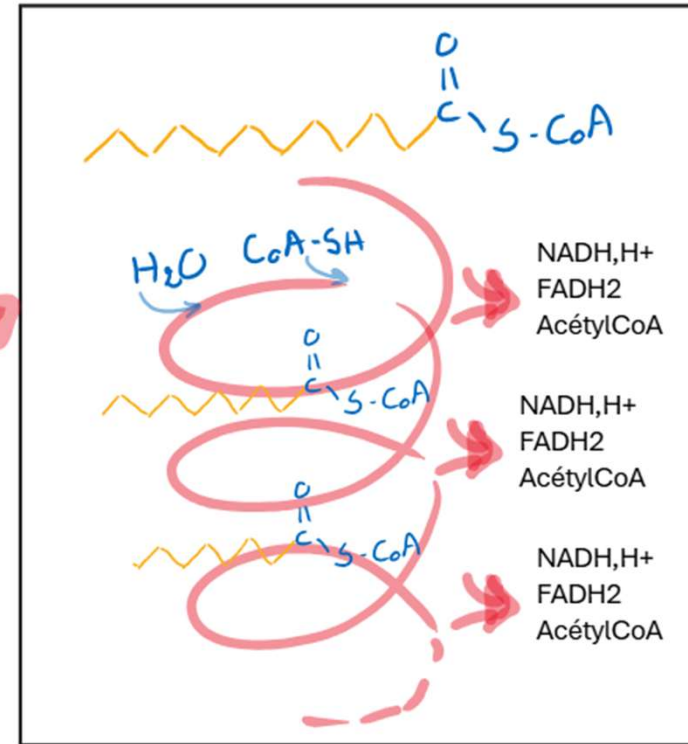
Dégradation des oses : glycolyse et cycle de Krebs

- matrice mitochondriale, à chaque tour d'hélice de Lypen
 - raccourcissement du squelette carboné deux atomes de carbone (acétyl-CoA) + réduction de 2 coenzymes

ex: ag **palmitate (C16)** → **8 acétyl-CoA** avec **7 tours d'hélice de Lypen**



L'hélice de Lypen est une succession d'oxydations dans la matrice mitochondriale

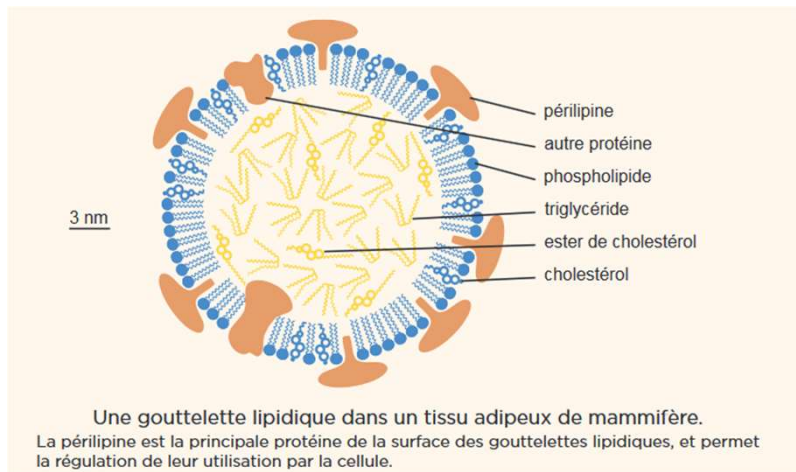


Hélice de Lynen dans la matrice mitochondriale

Cf SV-D-2-1

ATP

Adipocyte



Les lipides et leur rôle de réserve, exemple de l'adipocyte (S. Dalaine)

D'après J'intègre Dunod ed 2021

PARTIE I : LES NUCLEOTIDES, PETITES MOLECULES SOLUBLES, MOBILES ET BRIQUES ELEMENTAIRES DES ACIDES NUCLEIQUES

I. Structure d'un nucléotide

- A. Vue d'ensemble
- B. Les sucre, élément structural central
- C. Le(s) phosphate(s)
- D. Les bases azotées

II. Fonctions des nucléotides

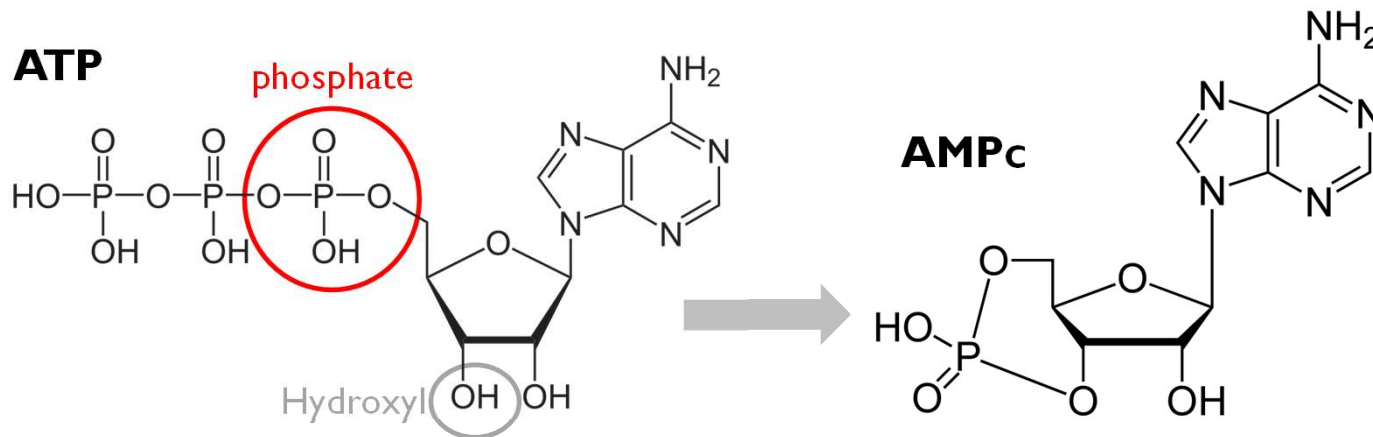
- A. Constituants des acides nucléiques
- B. Coenzymes nucléotidiques
- C. Nucléotides seconds messenger

II. FONCTIONS DES NUCLÉOTIDES

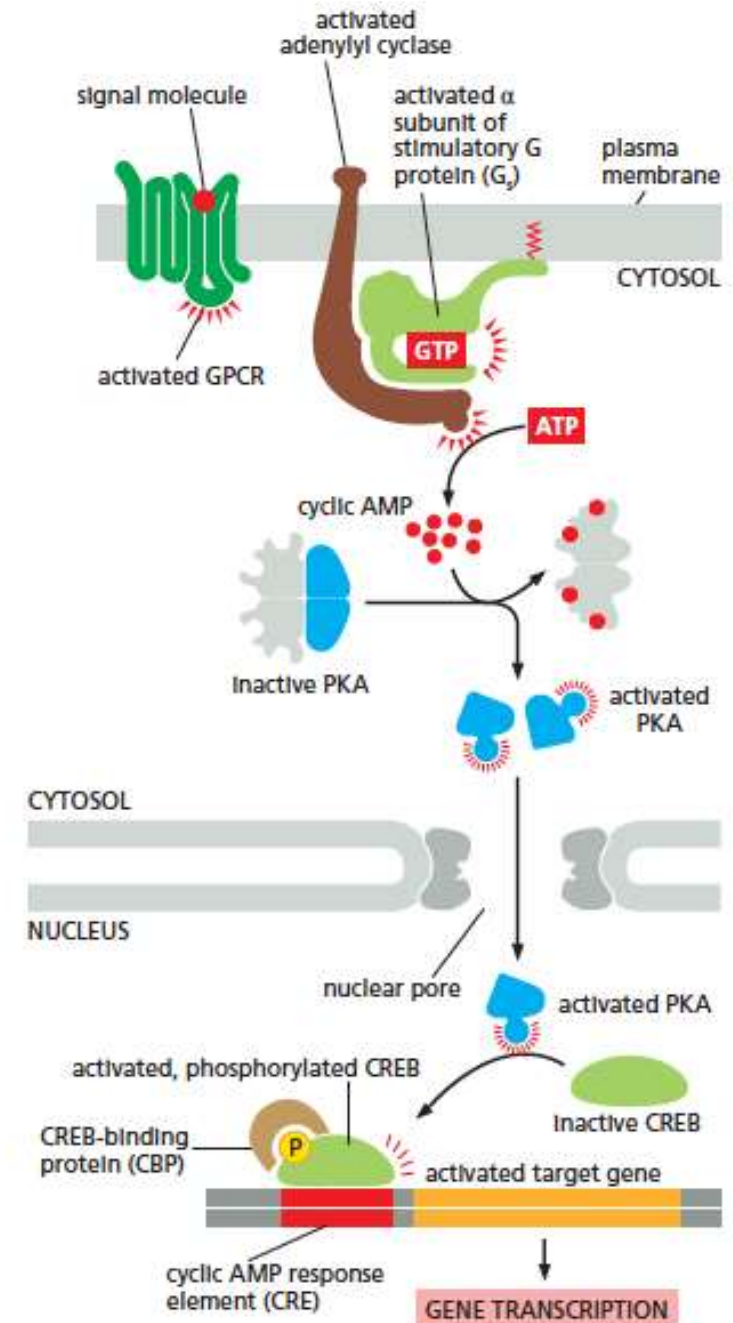
C. NUCLÉOTIDES SECONDS MESSAGERS

- Des nucléotides monophosphates **cycliques** peuvent être synthétisés par la cellule :
 - **ATP → AMP_c**
 - **GTP → GMP_c**
- Ces nucléotides cycliques sont **des messagers intracellulaires dits seconds messagers**.

Cf. SV-C-3



Formation d'AMP_c par **estérification intramoléculaire** de l'ATP



II. FONCTIONS DES NUCLÉOTIDES



BILAN

- Importance biologique
- Monomères des acides nucléiques
- Monnaies énergétiques (ATP, GTP)
- Contrôle des activités cellulaires (effecteur enzymatique, AMPc second messenger, ATP neurotransmetteur etc)
- Précurseur de coenzymes

SV-D-2-3 Nucléotides et acides nucléiques

INTRODUCTION

1 Extraction
→ Libérer la molécule des cellules

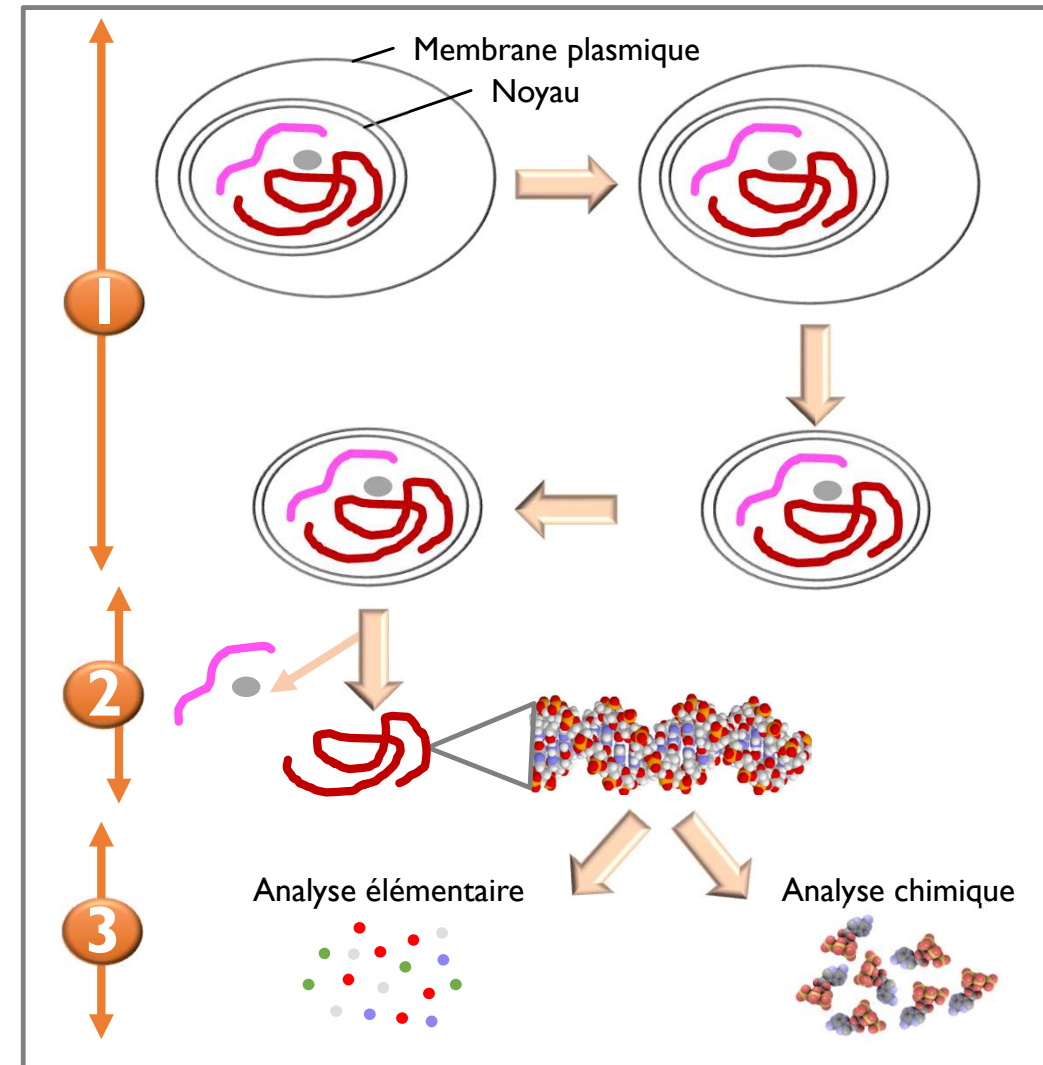


2 Purification
→ Séparer la molécule des autres constituants

3 Analyse élémentaire ou chimique
→ Identifier les atomes ou les sous-composants

Composition atomique	C, H, O, N, P
Sous-composant	nucléotide

→ Les acides nucléiques sont des polymères* de nucléotides = polynucléotides (macromolécules*)

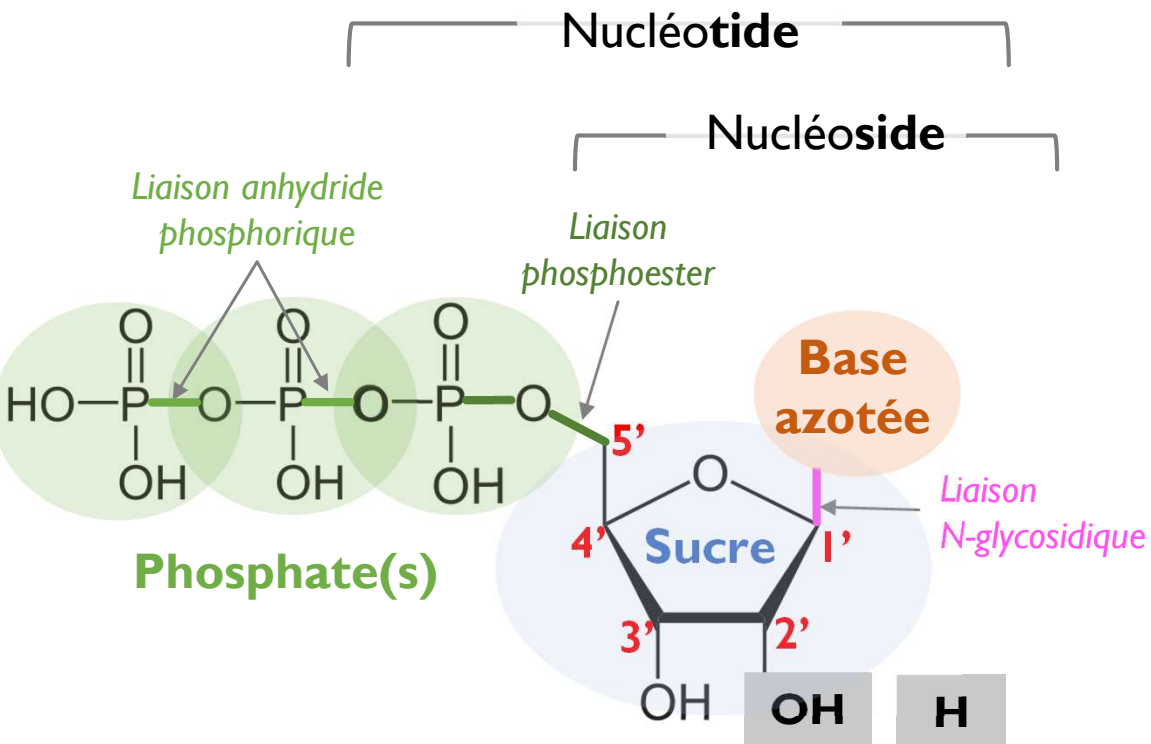


Polymère (n.m.) : molécule formée par l'enchaînement de sous-unités (monomères)

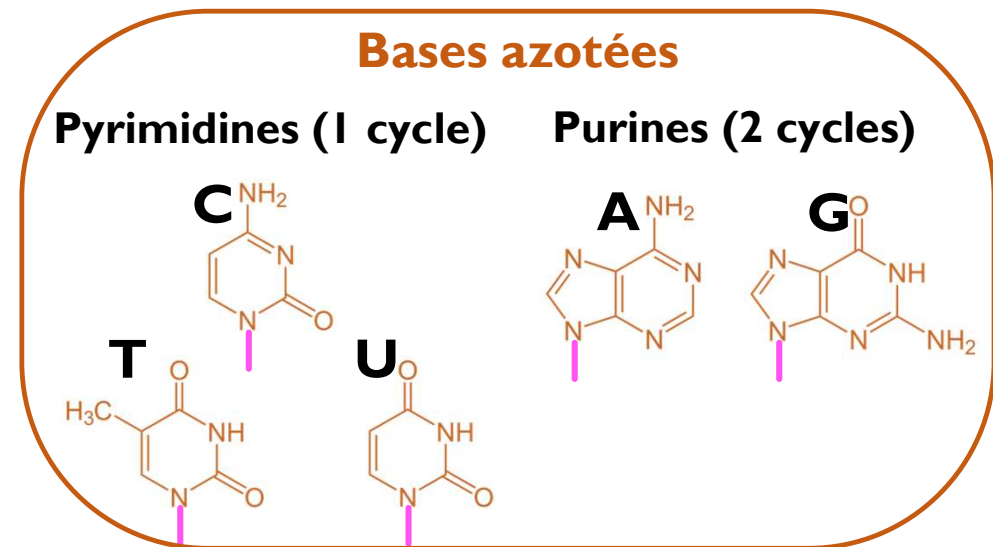
SV-D-2-3 Nucléotides et acides nucléiques

INTRODUCTION

- Deux types d'acides nucléiques dans les cellules : ADN et ARN
- Ce sont des **polymères** linéaires de **nucléotides**



ADN	ARN
acide désoxyribonucléique	acide ribonucléique
Noyau, mitochondrie, chloroplaste, cytosol (bactérie)	Noyau, cytosol



SV-D-2-3 Nucléotides et acides nucléiques

I. Généralités sur les acides nucléiques

- A. Propriétés
- B. Polymérisation

II. Structure et fonction de l'ADN

- A. Structure
- B. Propriétés physico-chimiques
- C. Fonction

III. Structure et fonctions des ARN

- A. Structure
- B. Diversité et fonctions

SV-D-2-3 Nucléotides et acides nucléiques

I. Généralités sur les acides nucléiques

- A. Propriétés
- B. Polymérisation

II. Structure et fonction de l'ADN

- A. Structure
- B. Propriétés physico-chimiques
- C. Fonction

III. Structure et fonctions des ARN

- A. Structure
- B. Diversité et fonctions

I. GÉNÉRALITÉS SUR LES ACIDES NUCLÉIQUES

A. PROPRIÉTÉS

- Notion de **séquence** de nucléotides (info génétique)
- Le polymère (ou chaîne) nucléotidique est **orienté** :
 - Une extrémité 3' avec -OH
 - Une extrémité 5' avec le phosphate
- Dans la cellule (pH=7) les **phosphates** sont ionisés
 - → chargés **négativement**
 - Formation de liaisons ioniques avec des molécules chargées positivement
 - ✓ Ex: Interactions avec des protéines

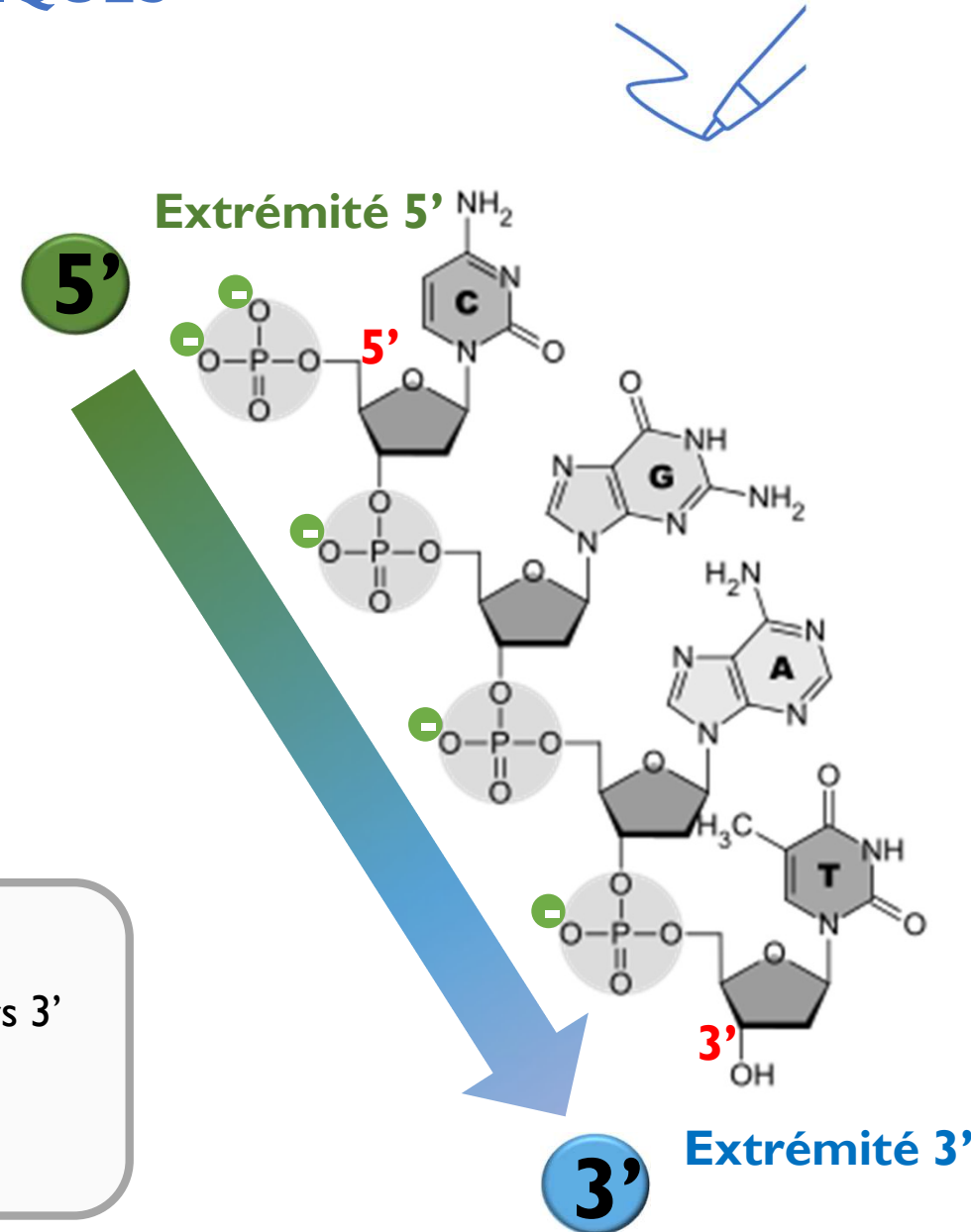
Convention :

On représente les séquences d'ADN/ARN dans le sens 5' vers 3'

Ex : 5'-ATTCGGCATA-3'

→ sens de synthèse des acides nucléiques

→ sens de lecture par la machinerie cellulaire



SV-D-2-3 Nucléotides et acides nucléiques

I. Généralités sur les acides nucléiques

- A. Propriétés
- B. Polymérisation

II. Structure et fonction de l'ADN

- A. Structure
- B. Propriétés physico-chimiques
- C. Fonction

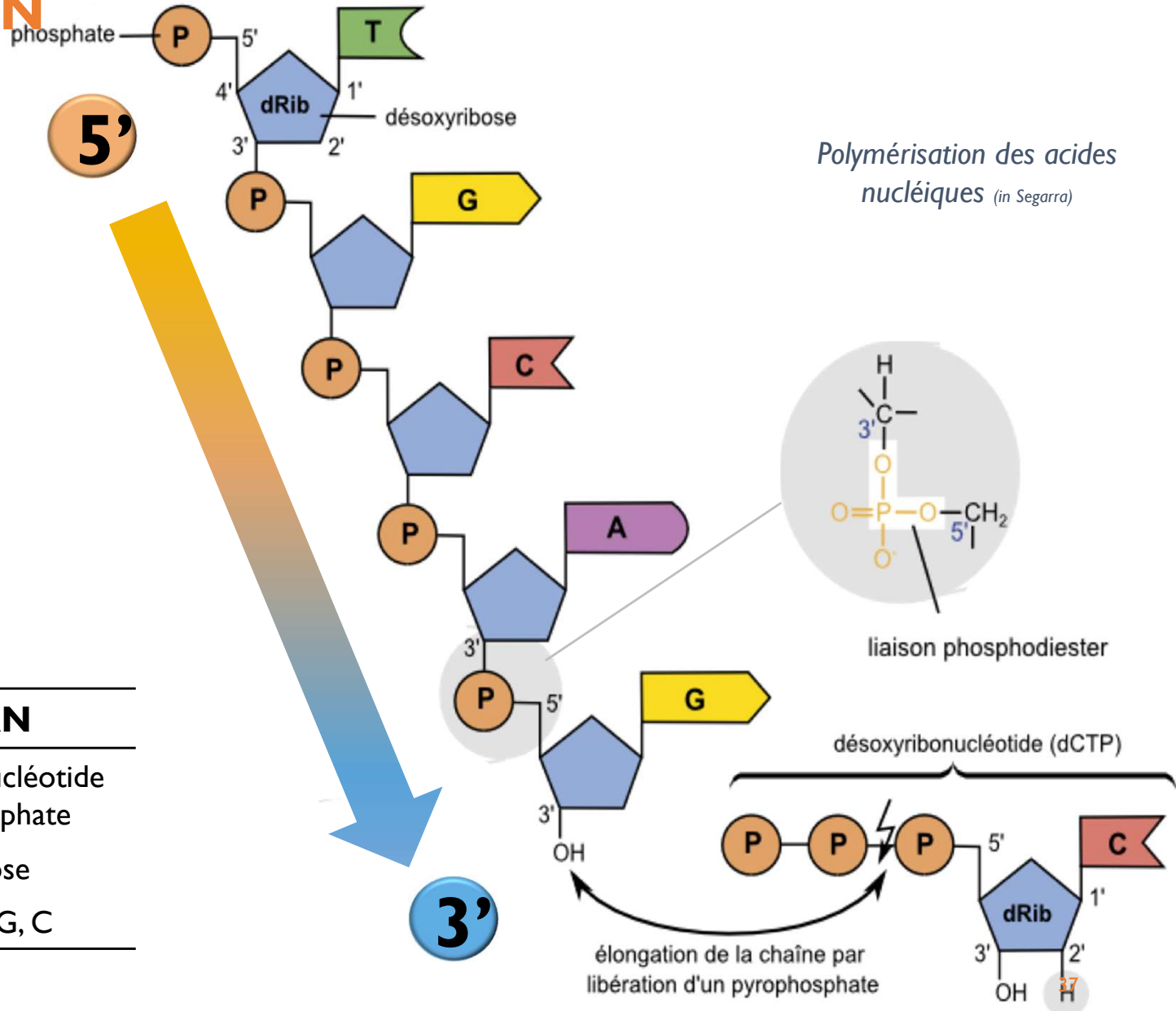
III. Structure et fonctions des ARN

- A. Structure
- B. Diversité et fonctions

B. POLYMÉRISATION

- La polymérisation des acides nucléiques est **orientée** :
 - Ajout de nucléotides **en 3'**
 - Réaction **d'estérification**
 - Formation d'une **liaison phosphodiester**
 - A partir de nucléotides triphosphates (**NTP**)
 - Enzyme : **polymérase**

ADN	ARN
dNTP = désoxynucléotide triphosphate	NTP = nucléotide triphosphate
désoxyribose	ribose
A, T, G, C	A, U, G, C



SV-D-2-3 Nucléotides et acides nucléiques

I. Généralités sur les acides nucléiques

- A. Propriétés
- B. Polymérisation

II. Structure et fonction de l'ADN

- A. Structure
- B. Propriétés physico-chimiques
- C. Fonction

III. Structure et fonctions des ARN

- A. Structure
- B. Diversité et fonctions

II. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ADN

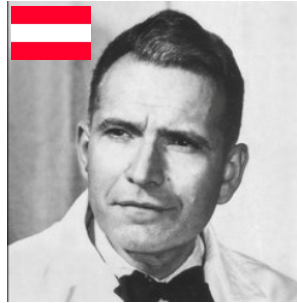
A. STRUCTURE DE L'ADN

I. Découverte historique

Indice n°1 : Les règles de Chargaff (1950)

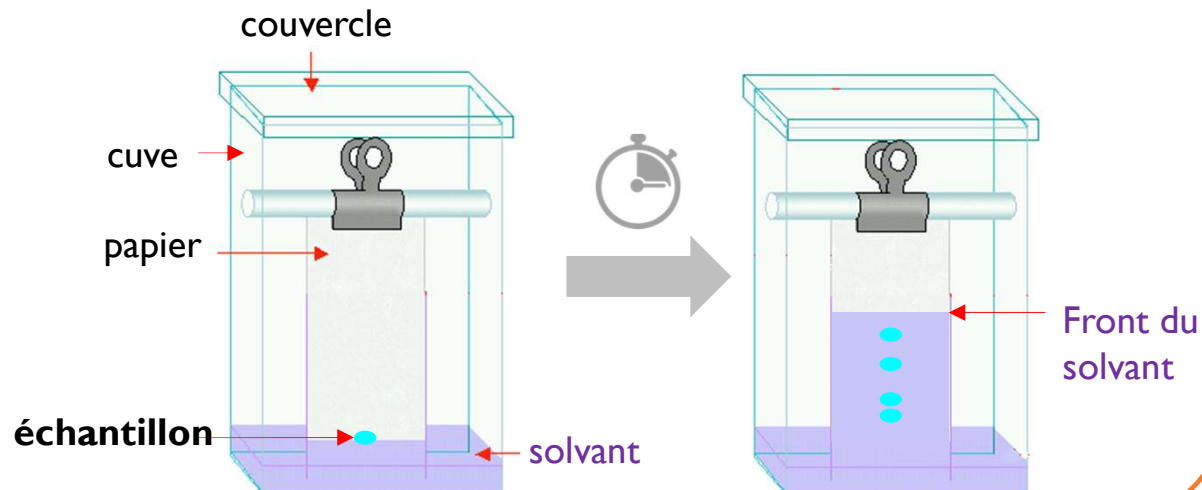
Composition de l'ADN de différentes espèces (en %) analysée par chromatographie sur papier

Erwin Chargaff
(1905-2002)
Biochimiste



Chromatographie sur papier

méthode de séparation de molécules en fonction de leur solubilité différentielle dans un solvant



Protocole :

- 1) Extraction et purification de l'ADN
- 2) Hydrolyse
- 3) Chromatographie sur papier
- 4) Coloration
- 5) Dosage

II. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ADN

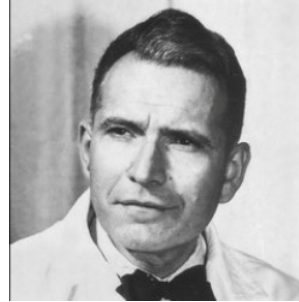
A. STRUCTURE DE L'ADN

I. Découverte historique

Indice n°1 : Les règles de Chargaff (1950)

Origine de l'ADN	Bases (%)				(A+T)/(G+C)	(A+G)/(T+C)
	A	G	C	T		
Bactériophage T7	26,0	23,8	23,6	26,6	1,11	0,99
<i>Escherichia coli</i> B	23,8	26,8	26,6	23,1	0,88	1,01
Neurospora	23,0	27,1	26,6	23,3	0,86	1,00
Drosophile	30,7	19,6	20,2	29,5	1,51	1,01
Saumon	28,0	22,0	20,0	27,8	1,33	1,05
Poule	28,0	22,0	21,6	28,4	1,29	1,00
Rat	28,6	21,4	21,6	28,4	1,33	1,00
Vache	27,3	22,5	22,5	27,7	1,26	0,99
Homme	29,3	20,7	20,0	30,0	1,46	1,00

Erwin Chargaff
(1905-2002)
Biochimiste



→ Règles de Chargaff

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

→ Dans l'ADN, il y a ...

- Autant de A que de T
- Autant de G que de C
- Autant de purines que de pyrimidines

Comment expliquer ces rapports ?

Composition de l'ADN de différentes espèces (en %) analysée par chromatographie sur papier

II. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ADN

A. STRUCTURE DE L'ADN

I. Découverte historique

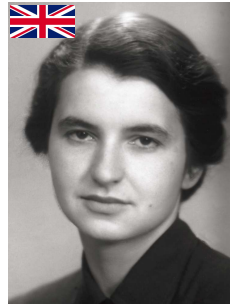
Indice n°2 : la cristallographie aux rayons X (1951)

A gauche : Maurice Wilkins (1916-2004).

Biophysicien

A droite : Rosalind Franklin (1920-1958).

Chimiste, biologiste, cristallographe

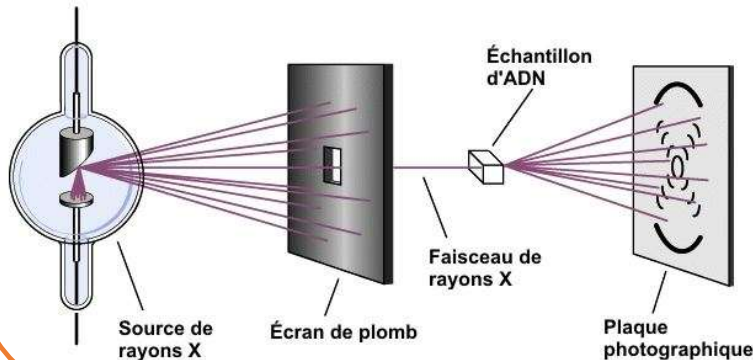


Cristallographie ou diffraction aux rayons X

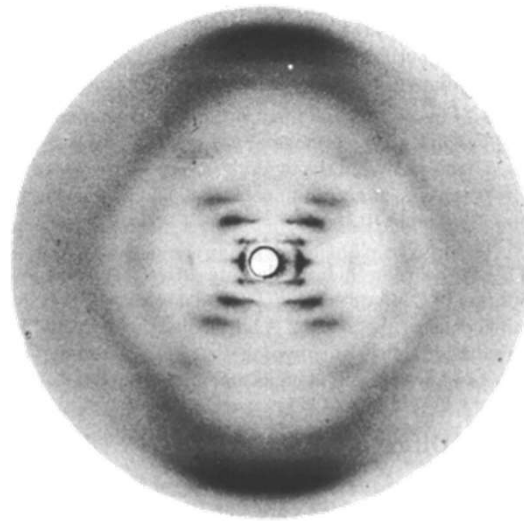
Méthode d'étude de la structure des molécules. Elle est basée sur la diffraction de rayons X appliqués sur un cristal de la molécule étudiée.

Protocole :

- 1) Obtention de cristaux
- 2) Radiographie aux rayons X



BCPST1 - ENCPB - STÉPHANIE DALAINE



Spectre de diffraction de l'ADN (cristallographie aux rayons X)

- Structure de **double hélice** à **diamètre constant**
- Plusieurs types d'hélices : A, B, (Z)
- Hélice B majoritaire
 - ✓ Périodicité principale : 3,4 Å
 - ✓ Périodicité secondaire : 34 Å

→ L'ADN est bicaténaire* (2 chaînes ou brins)

→ L'ADN forme une double hélice

Comment sont disposés les nucléotides dans la double hélice ?

II. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ADN

A. STRUCTURE DE L'ADN

I. Découverte historique

Indice n°3 : la structure des bases azotées

- En observant la structure des bases azotées, Watson et Crick remarquent que :

- les bases azotées sont vers l'intérieur de l'hélice (démonstration par R. Franklin)
- les bases azotées sont tête-bêche
- on associe toujours 1 purine + 1 pyrimidine

→ **Diamètre de ADN ~ constant**

✓ Cf. cristallographie

→ Certaines bases azotées forment des **liaisons H complémentaires** :

- ✓ G avec C (3 liaisons)
- ✓ A avec T (2 liaisons)
- ✓ Cf. règles de Chargaff

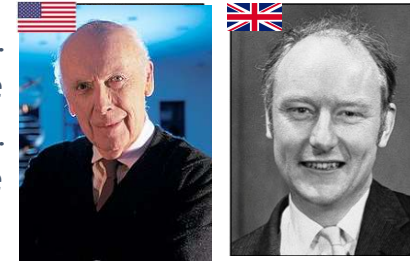
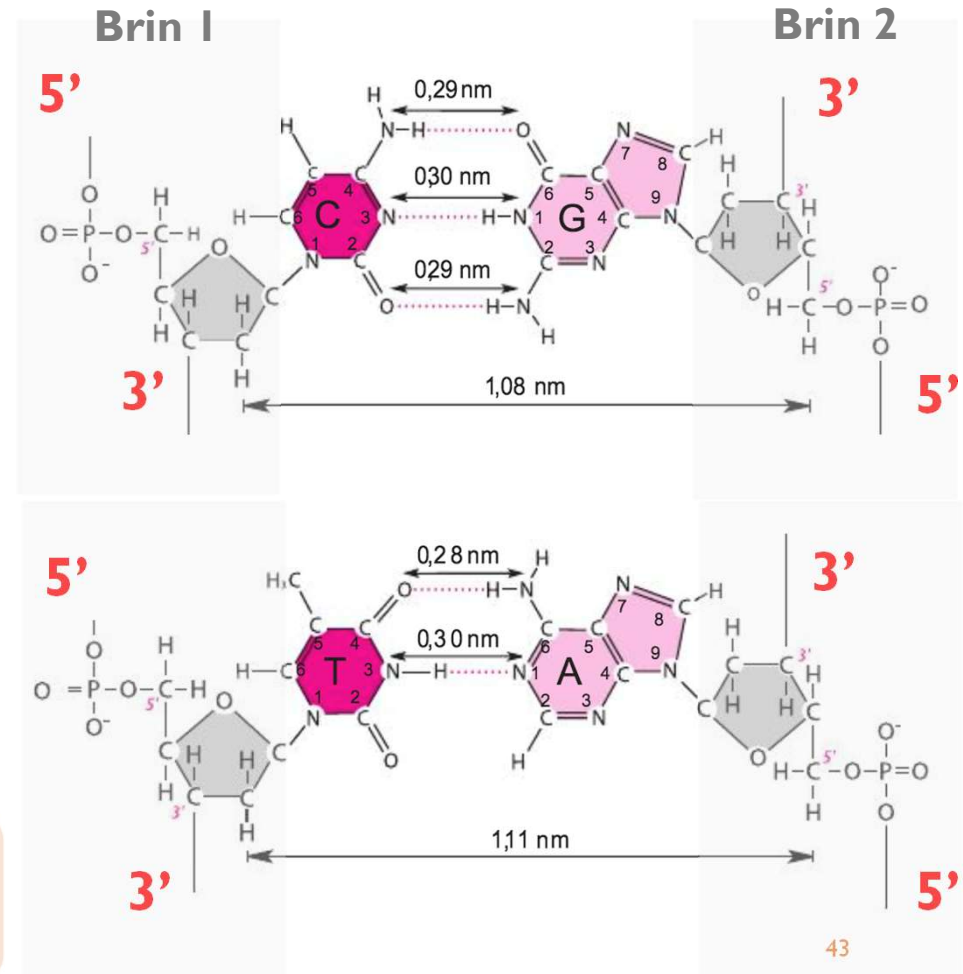
→ **Complémentarité* des bases azotées A/T et G/C**
→ **Orientation antiparallèle* des 2 brins**

A gauche: James Watson (1928-).

Généticien et biochimiste

A droite : Francis Crick (1916-2004).

Biologiste



II. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ADN

A. STRUCTURE DE L'ADN

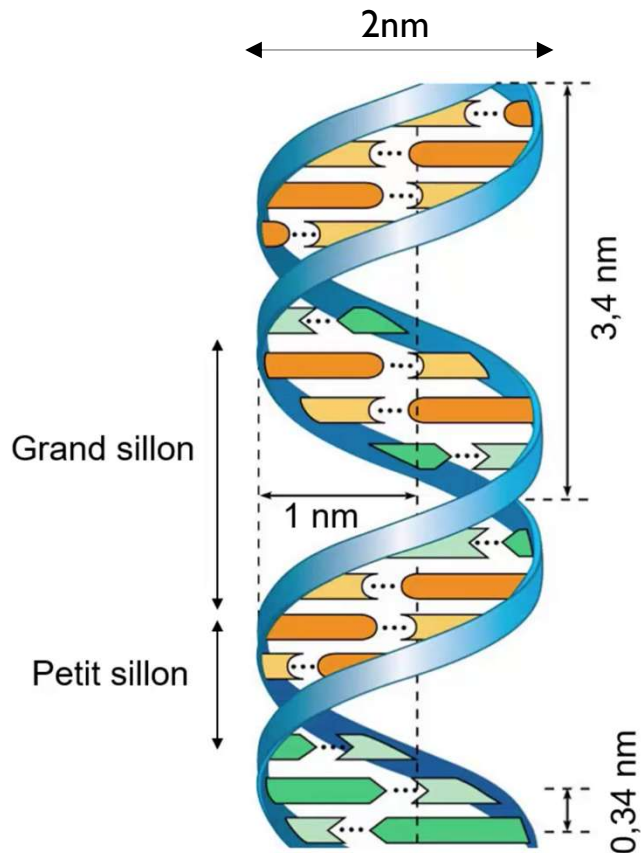
2. Le modèle de Watson et Crick (1953, *Nature*)

Prix Nobel de
Médecine (1962)



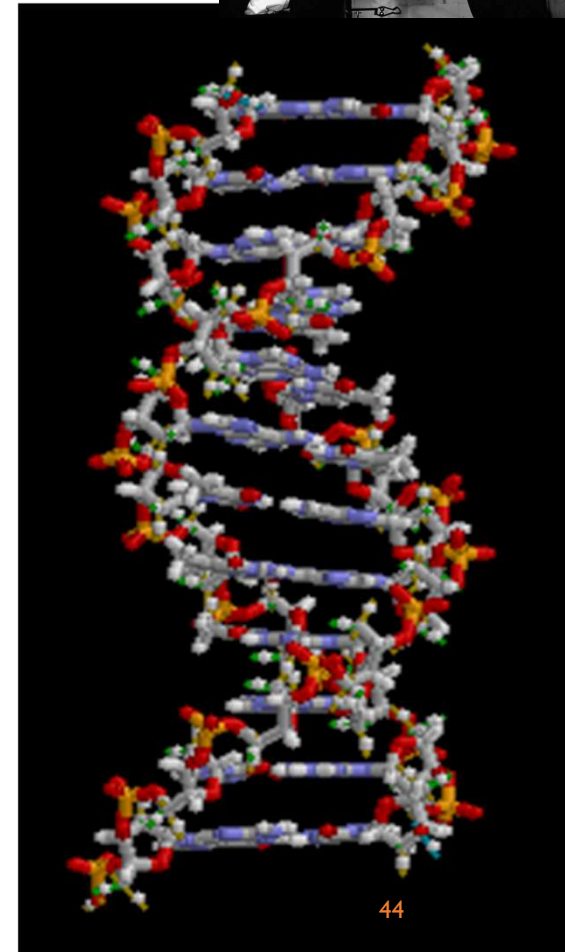
A gauche : J.
Watson

A droite :
F. Crick



- Une **double hélice** (échelle torsadée)

- 2 chaînes nucléotidiques hélicoïdales enroulées autour d'un même axe
- Montants : Riboses/phosphates
- Barreaux : bases azotées
- → Grand et petit sillon



II. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ADN

A. STRUCTURE DE L'ADN

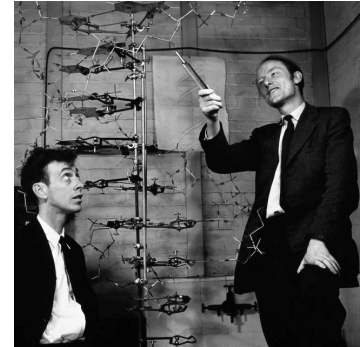
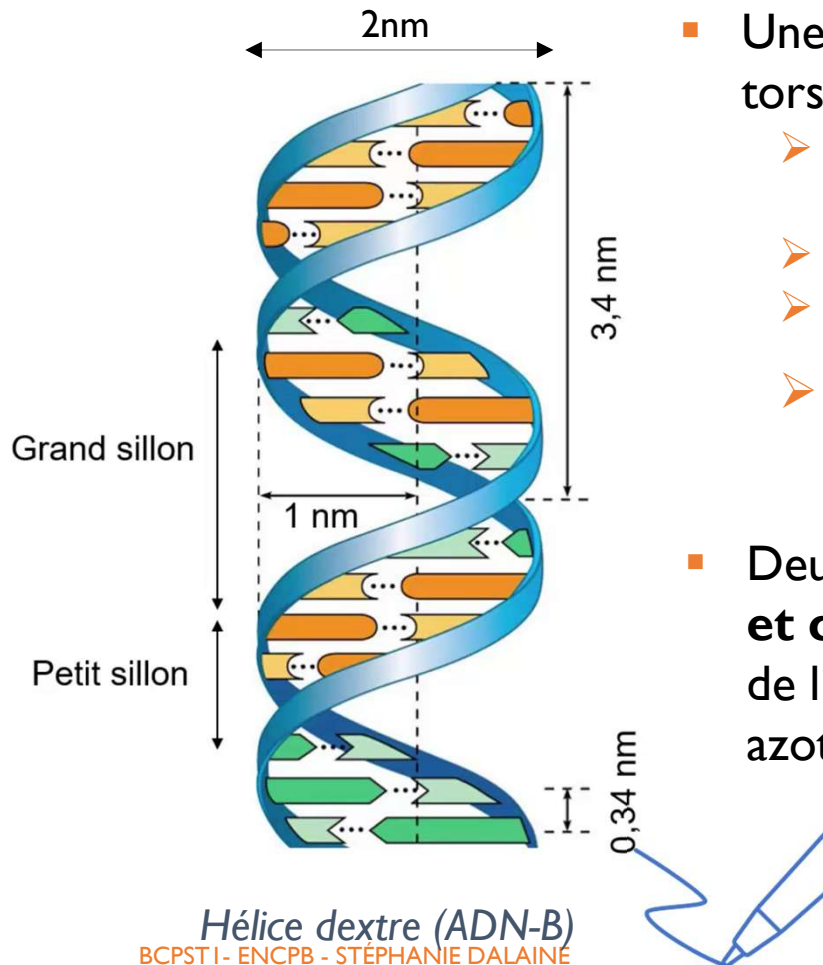
2. Le modèle de Watson et Crick (1953, *Nature*)

Prix Nobel de
Médecine (1962)

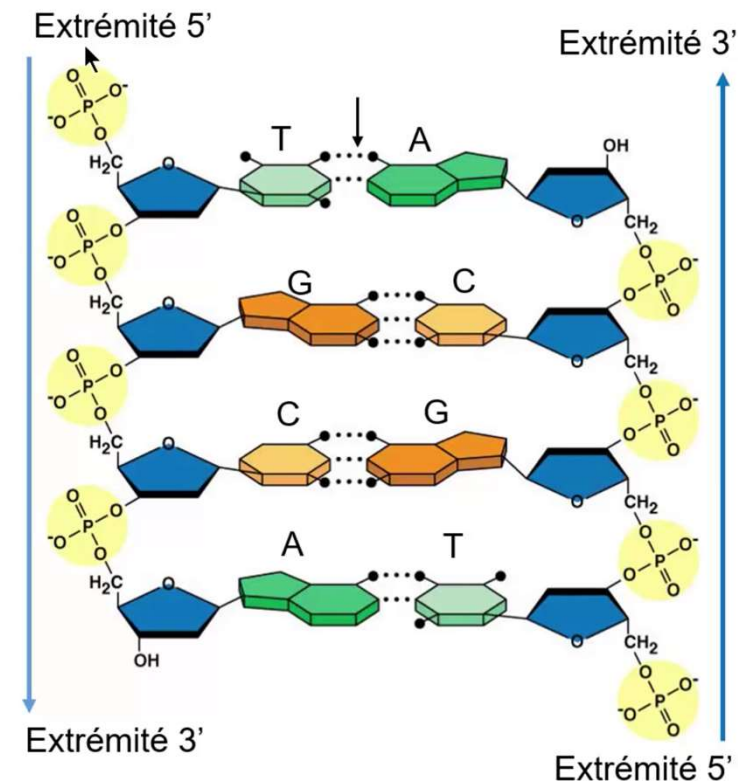


A gauche : J.
Watson

A droite :
F. Crick

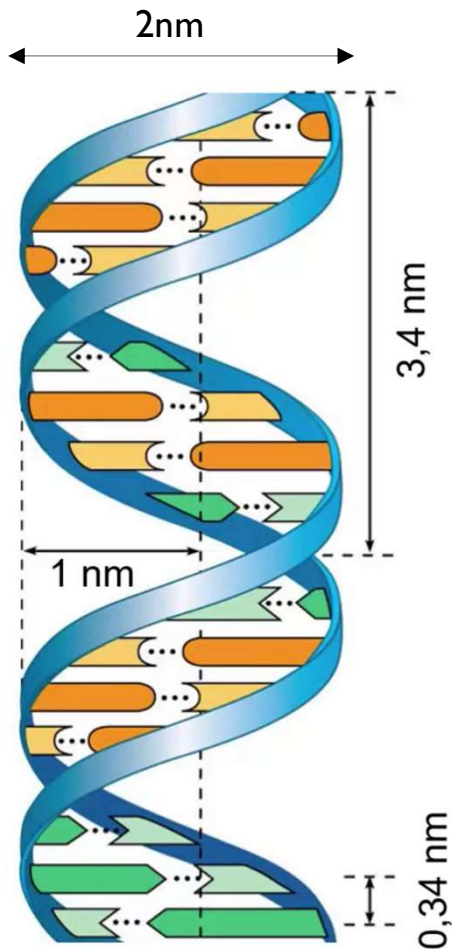


- Une **double hélice** (échelle torsadée)
 - 2 chaînes nucléotidiques hélicoïdales enroulées autour d'un même axe
 - Montants : Riboses/phosphates
 - Barreaux : bases azotées
 - Grand et petit sillon
- Deux chaînes **antiparallèles*** et **complémentaires*** du fait de liaisons H entre bases azotées : A/T et G/C



II. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ADN

QUIZZ



Calculez la longueur de l'ADN contenu dans une cellule humaine, sachant qu'on compte 3 milliards de paires de bases par génome haploïde.



Et sans calculatrice!



II. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ADN

A. STRUCTURE DE L'ADN

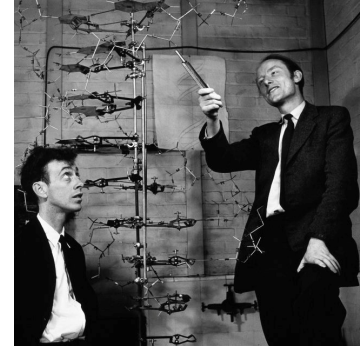
2. Le modèle de Watson et Crick (1953, *Nature*)

Prix Nobel de
Médecine (1962)



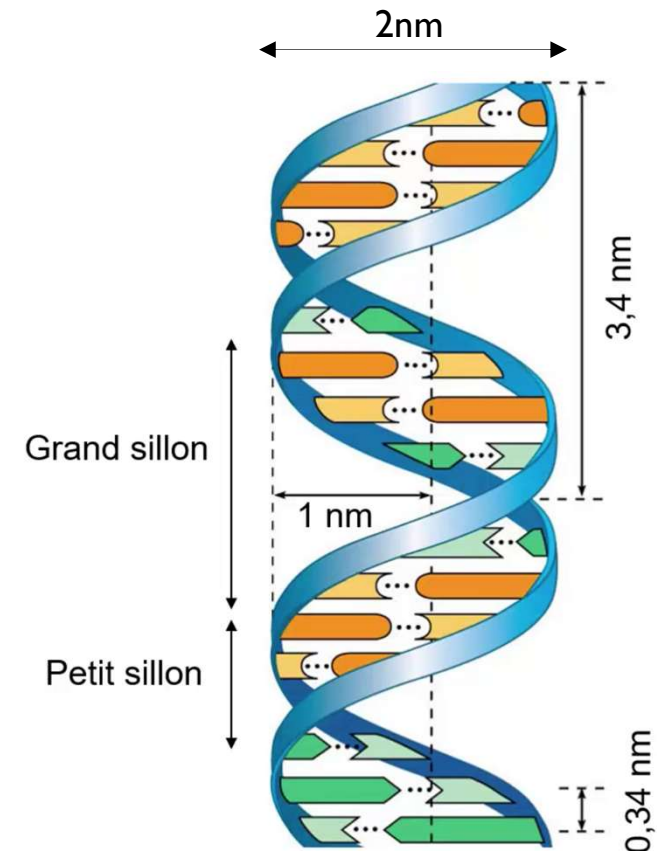
A gauche : J.
Watson,

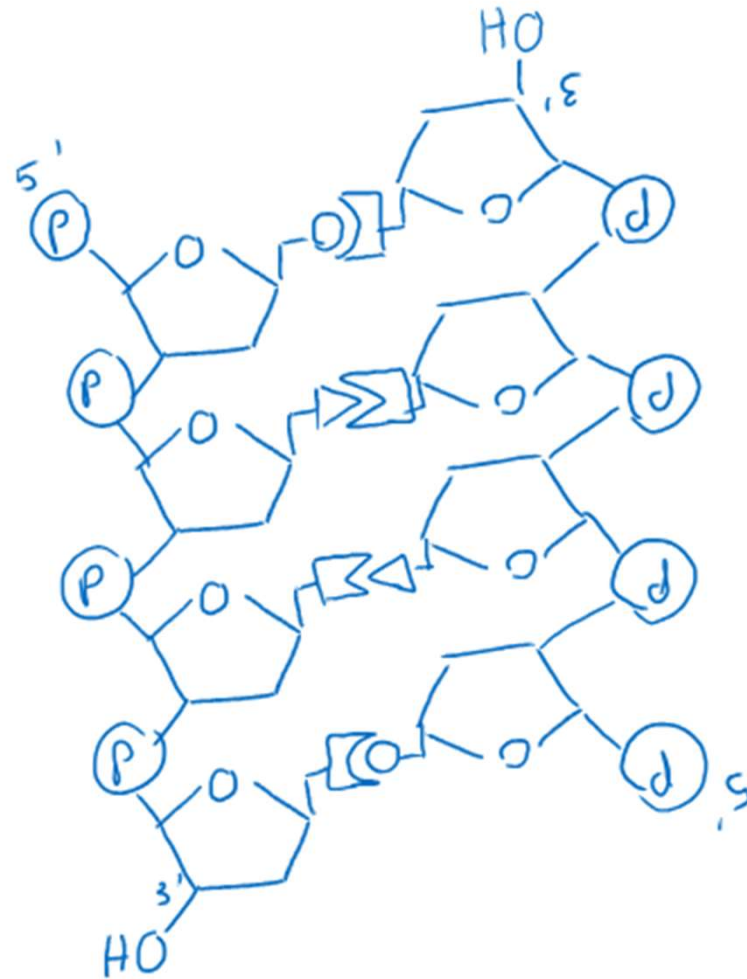
A droite :
F. Crick,



Conséquences :

- Protection de l'information génétique
 - bases azotées en position interne, protégées
- Mécanisme de conservation (réparation), transmission (réplication) et expression (transcription) de l'info génétique
 - Complémentarité des bases
 - Ouverture/fermeture facile de l'ADN
- Contrôle de l'information génétique
 - Bases azotées inaccessibles sur ADN double brin
- Association à des protéines
 - interactions ioniques (phosphate) et sillons



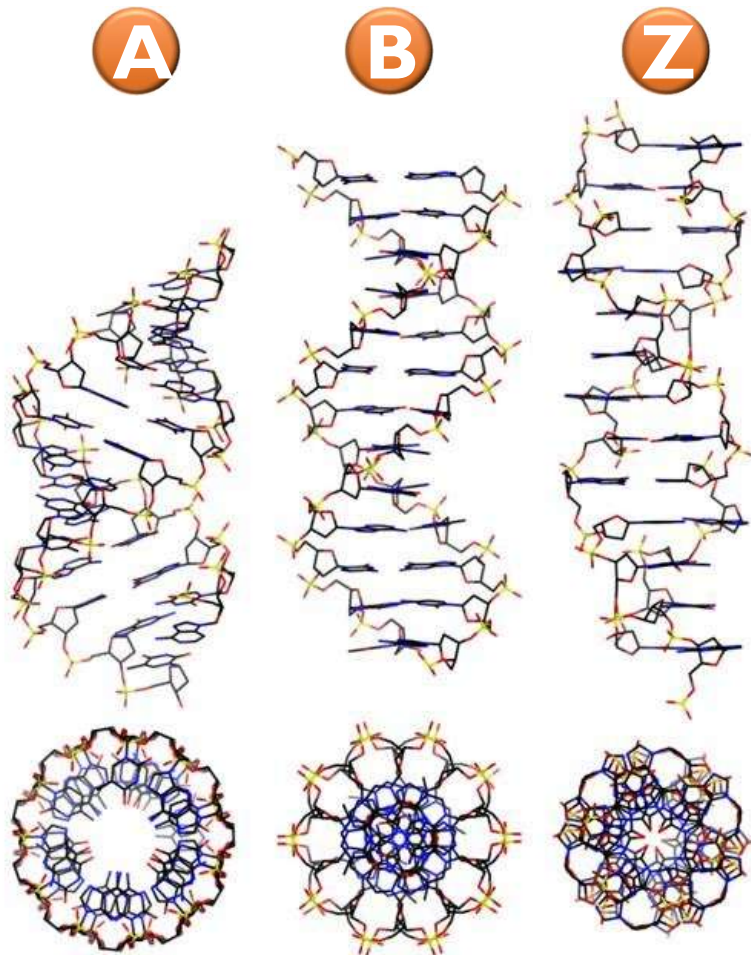


La double hélice est composée de deux chaînes antiparallèles

II. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ADN

A. STRUCTURE DE L'ADN

3. Trois formes d'ADN

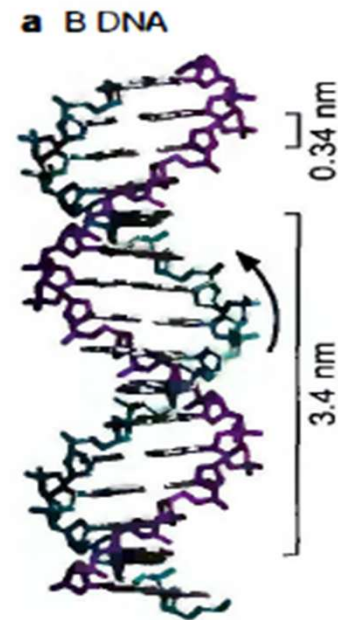


Formes tridimensionnelles A, B, Z de la molécule d'ADN

B

Forme courante dans les cellules

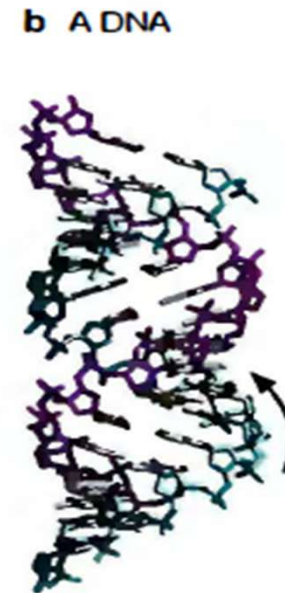
dextre



A

Dans les Hybrides ADN/ARN milieu peu hydraté

dextre



Z

Hétérochromatine, cytosine méthylée

senestre



SV-D-2-3 Nucléotides et acides nucléiques

I. Généralités sur les acides nucléiques

- A. Propriétés
- B. Polymérisation

II. Structure et fonction de l'ADN

- A. Structure
- B. Propriétés physico-chimiques
- C. Fonction

III. Structure et fonctions des ARN

- A. Structure
- B. Diversité et fonctions

II. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ADN

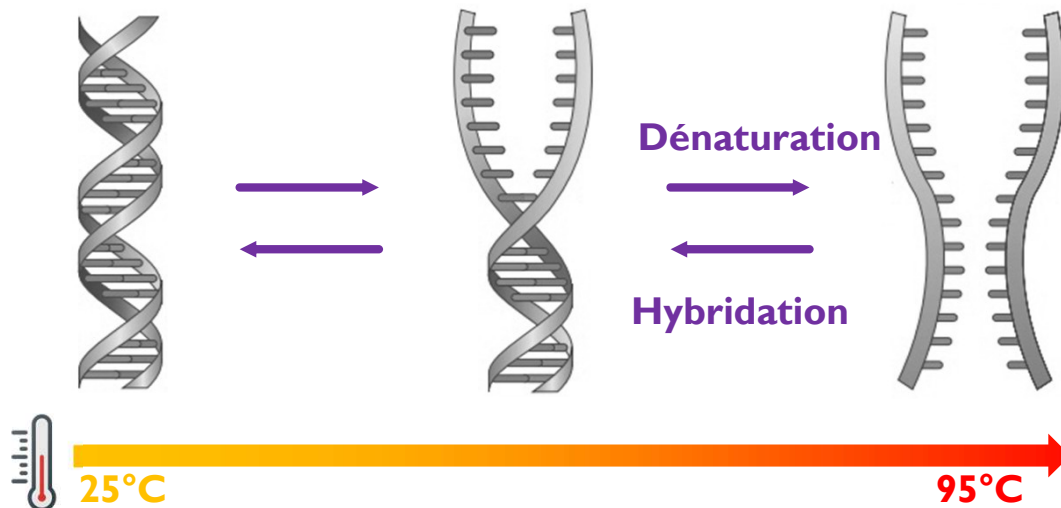
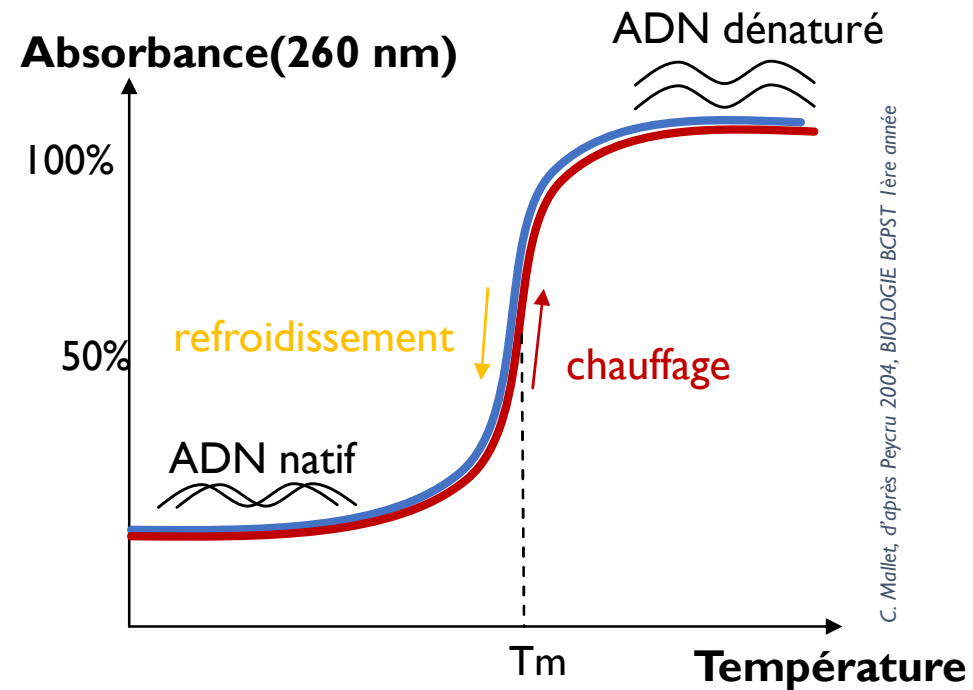
B. PROPRIÉTÉS

PHYSICOCHIMIQUES DE L'ADN

- Molécule très peu réactive chimiquement
- **Dénaturation*** et **hybridation*** de l'ADN
- Absorbance à 260 nm
- Densité et viscosité supérieures pour le brin unique que le double brin

Dénaturation : n.f. pour l'ADN ; séparation des 2 brins constitutifs par rupture des liaisons H entre bases azotées

Hybridation : n.f. association physique entre 2 chaînes polynucléotidiques par liaisons H entre bases azotées



C. Mallet, d'après Peycru 2004, BIOLOGIE BCPST 1ère année

Absorbance de l'ADN à 260nm

L'absorbance est proportionnelle à la [ADN]

A 25°C : $A_{\text{mesurée}} < A_{\text{théorique}}$ des bases azotées

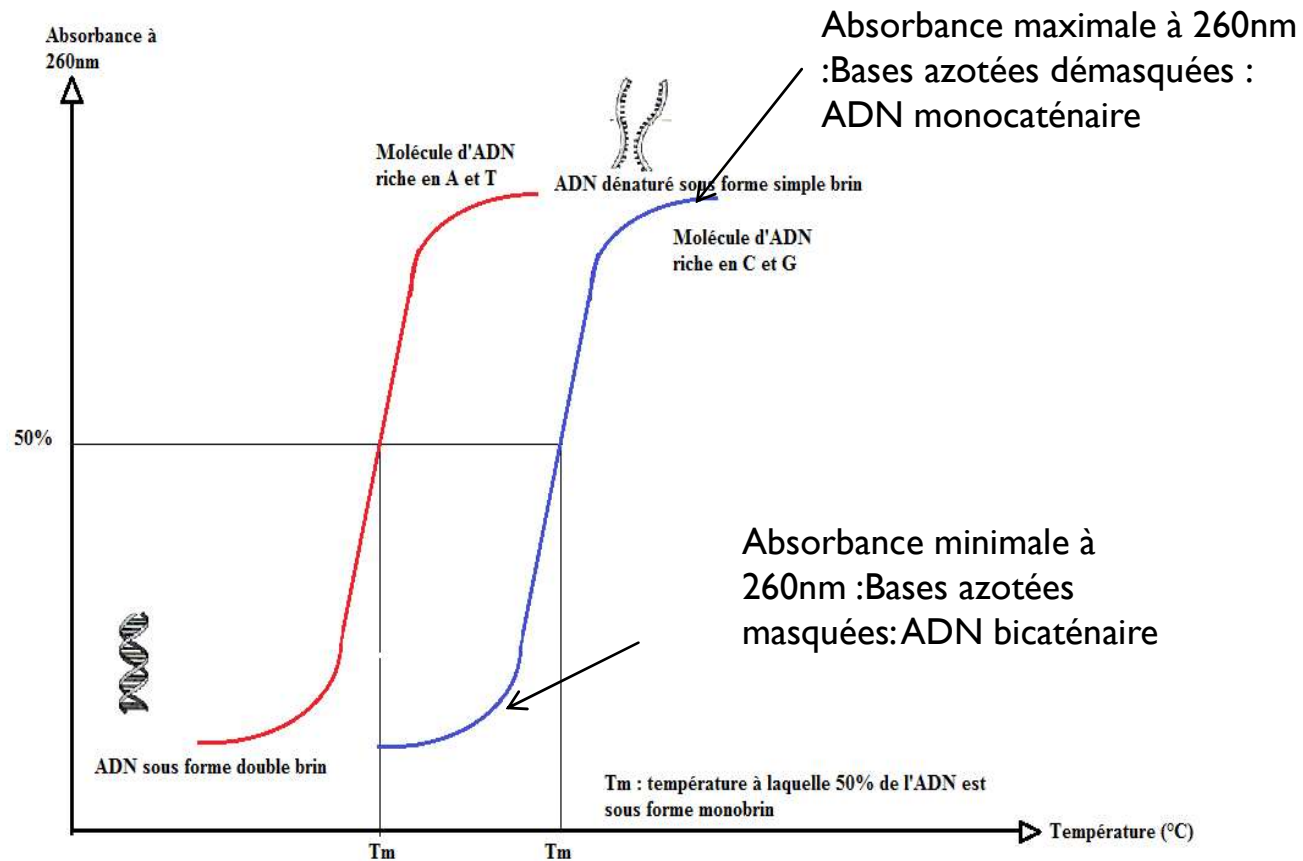
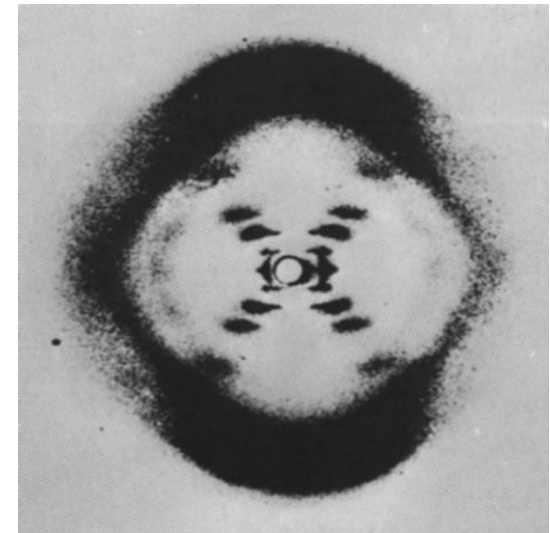
Après chauffage : $A_{\text{mesurée}} = A_{\text{théorique}}$

Absorbance
(260 nm)

100%

50%

Température (°C)



Résultat de la diffraction aux rayons X d'une molécule d'ADN

Mise en évidence de l'association par complémentarité des bases azotées de l'ADN

SV-D-2-3 Nucléotides et acides nucléiques

I. Généralités sur les acides nucléiques

- A. Propriétés
- B. Polymérisation

II. Structure et fonction de l'ADN

- A. Structure
- B. Propriétés physico-chimiques
- C. Fonction

III. Structure et fonctions des ARN

- A. Structure
- B. Diversité et fonctions

II. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ADN

C. FONCTIONS

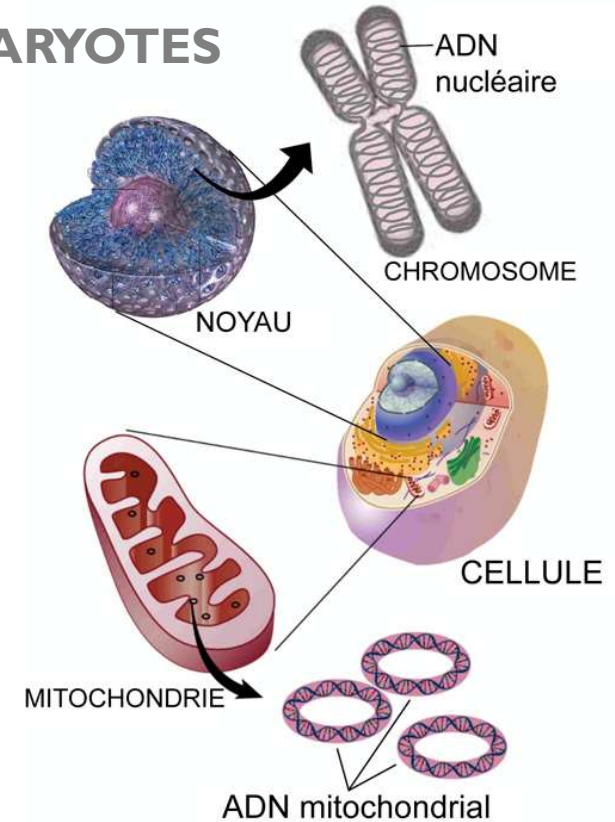
Fonction

- stockage de l'information génétique dans la séquence d'ADN

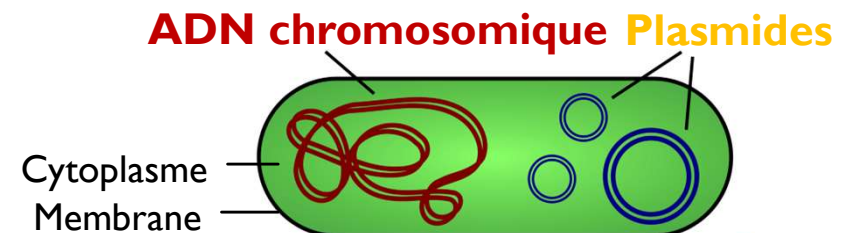
Diversité des ADN

- Eucaryotes ($\sim 10^9$ pb) :
 - ADN linéaire (noyau)
 - ADN circulaires (chloroplaste, mitochondrie)
- Eubactéries ($\sim 10^6$ pb) :
 - ADN chromosomique circulaire (cytoplasme)
 - +/- plasmides circulaires (cytoplasme)
- Virus ($\sim 10^4 - 10^5$ pb) :
 - ✓ ADN simple ou double brin
 - ✓ ADN linéaire ou circulaire

EUCARYOTES



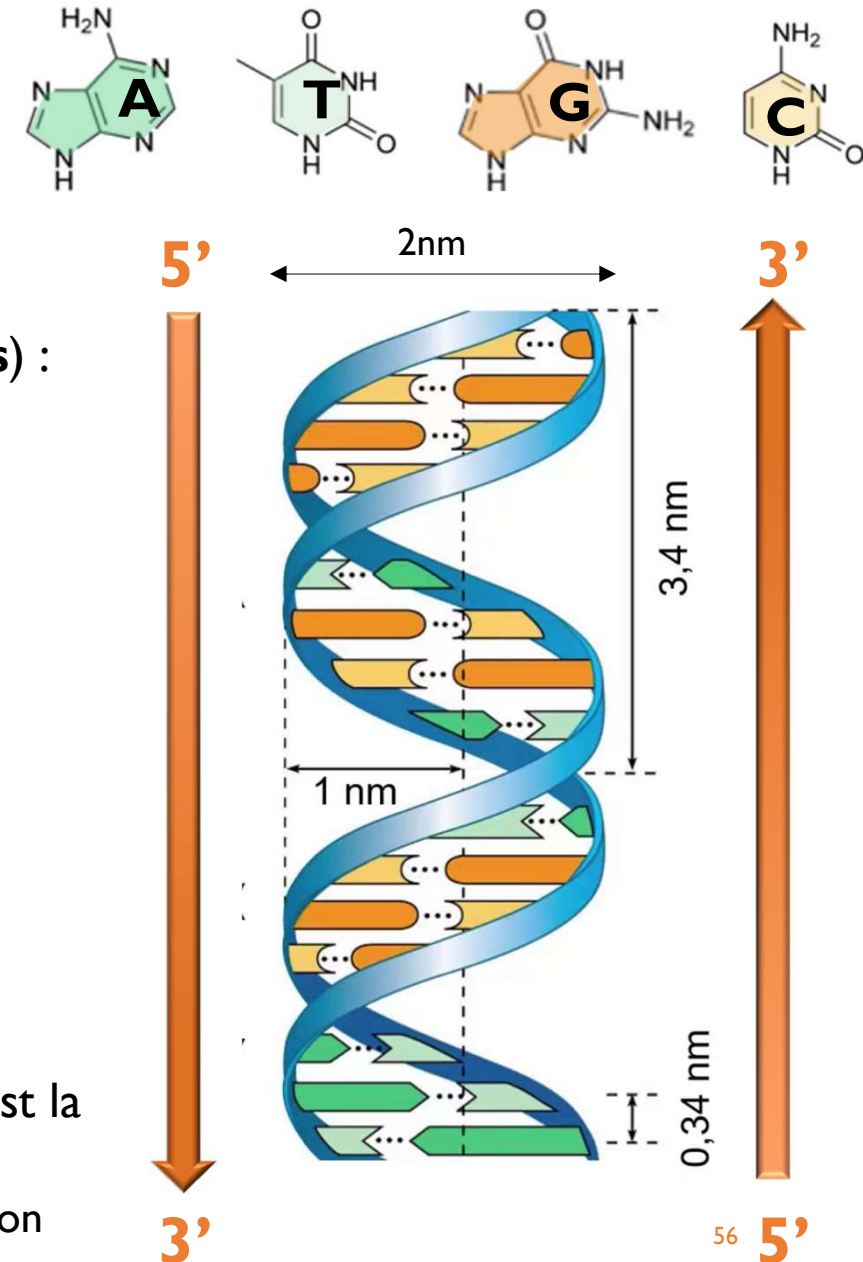
EUBACTERIES



II. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ADN

BILAN

- L'ADN est un **polymère de désoxynucléotides** :
 - Phosphate + désoxyribose + A/T/G/C
 - Il est constitué de 2 brins polynucléotidiques (**bicaténaires**) :
 - **antiparallèles**
 - **complémentaires** (liaisons H)
 - formant une **double hélice** (3 types différents ADN-A, B, Z)
 - L'ADN peut être **linéaire** ou **circulaire** :
- | Groupe | Forme | Type | Localisation |
|-------------|------------|--|--------------|
| Eucaryotes | Linéaire | ADN génomique | cytoplasme |
| Eucaryotes | Circulaire | ADN mitochondrial
ADN chloroplastique | organites |
| Eubactéries | Circulaire | ADN génomique | noyau |
- Chez les Eucaryotes, l'ADN est associé à des protéines ; c'est la **chromatine***
 - La chromatine peut être ± **compactée** en lien avec sa fonction



II. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ADN

BILAN

Structure concernée	Caractéristiques structurales	Propriétés et conséquences biologiques
Double hélice	Interactions de Van der Waals entre les paires de bases proches	Stabilité → structure stable de l'hélice
	Etat bicaténaire	Contrôle → Information en « double exemplaire », possibilité de réparation
	Grand sillon et petit sillon (à cause de l'angle des bases complémentaires)	Contrôle et transcription → Accessibilité des complexes protéiques à la séquence de base azotée (reconnaissance de la séquence, transcription, contrôle...)
Bases azotées	Suite ordonnée de nucléotides = séquence de bases azotées	Expression → Information codée (sous forme de triplets)
	Liaisons H entre les bases complémentaires	Contrôle, transcription, stabilité → Ouverture aisée de la double hélice pour la transcription, la réparation ou la recombinaison génétique
Groupe phosphate	Charge négative liée aux phosphates	Contrôle, transcription, stabilité → Liaisons ioniques avec des cations (Mg^{2+} , Ca^{2+}) et des protéines basiques (facteurs de transcription, hormones liposolubles, protéines de structure - histones)
Liaison covalente	Liaison covalente phosphodiester entre le 3' OH d'un désoxyribose et le 5' P du suivant	Stabilité → Rigidité longitudinale, résistance mécanique à la rupture
	Polymérisation orientée en 3' OH	Contrôle → Polymérisation contrôlée assurant une stabilité de la molécule

SV-D-2-3 Nucléotides et acides nucléiques

I. Généralités sur les acides nucléiques

- A. Propriétés
- B. Polymérisation

II. Structure et fonction de l'ADN

- A. Structure
- B. Propriétés physico-chimiques
- C. Fonction

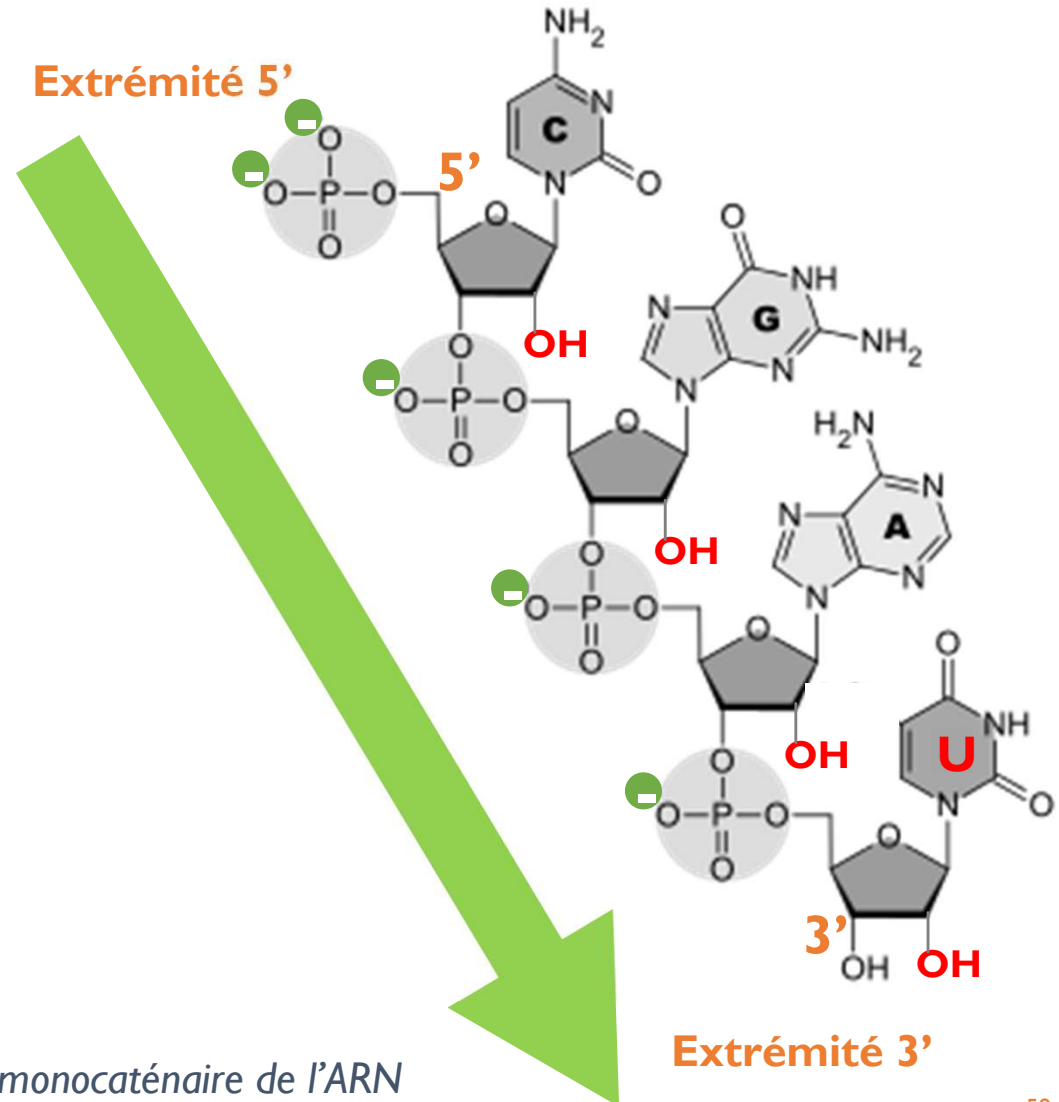
III. Structure et fonctions des ARN

- A. Structure
- B. Diversité et fonctions

III. STRUCTURE ET FONCTION DES ARN

A. STRUCTURE

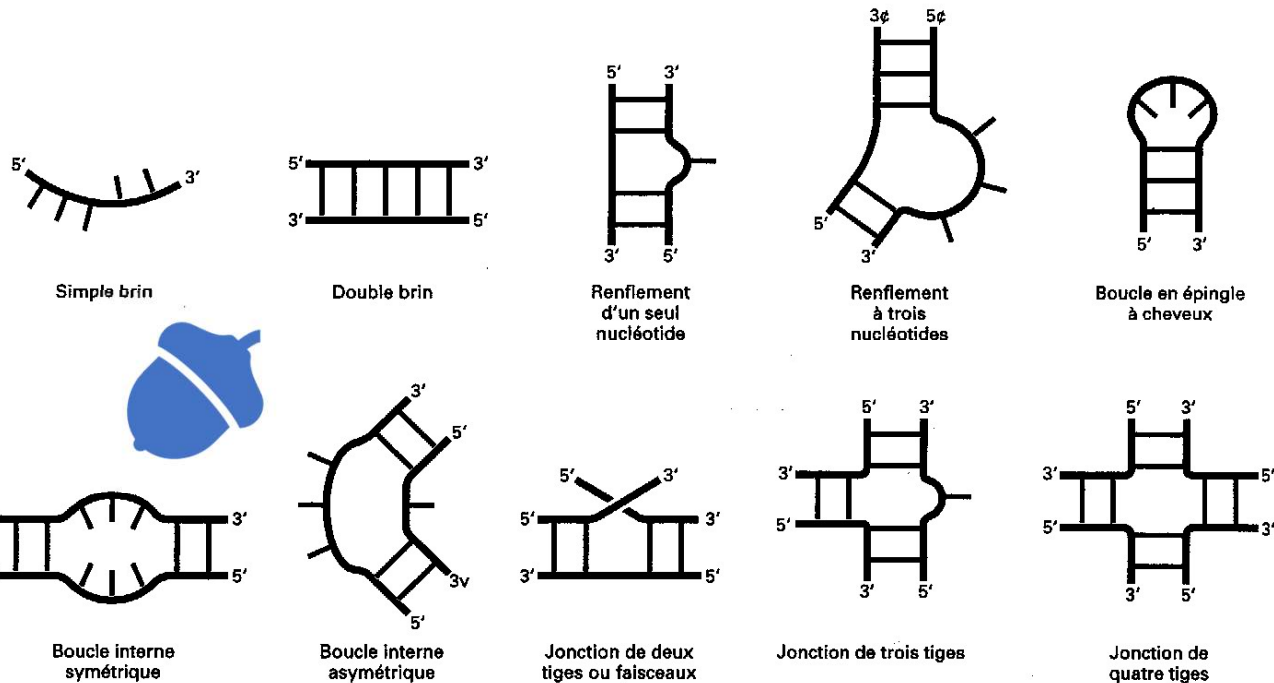
- Polymère de NTP (ribose) : **A**, **U**, **G**, **C**
- Molécule **orientée**
- Fondamentalement **monocaténaire***
- Molécules **plus courtes** que l'ADN ($10^1 - 10^6$ nt)



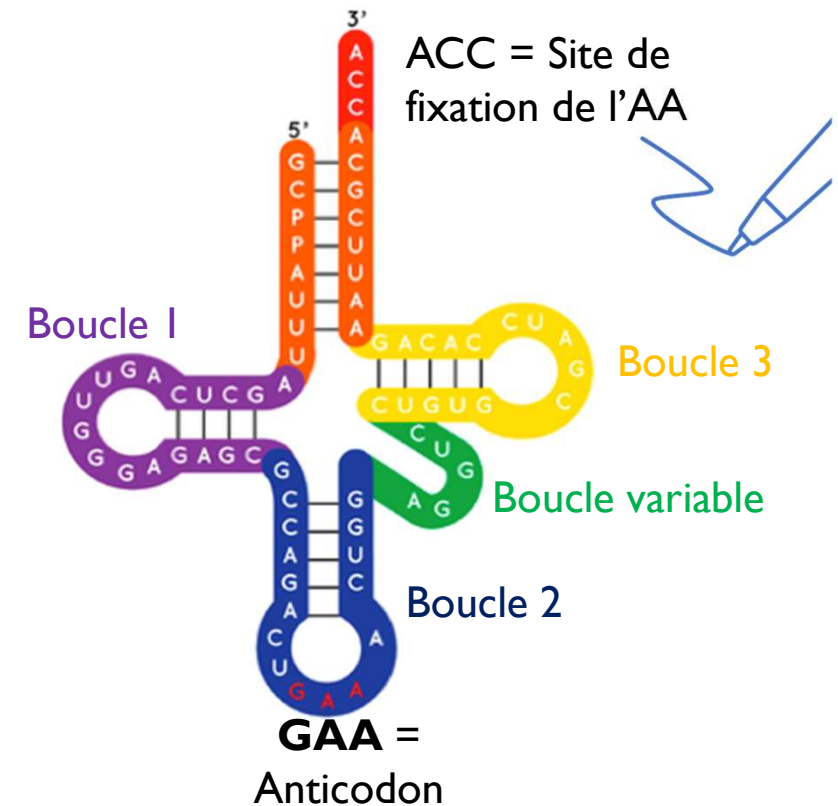
III. STRUCTURE ET FONCTION DES ARN

A. STRUCTURE

- Malgré une structure fondamentalement monocaténaire, les **bases azotées** d'un même ARN peuvent former des **appariements** de bases **non canoniques**
 - Structures bicaténaires irrégulières
 - Formes 3D complexes et variées

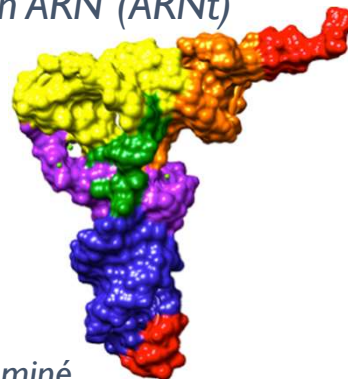


Organisations secondaires de l'ARN



Structure secondaire et 3D d'un ARN (ARNt)

- 3 boucles
- Forme globale en L
- Fixation d'un acide aminé
- Fixation d'un anticodon sur l'ARNm



SV-D-2-3 Nucléotides et acides nucléiques

I. Généralités sur les acides nucléiques

- A. Propriétés
- B. Polymérisation

II. Structure et fonction de l'ADN

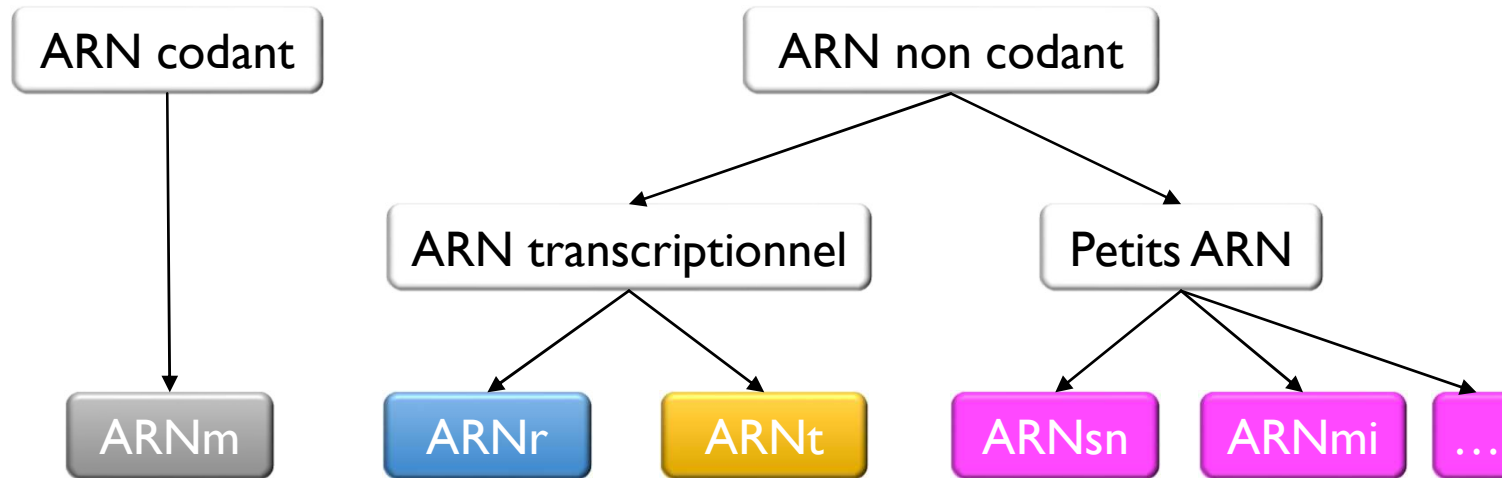
- A. Structure
- B. Propriétés physico-chimiques
- C. Fonction

III. Structure et fonctions des ARN

- A. Structure
- B. Diversité et fonctions

III. STRUCTURE ET FONCTION DES ARN

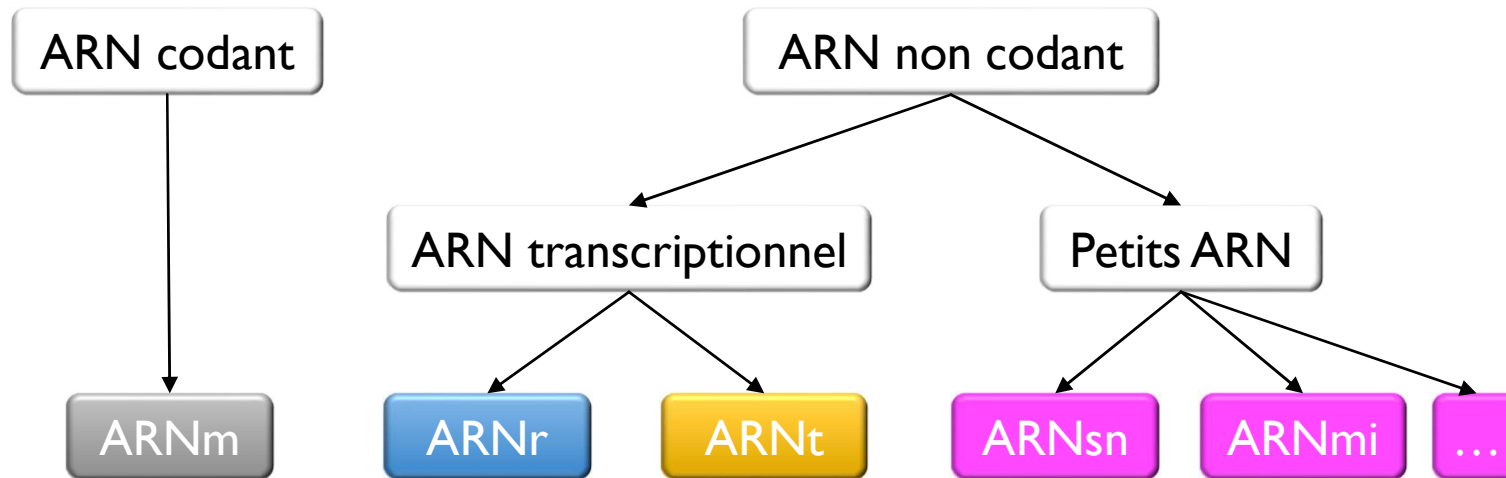
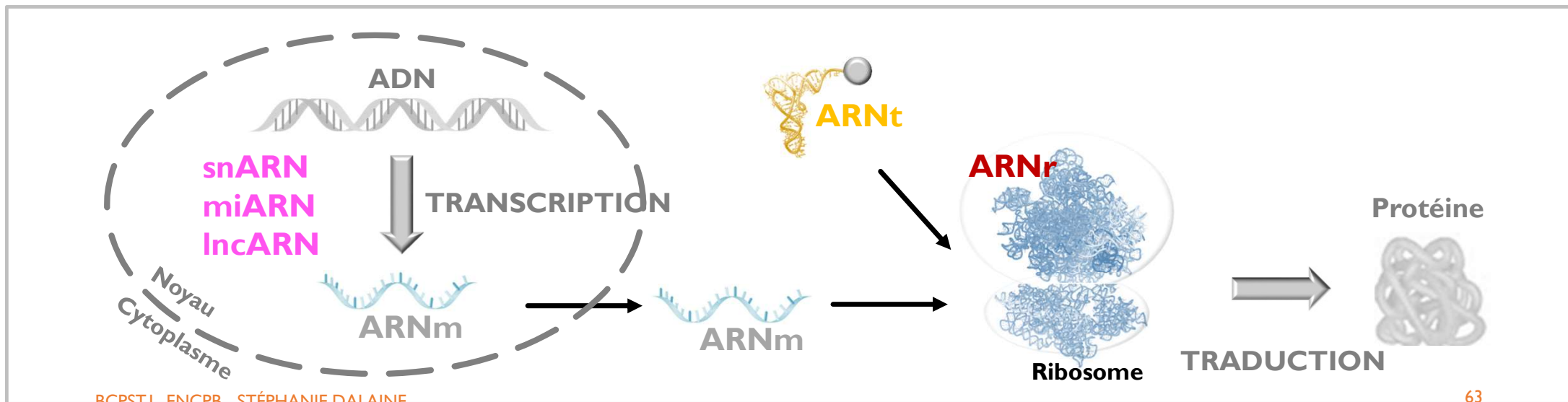
B. DIVERSITÉ ET FONCTIONS



Type	Proportion	Taille	Rôle
ARNr (ribosomique)	80%	—	Participe à la structure et la fonction (ribozyme) des ribosomes
ARNt (transfert)	15%	75-85 nt	Etablit la correspondance entre un codon et un AA
ARNm (messenger)	< 5%	Variable (< 10 ⁴ nt)	Transporte l'information génétique du noyau au cytoplasme
snARN (small nuclear)	2%	60-300 nt	Participe à la maturation des ARNm
miARN (micro)		21-25 nt	Régule l'expression des gènes
lncARN (long non-coding)		> 200 nt	Régule l'expression des gènes

III. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ARN

B. DIVERSITÉ ET FONCTIONS

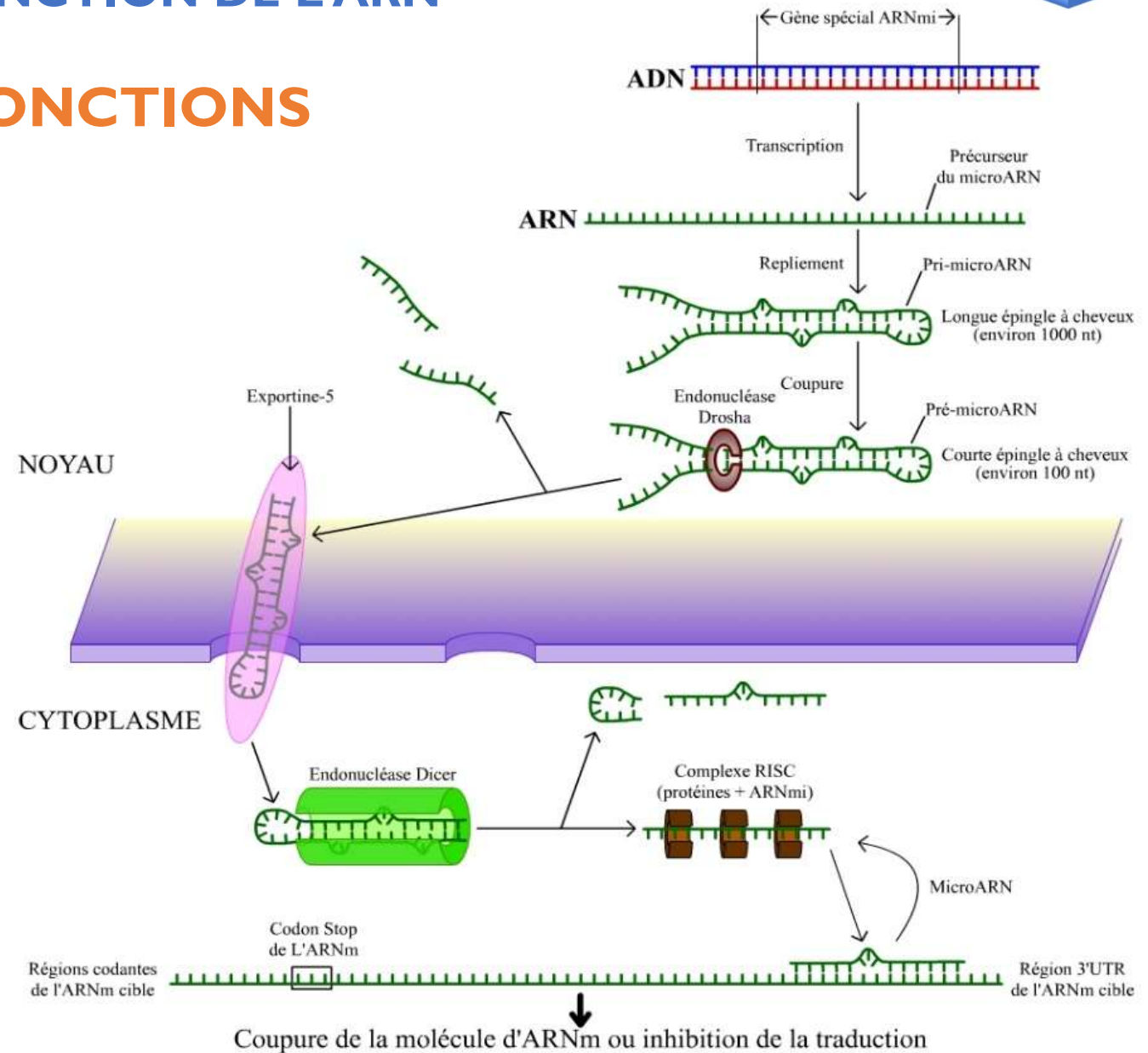


III. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ARN

B. DIVERSITÉ ET FONCTIONS

Petits ARN

Ex : complexe RISC : délétion d'une séquence d'ARNm cible

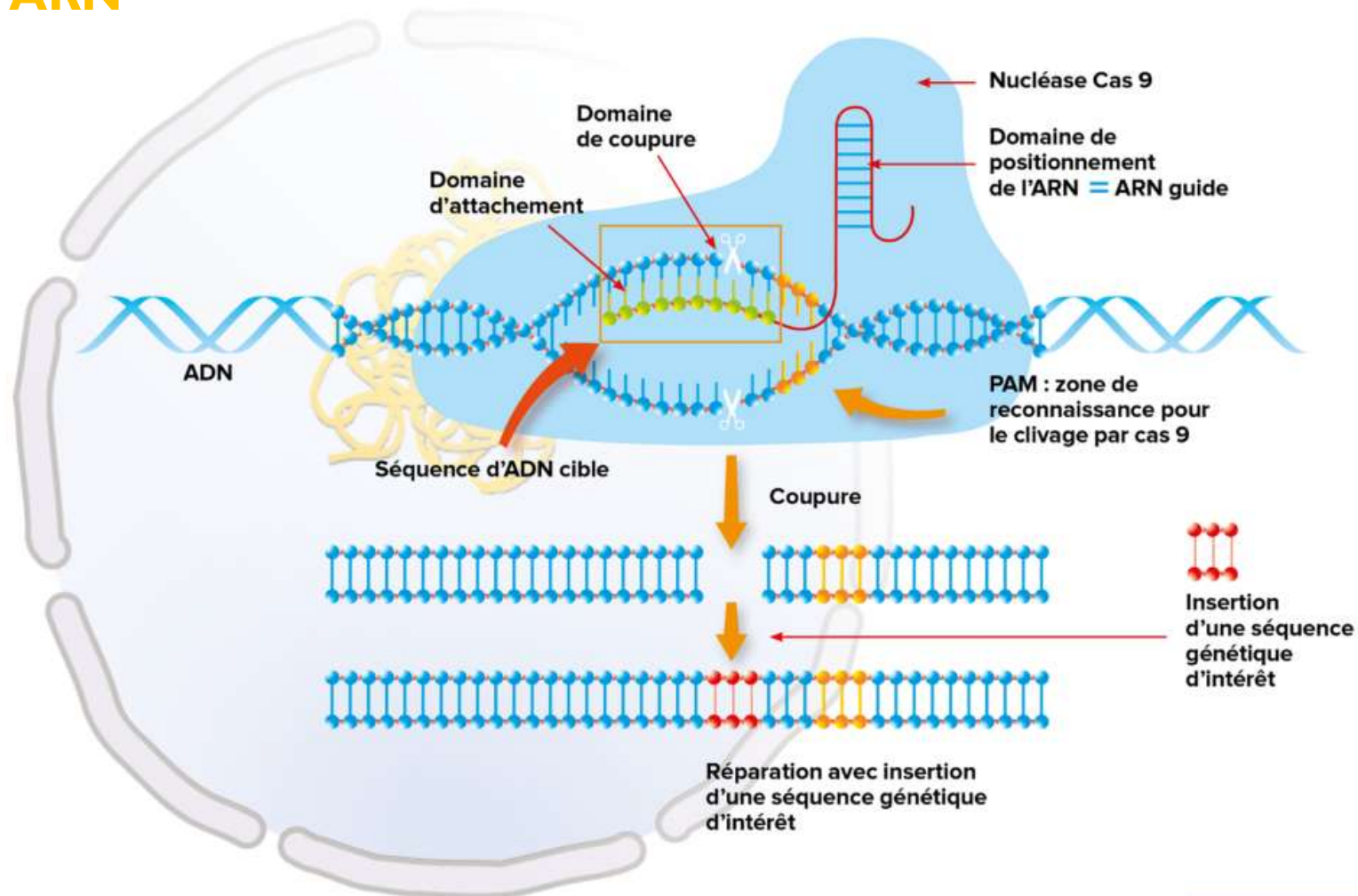


III. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ARN

B. DIVERSITÉ ET FONCTIONS

Petits ARN

Ex : complexe CrispR Cas 9
Edition de l'ADN



SV-D-2-3 Nucléotides et acides nucléiques

ADN

acide désoxyribonucléique

ARN

acide ribonucléique

Polymères de nucléotides (hétéropolymères)
linéaires, orientés (5' > 3') et **chargés négativement** (P-)
dont la **séquence** est porteuse d'information

A = Adénine
T = Thymine
U = Uracile
G = Guanine
C = Cytosine

A, G, C, T

désoxyribose

Bicaténaire (2 brins)

Molécule très longue

Structure 3D en double hélice
dextre

Deux brins antiparallèles

Complémentarité des bases :

A/T et G/C

Petit et grand sillon

Interactions avec d'autres biomolécules (ex: protéines)

Rôle : **Stockage** de l'information
génétique (séquence)

A, G, C, U

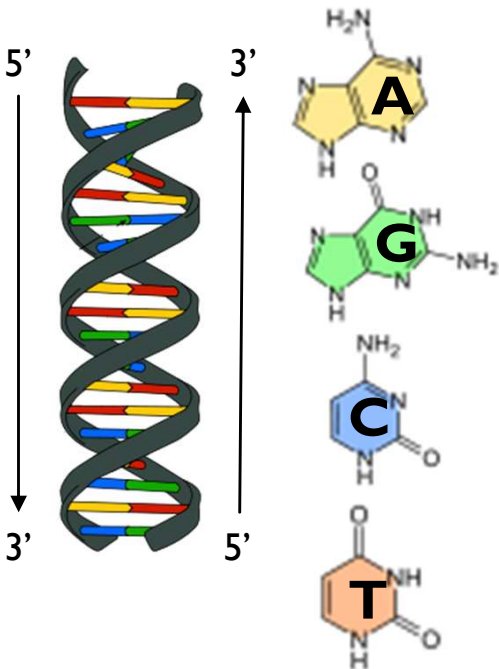
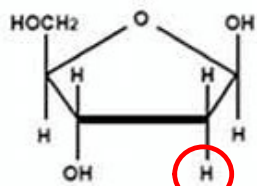
ribose

Monocaténaire (1 brin)

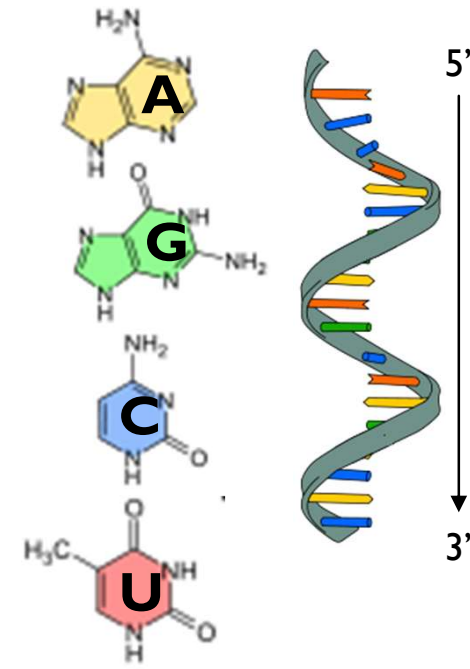
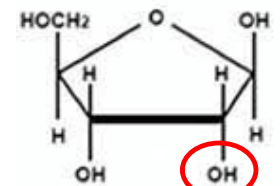
Molécule plus courte

Structure 3D variable
Possibilité d'appariement des bases
Structures secondaires

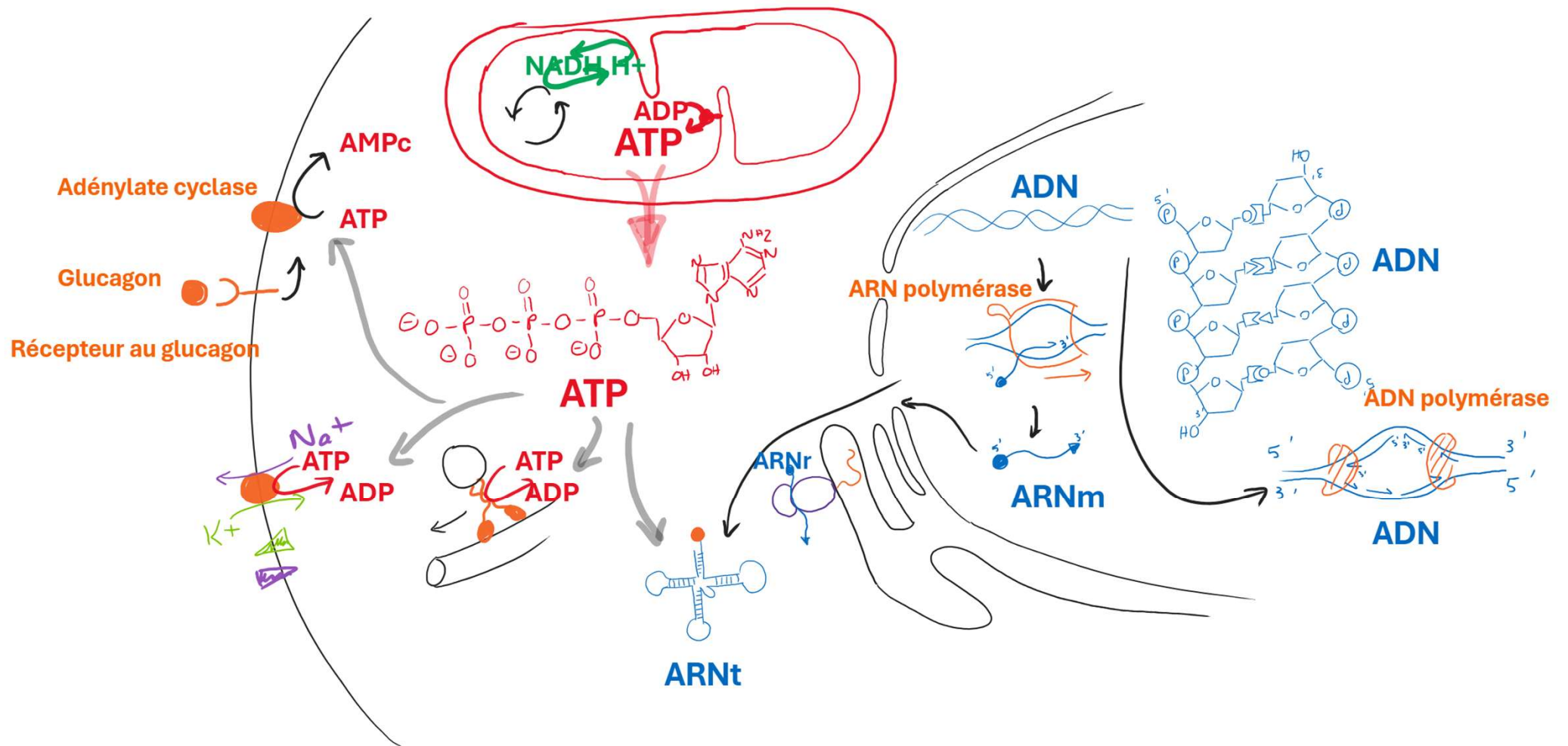
Rôle : **Expression** de l'information
génétique et sa **régulation**



Désoxyribose



Ribose



Nucléotides: monomères à rôle énergétique et informatif

Acides nucléiques: porteurs de l'information génétique

