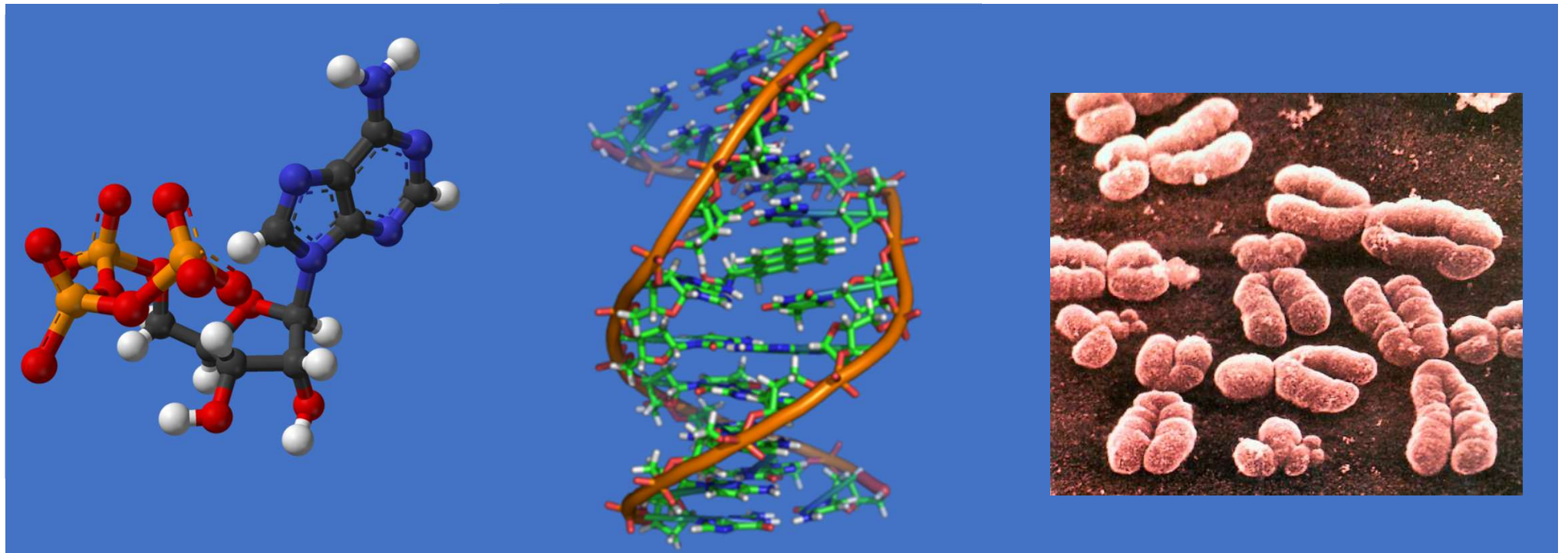


# SV-D-2-3 NUCLÉOTIDES ET ACIDES NUCLÉIQUES

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"><li>- représenter l'organisation des nucléotides (Pentose - phosphate - base azotée) ;</li><li>- indiquer la distinction ribose / désoxyribose ;</li><li>- représenter schématiquement ATP et NAD en Liaison avec leur fonction d'intermédiaires du Métabolisme ;</li></ul> <p>La seule formule exigible est celle de l'ATP.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- 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)</li></ul>

# INTRODUCTION

## Acides nucléiques

**ADN = Acide DésoxyriboNucléique**

**ARN = Acide RiboNucléique**

**Structure ?**

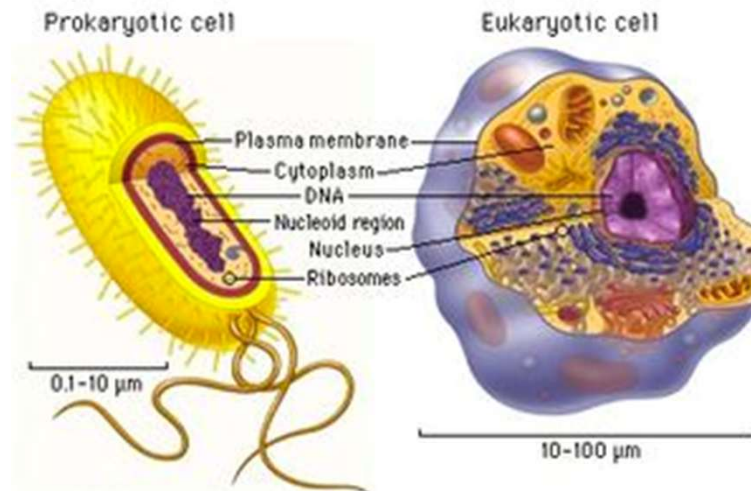
**Fonctions ?**

Stockage et  
expression de  
l'information  
génétique

**Où les trouve-t-on ?**

	Acides nucléiques
<b>Bactérie</b>	23
<b>Mammifère</b>	3

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



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

# 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

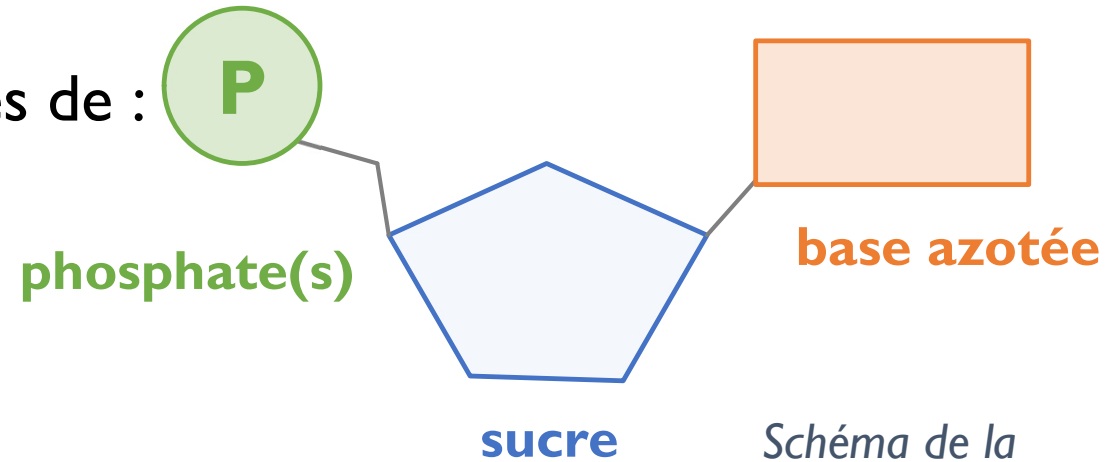
- A. Constituants des acides nucléiques
- B. Coenzymes nucléotidiques
- C. Nucléotides seconds messenger

## I. STRUCTURE DES NUCLÉOTIDES

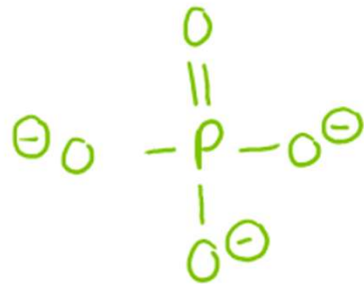
### A. VUE D'ENSEMBLE

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

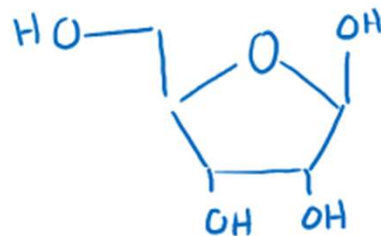
- | **sucres**
- | **base azotée**
- | à 3 **phosphate(s)**



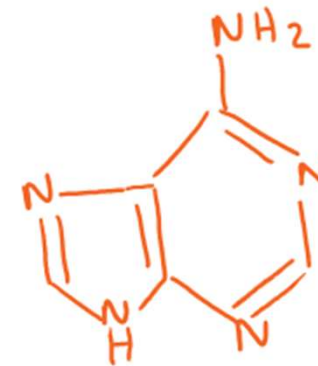
*Schéma de la structure de base des nucléotides*



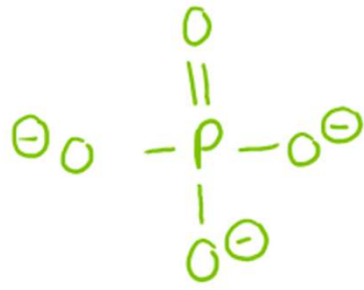
phosphate



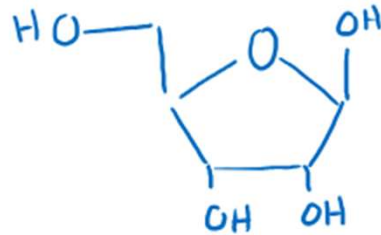
(désoxy-)ribose



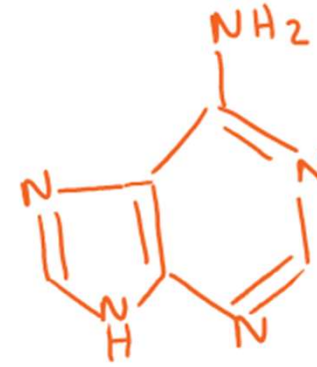
base azotée (adénine)



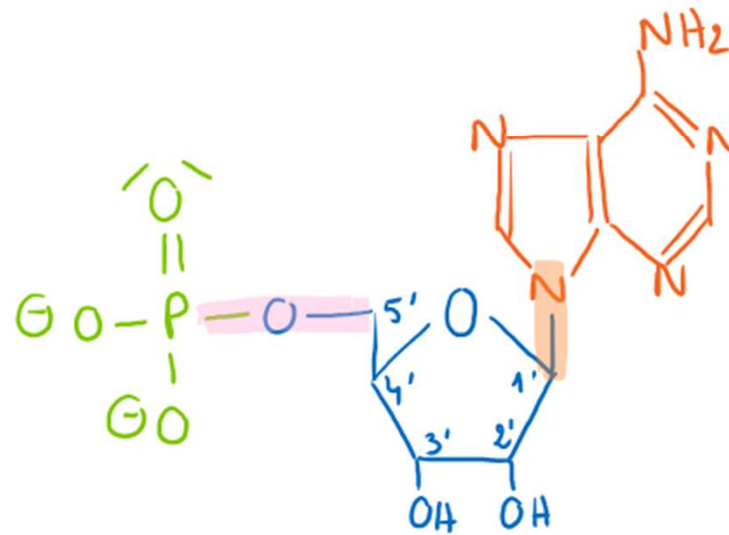
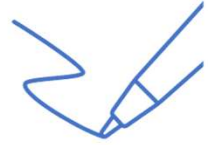
phosphate



(désoxy-)ribose



base azotée (adénine)



Liaison phosphoester

Liaison N-osidique

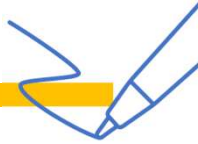
# PARTIE I : LES NUCLEOTIDES, PETITES MOLECULES SOLUBLES, MOBILES ET BRIQUES ELEMENTAIRES DES ACIDES NUCLEIQUES

## I. Structure d'un nucléotide

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

## II. Fonctions des nucléotides

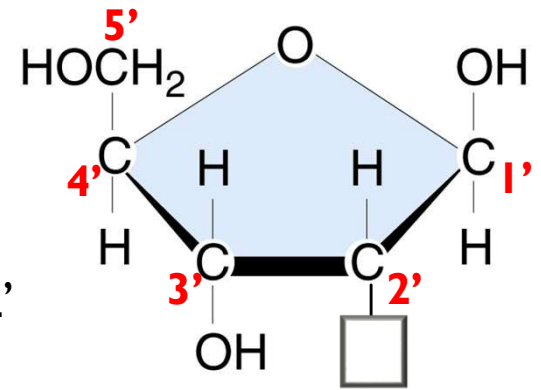
- A. Constituants des acides nucléiques
- B. Coenzymes nucléotidiques
- C. Nucléotides seconds messenger



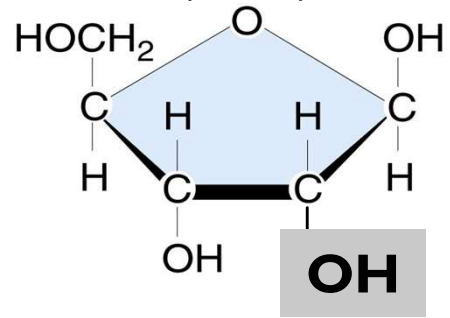
# I. STRUCTURE DES NUCLÉOTIDES

## B. LE SUCRE, ÉLÉMENT STRUCTURAL CENTRAL

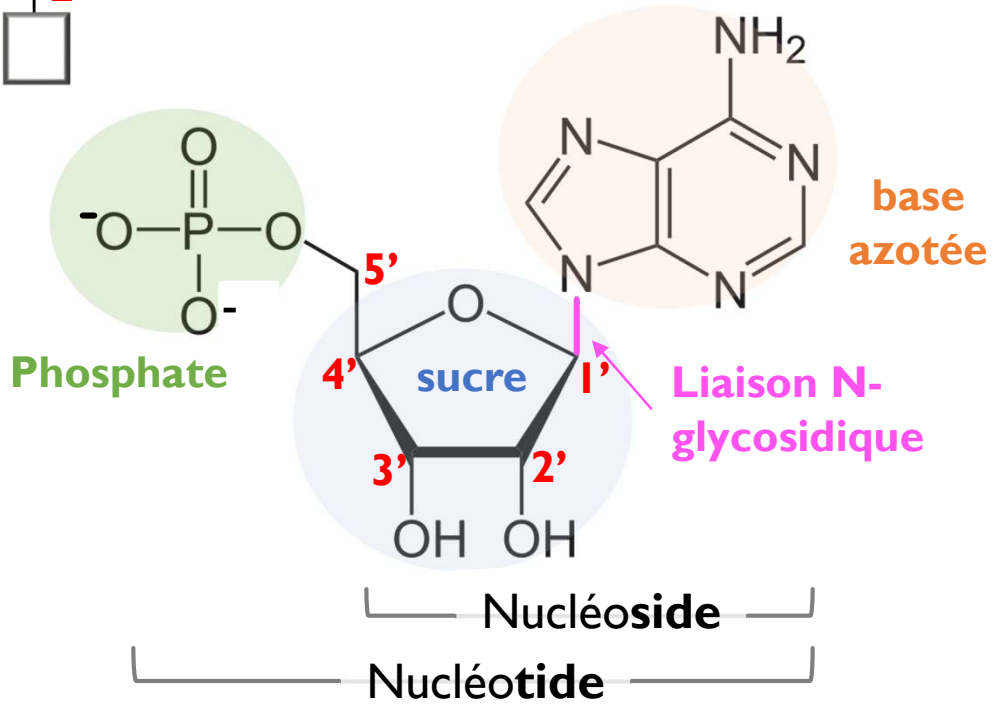
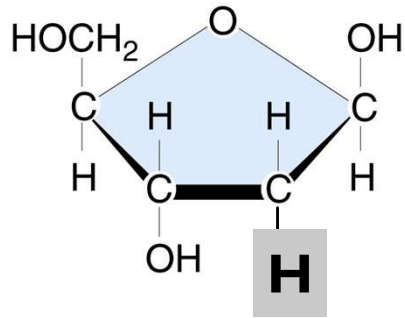
- Le sucre est un **pentose**
  - Sucre à 5 carbones
  - Numérotation 1' à 5'
  - Groupe variable sur le C-2'
  
- Le **sucre** peut former des **liaisons...**
  - ... avec une **base azotée** en 1'
    - ✓ liaison *N-glycosidique*
  - ... avec un **phosphate** en 5'
    - ✓ → liaison *phosphoester*



**Ribose**  
(ARN)



**Désoxyribose**  
(ADN)



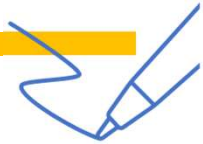
# PARTIE I : LES NUCLEOTIDES, PETITES MOLECULES SOLUBLES, MOBILES ET BRIQUES ELEMENTAIRES DES ACIDES NUCLEIQUES

## 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

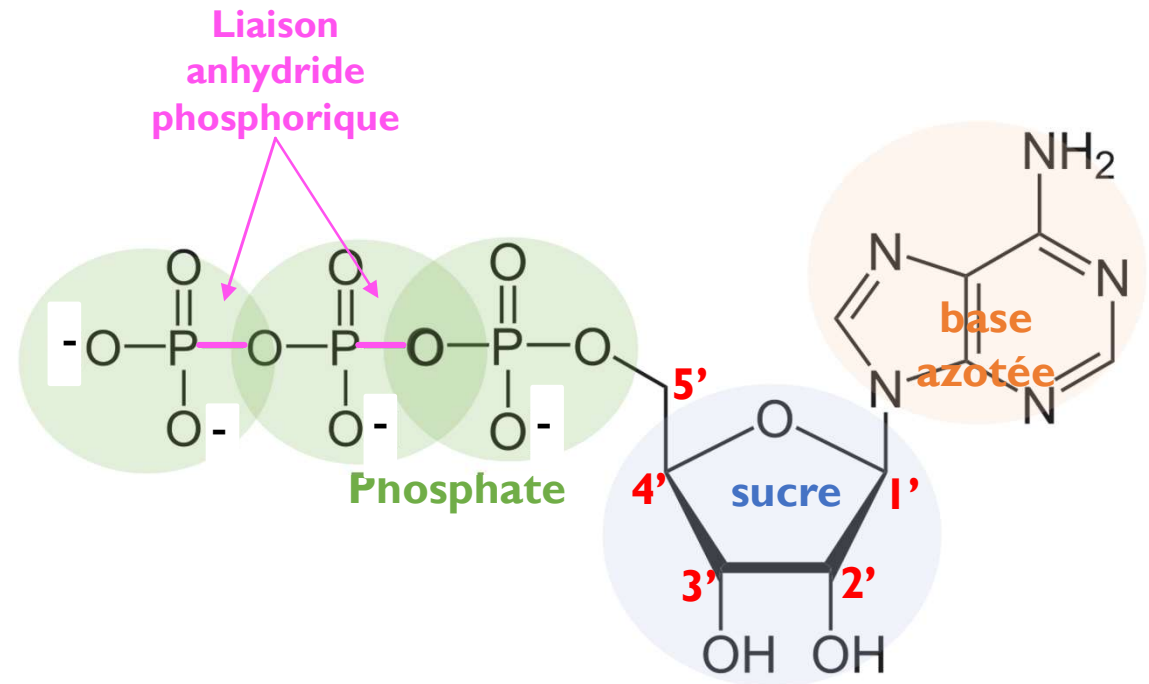
- A. Constituants des acides nucléiques
- B. Coenzymes nucléotidiques
- C. Nucléotides seconds messenger



# 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)



— Nucléoside —

— Nucléotide **mon**ophosphate —

— Nucléotide **di**phosphate —

— Nucléotide **tri**phosphate —

# 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

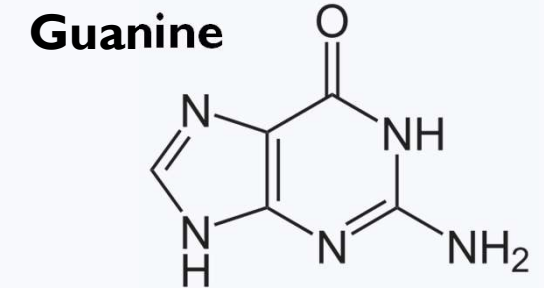
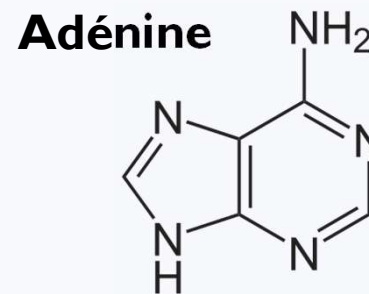
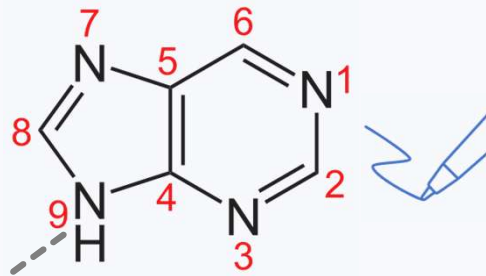
## D. LES BASES AZOTÉES

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

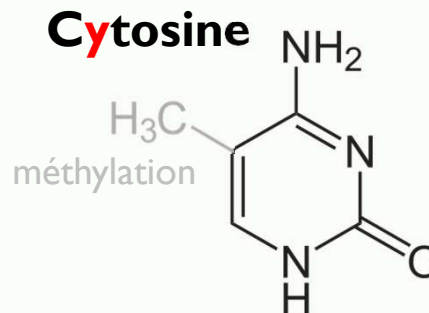
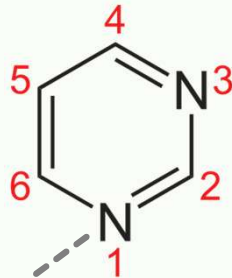
Type de base	Base	Symbole	(désoxy)nucléoside
Purines	Adénine	<b>A</b>	(d-)adénosine
	Guanine	<b>G</b>	(d-)guanosine
Pyrimidines	Cytosine	<b>C</b>	(d-)cytidine
	Uracile	<b>U</b>	(d-)uridine
	Thymine	<b>T</b>	(d-)thymidine

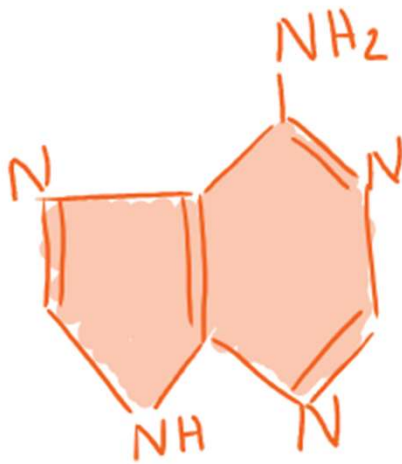
- Il y a 5 bases différentes:

Bases puriques ou purines :  
2 cycles

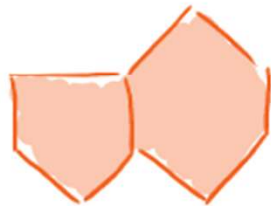


Bases pyrimidiques ou pyrimidines :  
1 cycle





Adénine



Guanine

Bases puriques

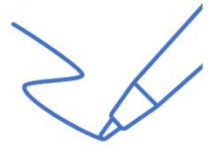


Thymine, Uracile



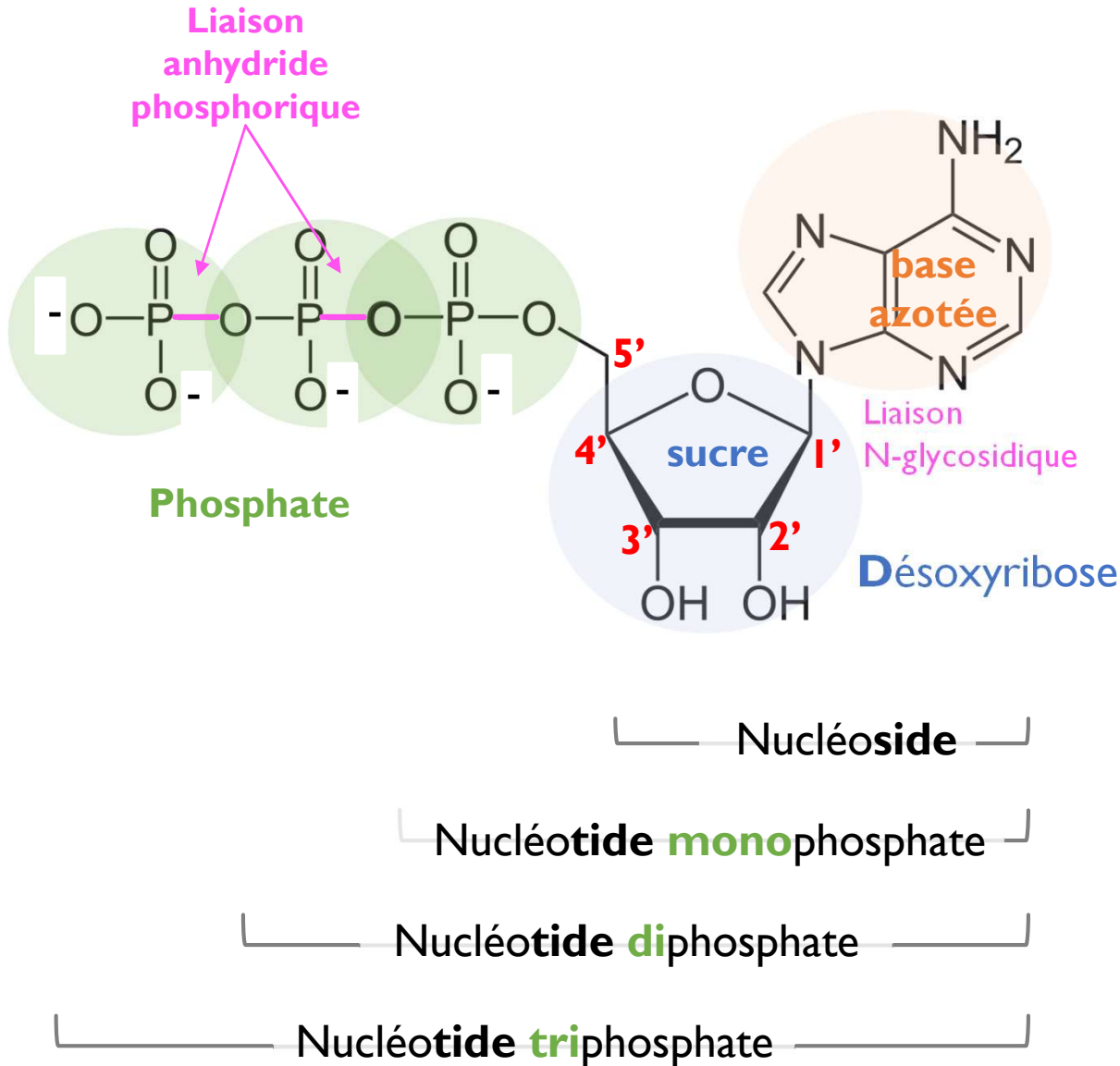
Cytosine

Bases pyrimidiques

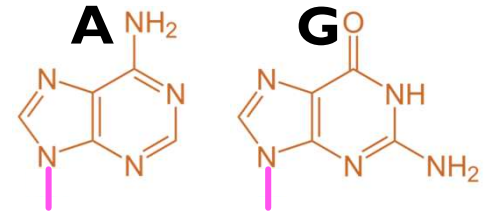


# I. STRUCTURE DES NUCLÉOTIDES

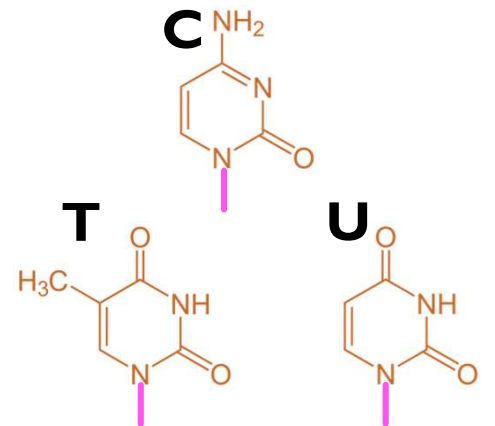
## BILAN



### 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

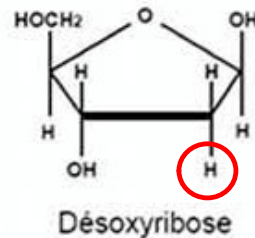
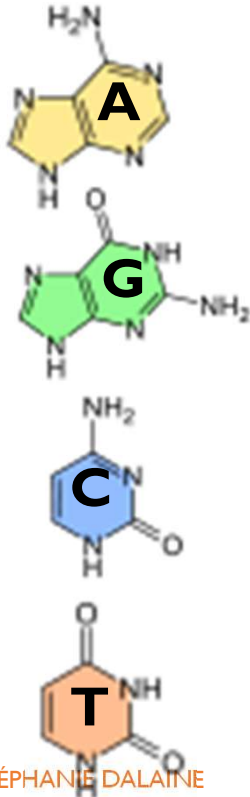
## II. FONCTIONS DES NUCLÉOTIDES

### A. CONSTITUANTS DES ACIDES NUCLÉIQUES

- Les nucléotides sont les constituants de base des acides nucléiques

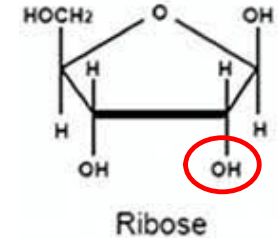
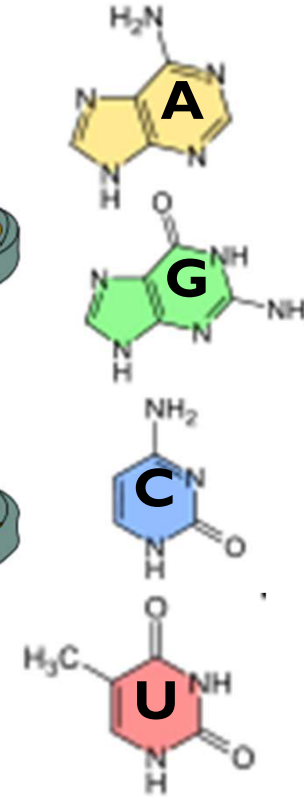
#### ADN

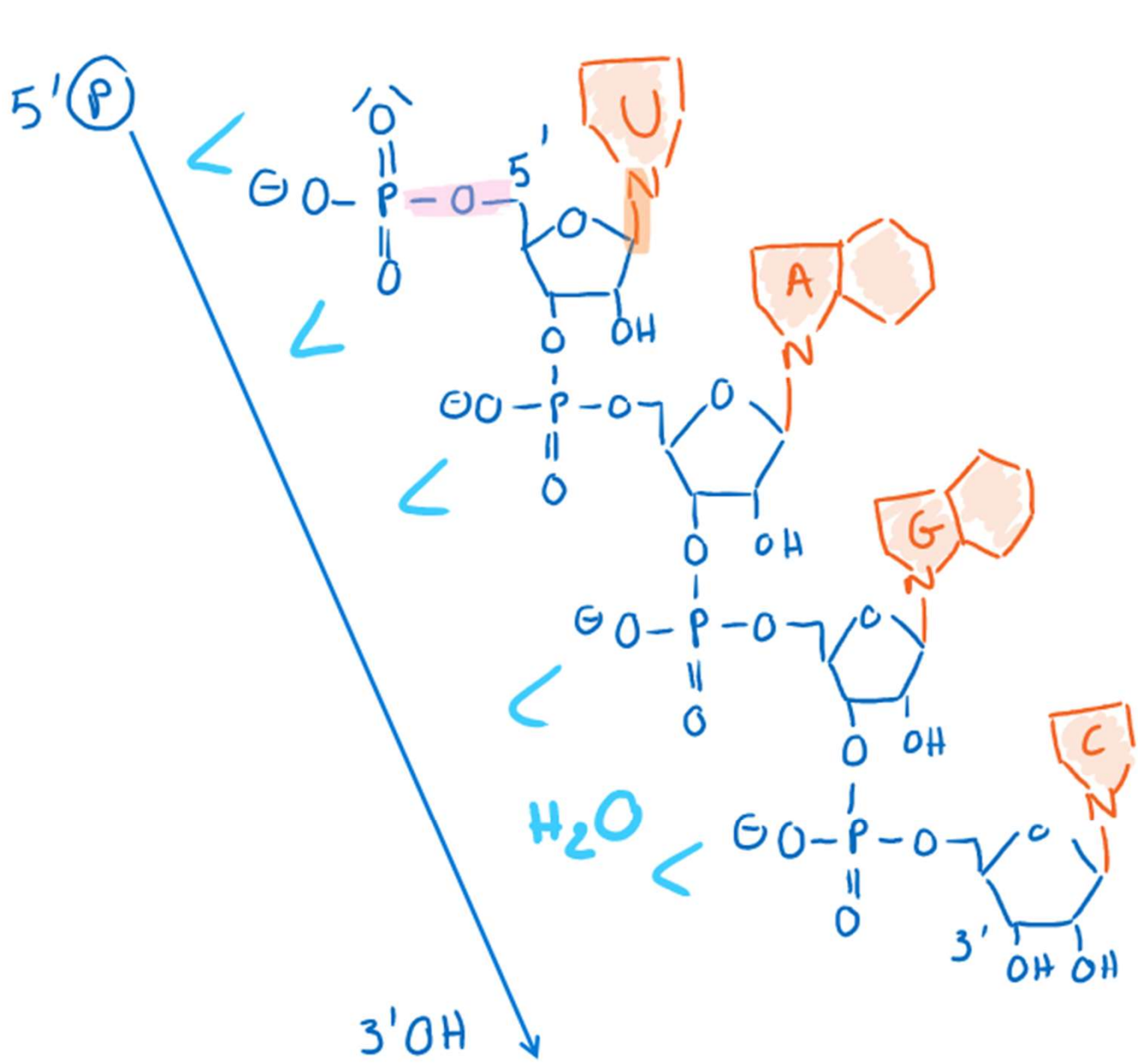
*acide désoxyribonucléique*



#### 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



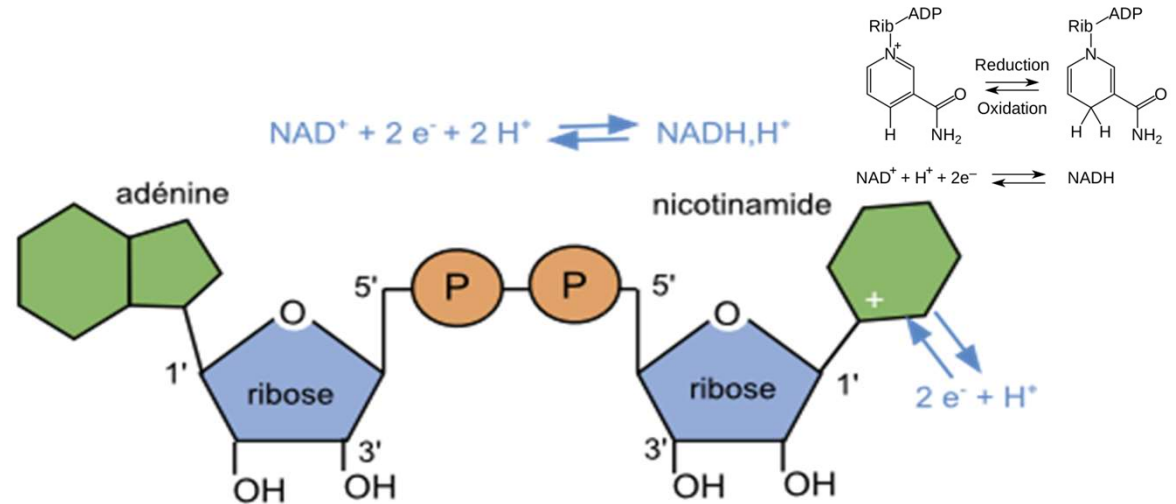
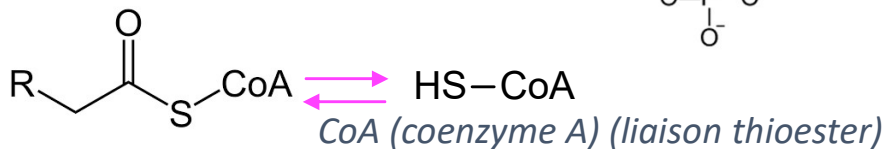
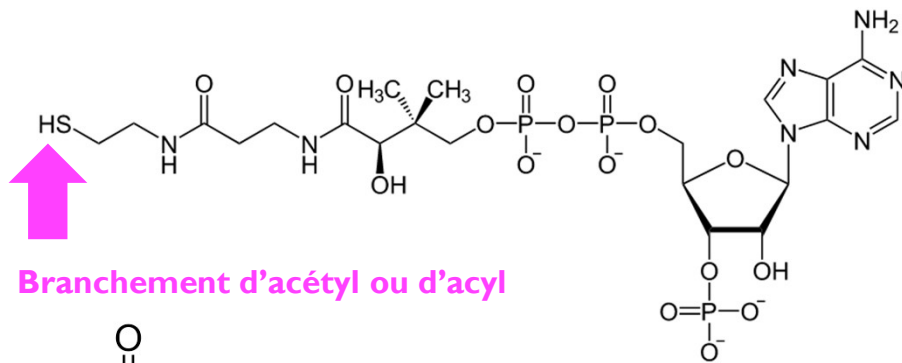
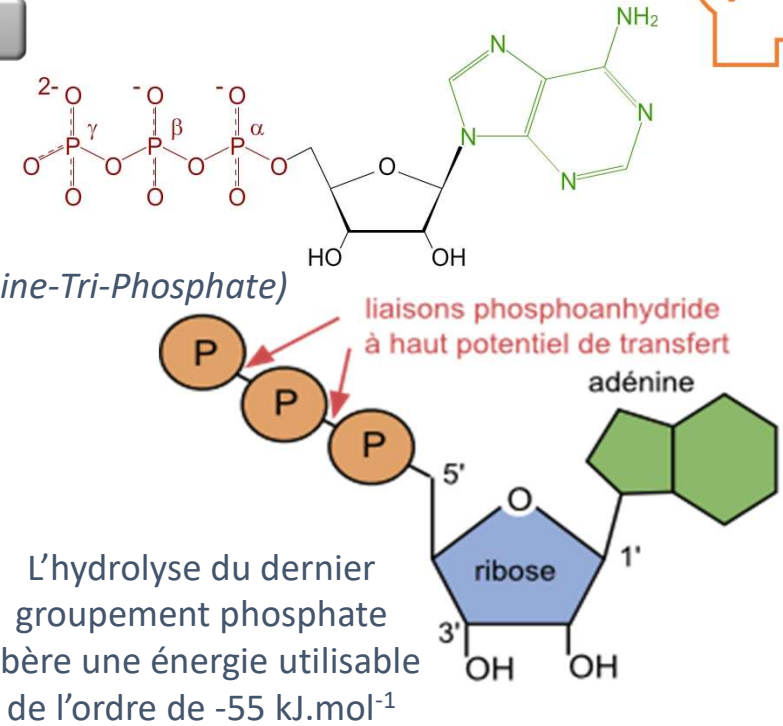
## II. FONCTIONS DES NUCLÉOTIDES

### B. COENZYMES NUCLÉOTIDIQUES

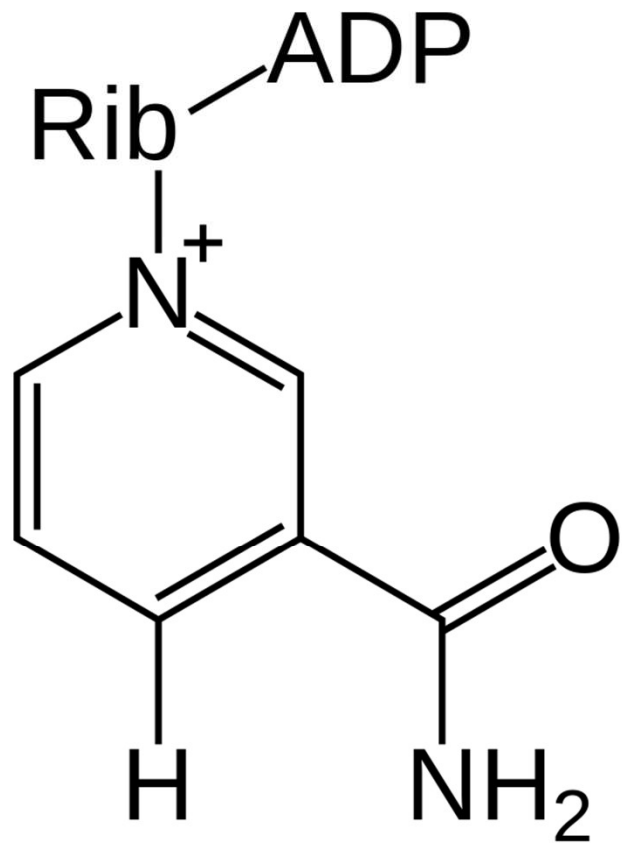
Cf. SV-E

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

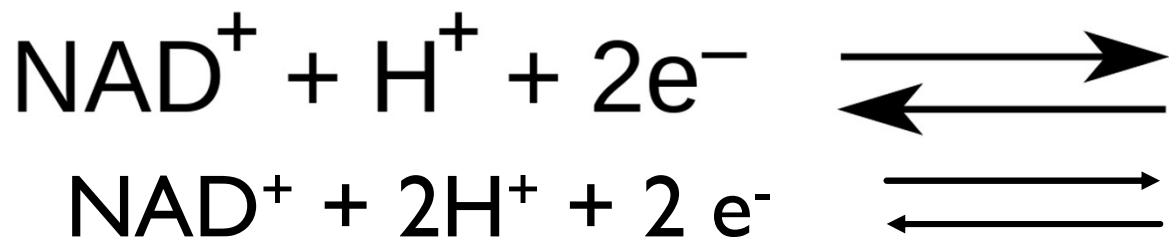
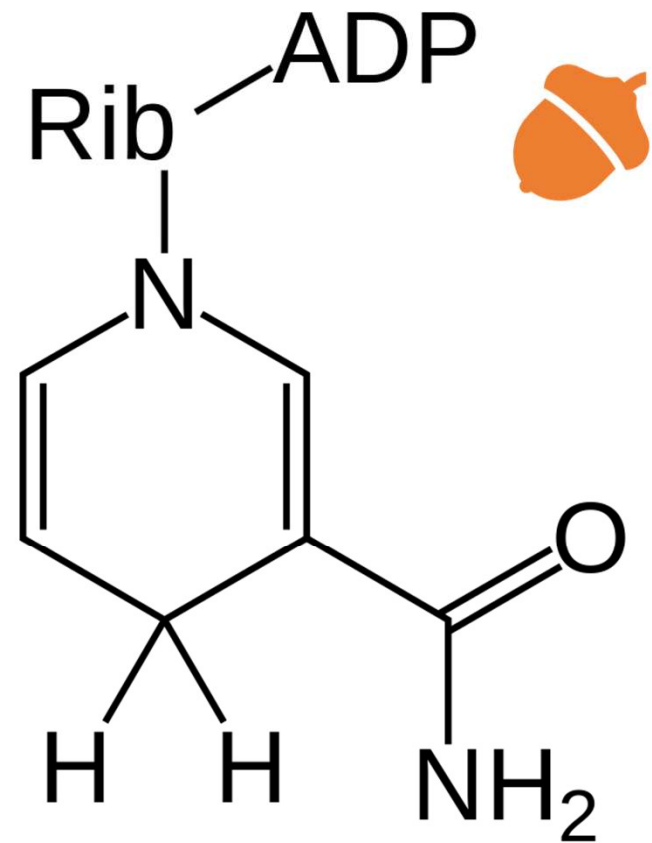
- Il existe 3 types de coenzymes de nature nucléotidique :
  - **Coenzymes de transfert de groupements phosphorylé**
    - ✓ Ex: ATP, GTP (synthèse prot), UTP (synthèse polysides)
  - **Coenzymes de transfert de groupements acétyle et acyle**
    - ✓ Ex: Coenzyme A
  - **Coenzymes d'oxydo-réduction**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



Le NAD<sup>+</sup>, nicotinamide adénosine dinucléotide



Reduction  
 $\rightleftharpoons$   
 Oxidation



NADH  
 NADH, H<sup>+</sup>

Jour

Cf SV-D-2-2

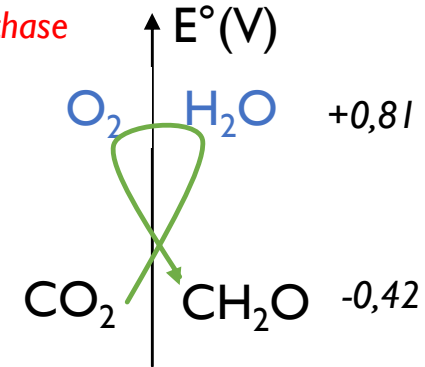
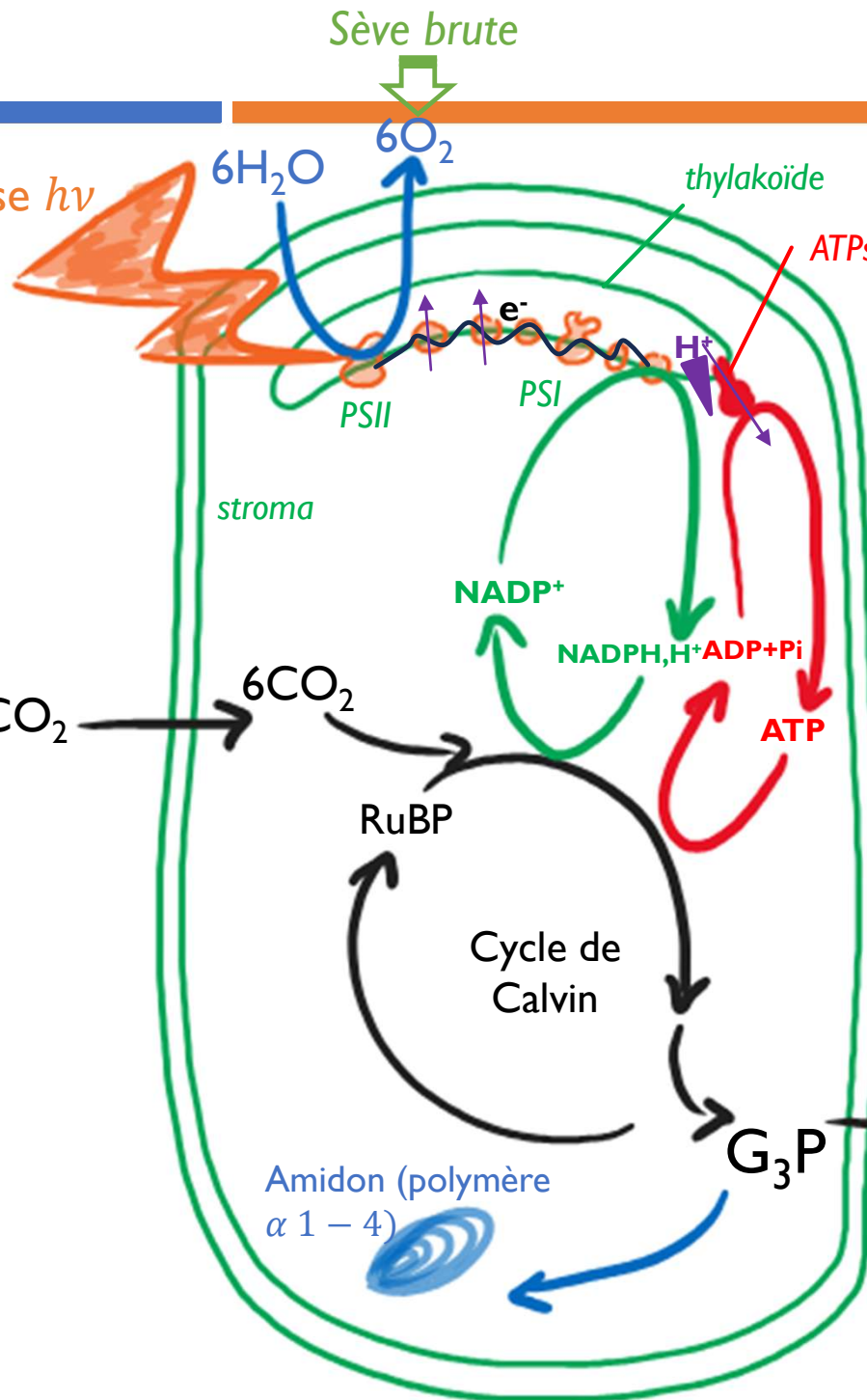
Énergie lumineuse  $h\nu$

Sève brute

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

Ouverture des tomates  $\Rightarrow$   $6\text{CO}_2$

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



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

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

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

Réaction endergonique

Glucose + fructose  $\rightarrow$  saccharose

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<sup>+</sup> 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)

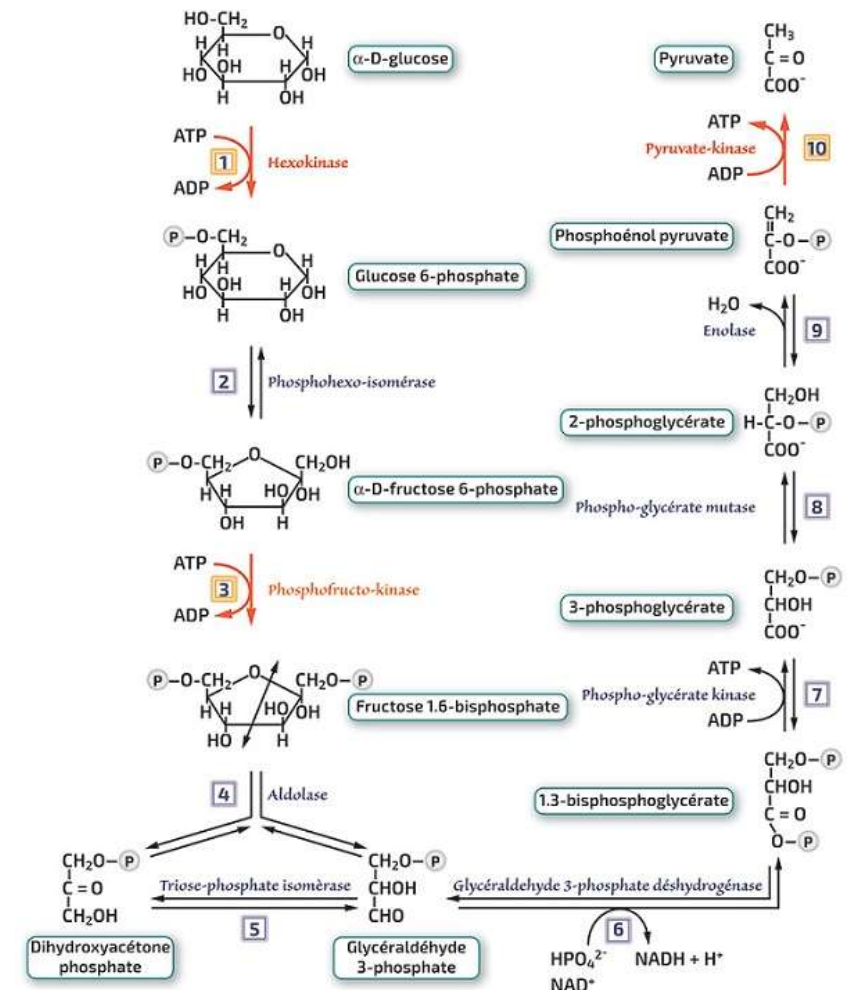


Figure 15 : la dégradation cytosolique du glucose, la glycolyse

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

### E. OSES ET FONCTION

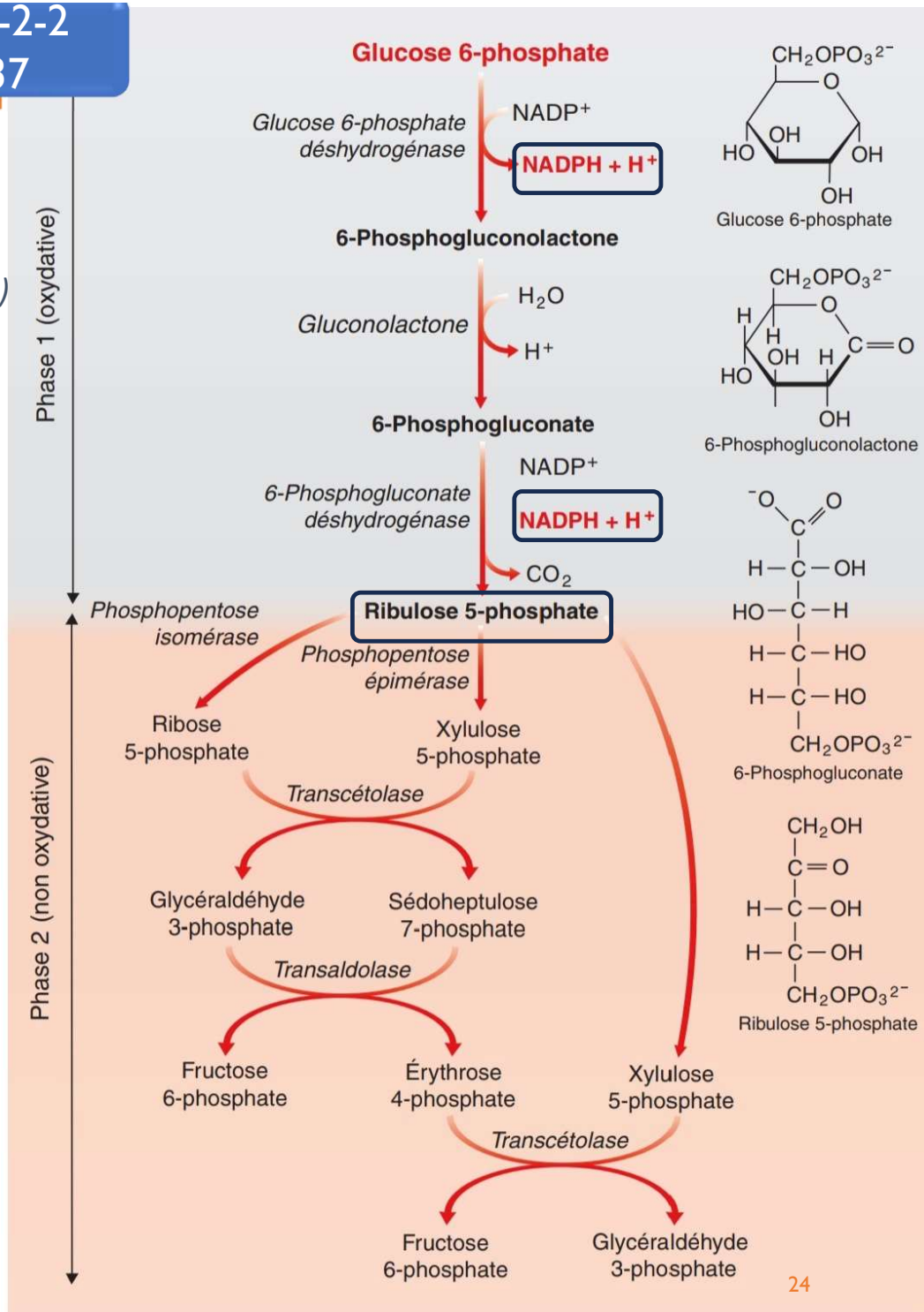
### 3. La voie des pentoses phosphates

Voie des pentoses phosphates (shunt)

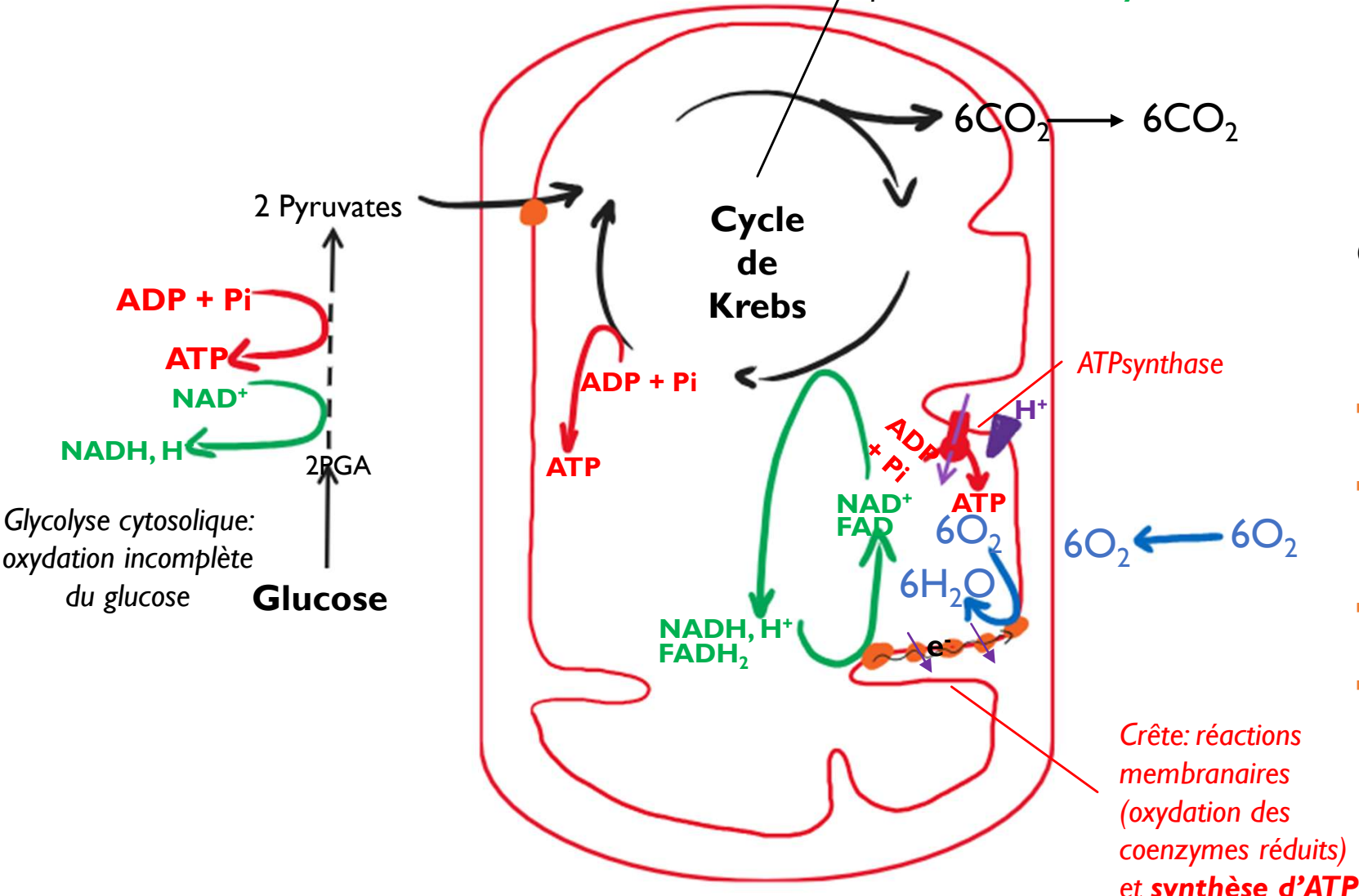
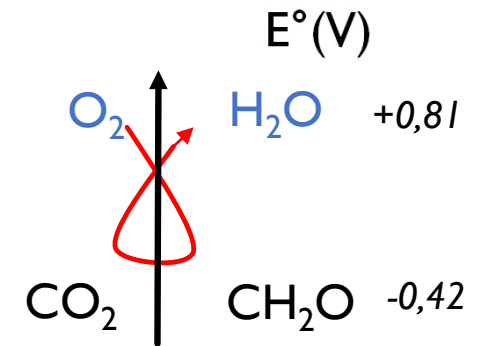
- La voie des pentoses phosphates, ou voie du phosphogluconate, génère
  - du **NADPH** = **pouvoir réducteur** → biosynthèses cellulaires = **anabolisme**
    - ✓ Ex : acides gras et des stéroïdes
  - du **ribulose-5-P** → **précurseurs** des nucléotides, acides nucléiques et coenzymes
- Voie des pentoses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

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 NADH que de Ribulose-5-P → Recyclage du Ribulose-5-P



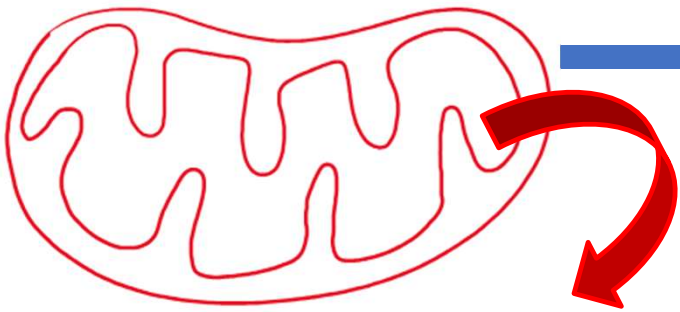
Oxydation de la MO (pyruvate) et production de **coenzymes réduits**



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

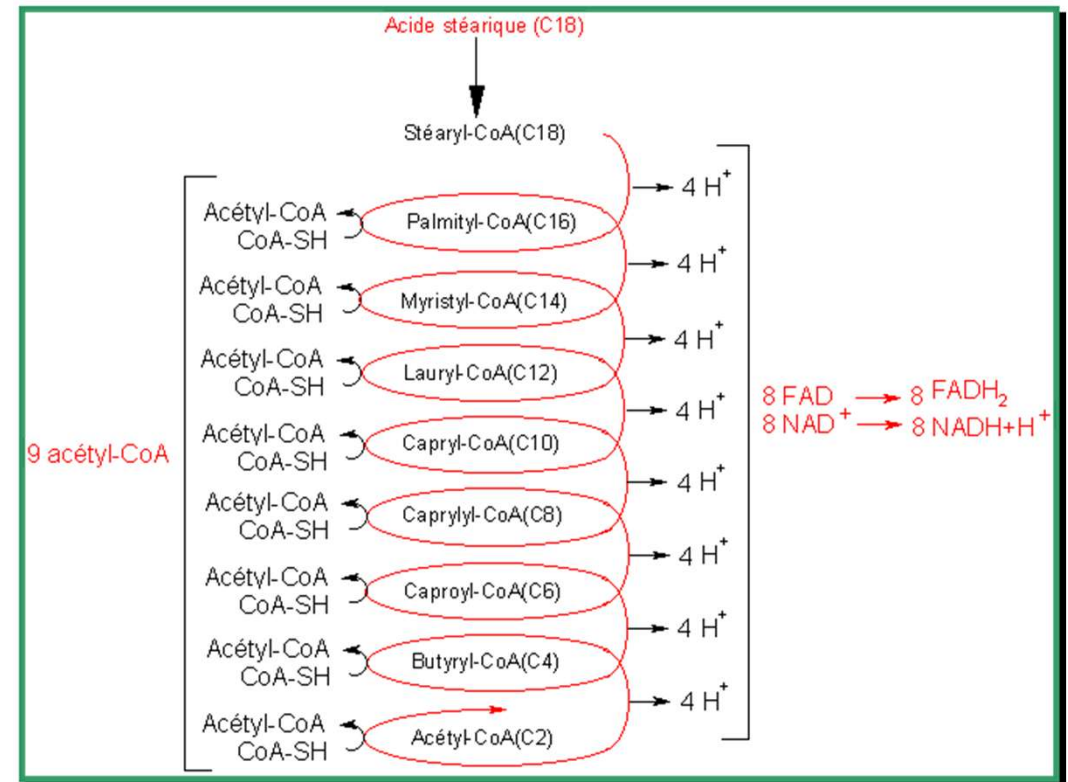
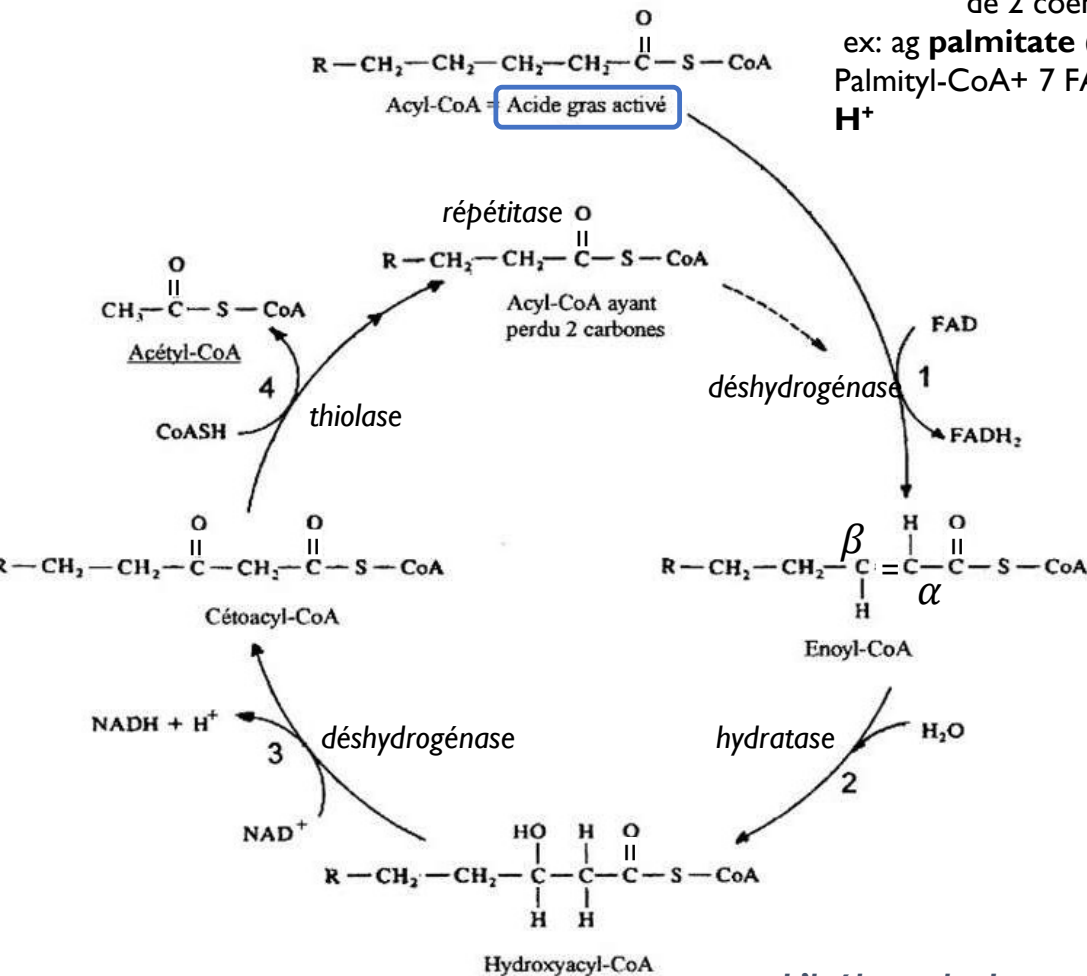
*Crête: réactions membranaires (oxydation des coenzymes réduits) et **synthèse d'ATP***

Dégradation des oses : glycolyse et cycle de Krebs

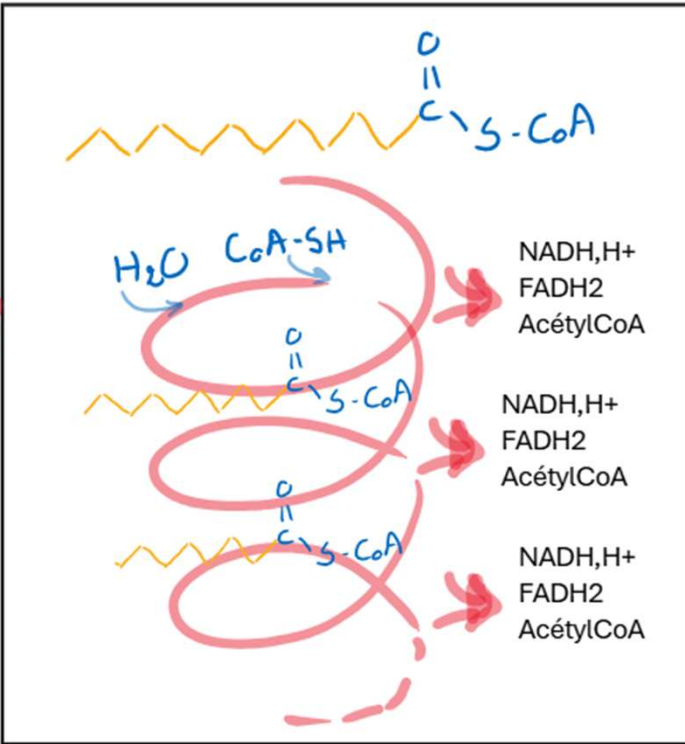
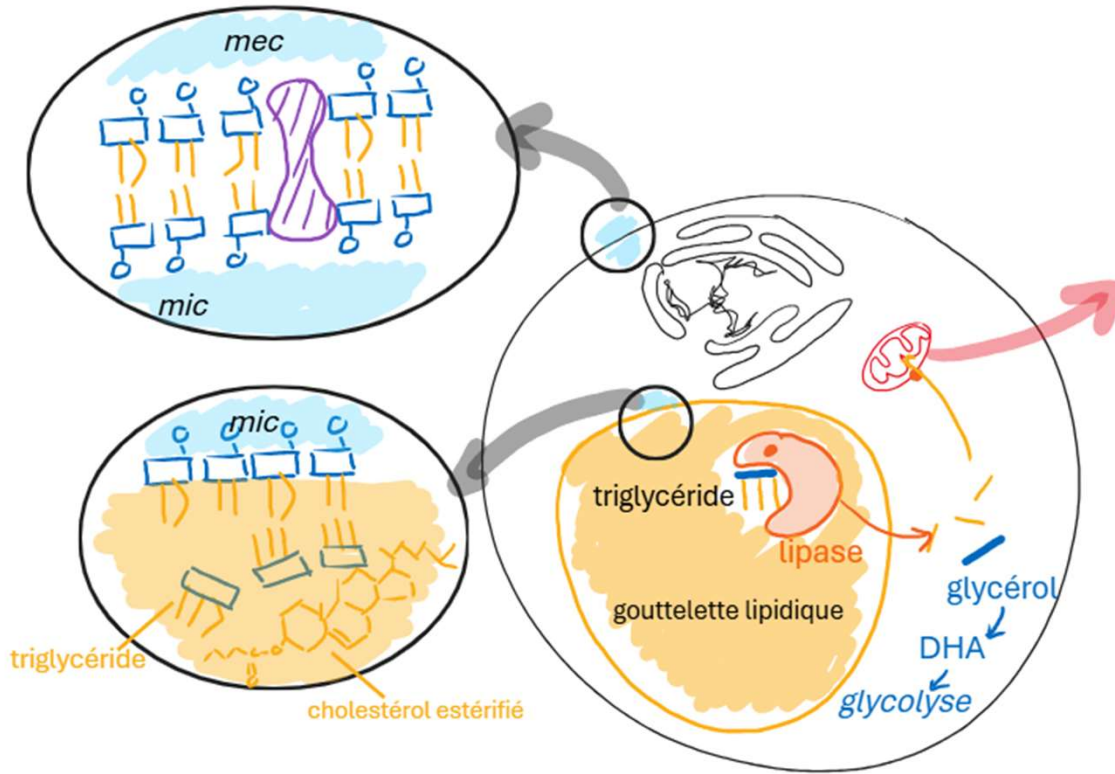


- matrice mitochondriale, à chaque tour d'hélice de Lyden
  - raccourcissement du squelette carboné deux atomes de carbone (acétyl-CoA) + réduction de 2 coenzymes

ex: ag **palmitate (C16)** → **8 acétyl-CoA** avec **7 tours d'hélice de Lyden**  
 $\text{Palmityl-CoA} + 7 \text{ FAD} + 7 \text{ NAD}^+ + 7 \text{ CoASH} + 7 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 8 \text{ acétyl-CoA} + 7 \text{ FADH}_2 + 7 \text{ NADH}, \text{H}^+$

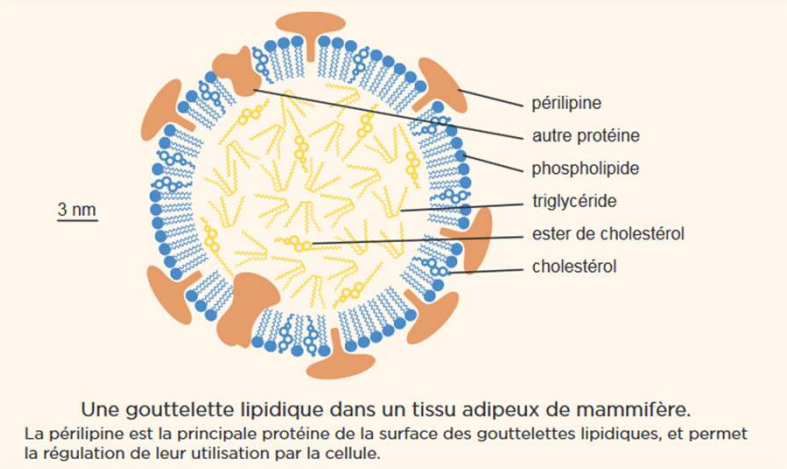


L'hélice de Lyden est une succession d'oxydations dans la matrice mitochondriale



Hélise de Lénen dans la matrice mitochondriale

Adipocyte



Une gouttelette lipidique dans un tissu adipeux de mammifère. La périlipine est la principale protéine de la surface des gouttelettes lipidiques, et permet la régulation de leur utilisation par la cellule.

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

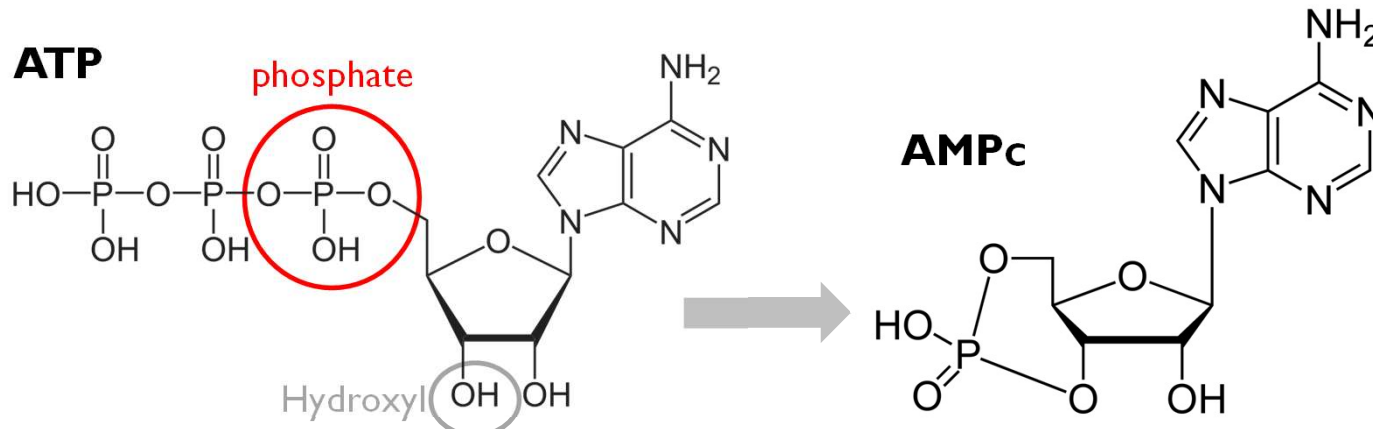
### C. NUCLÉOTIDES SECONDS MESSAGERS

- Des nucléotides monophosphates **cycliques** peuvent être synthétisés par la cellule :

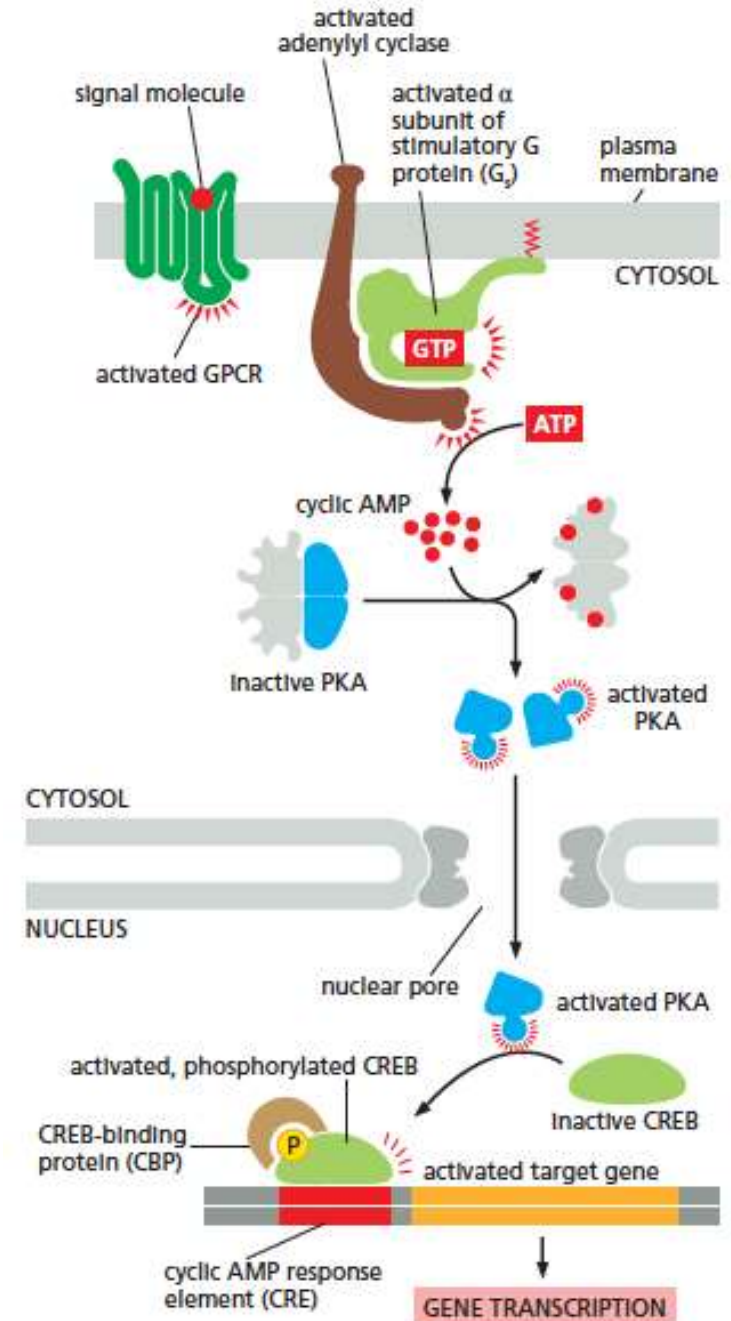
- **ATP → AMP<sub>c</sub>**
- **GTP → GMP<sub>c</sub>**

Cf. SV-C-3

- Ces nucléotides cycliques sont **des messagers intracellulaires dits seconds messagers**.



Formation d'AMP<sub>c</sub> par **estérification intramoléculaire** de l'ATP



## II. FONCTIONS DES NUCLÉOTIDES



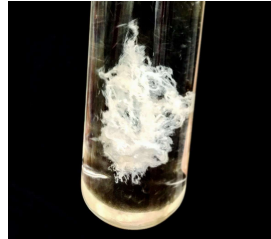
### BILAN

- 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

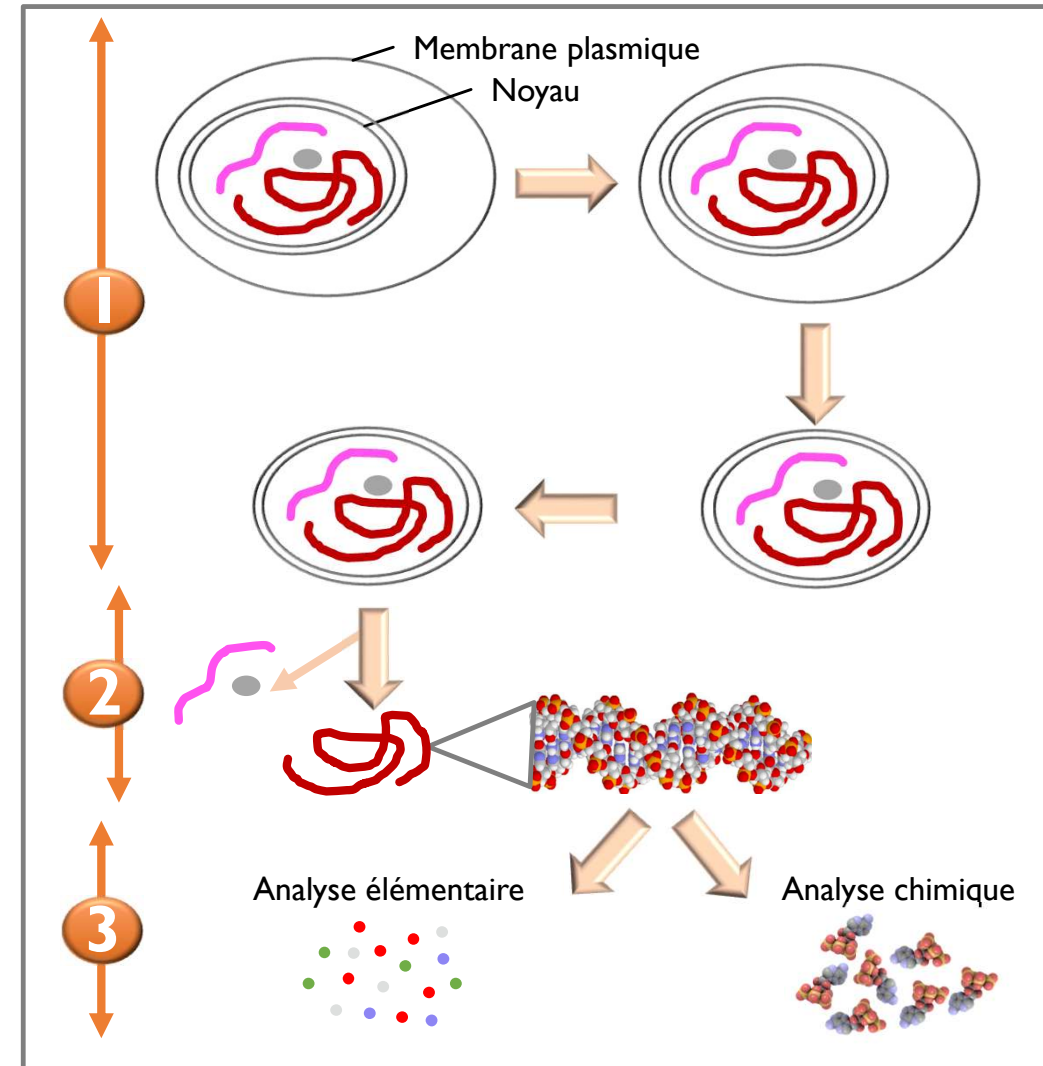


**2 Purification**  
→ Séparer la molécule des autres constituants

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

→	<b>Composition atomique</b>	C, H, O, N, P
	<b>Sous-composant</b>	nucléotide

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



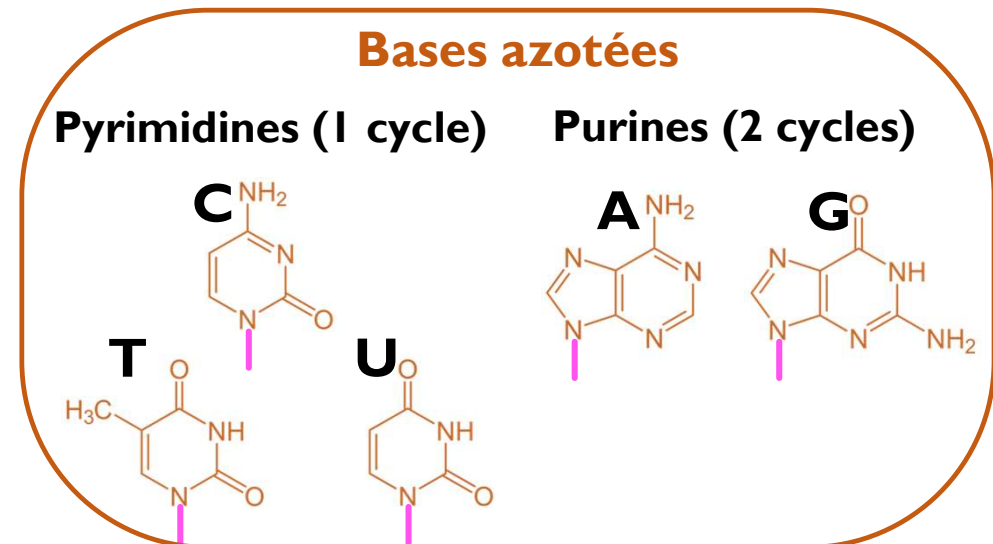
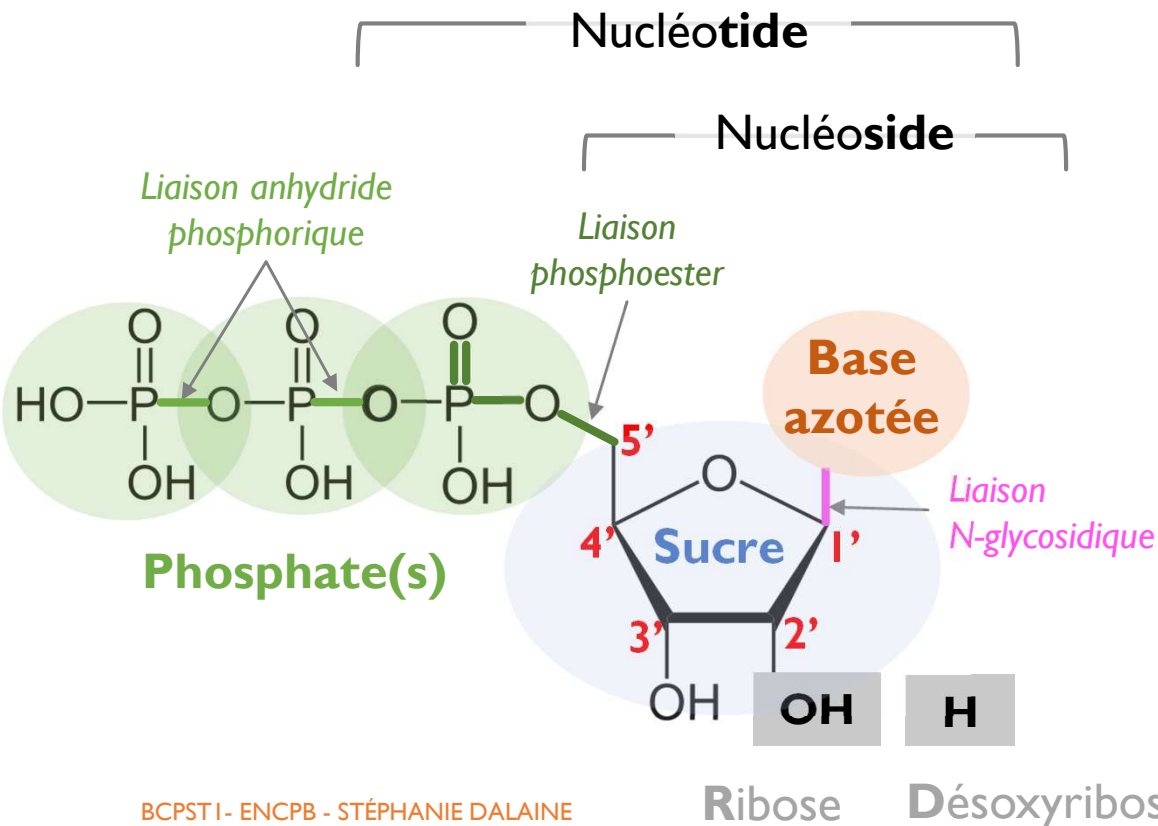
**Polymère** (n.m.) : molécule formée par l'enchaînement de sous-unités (monomères)

## 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

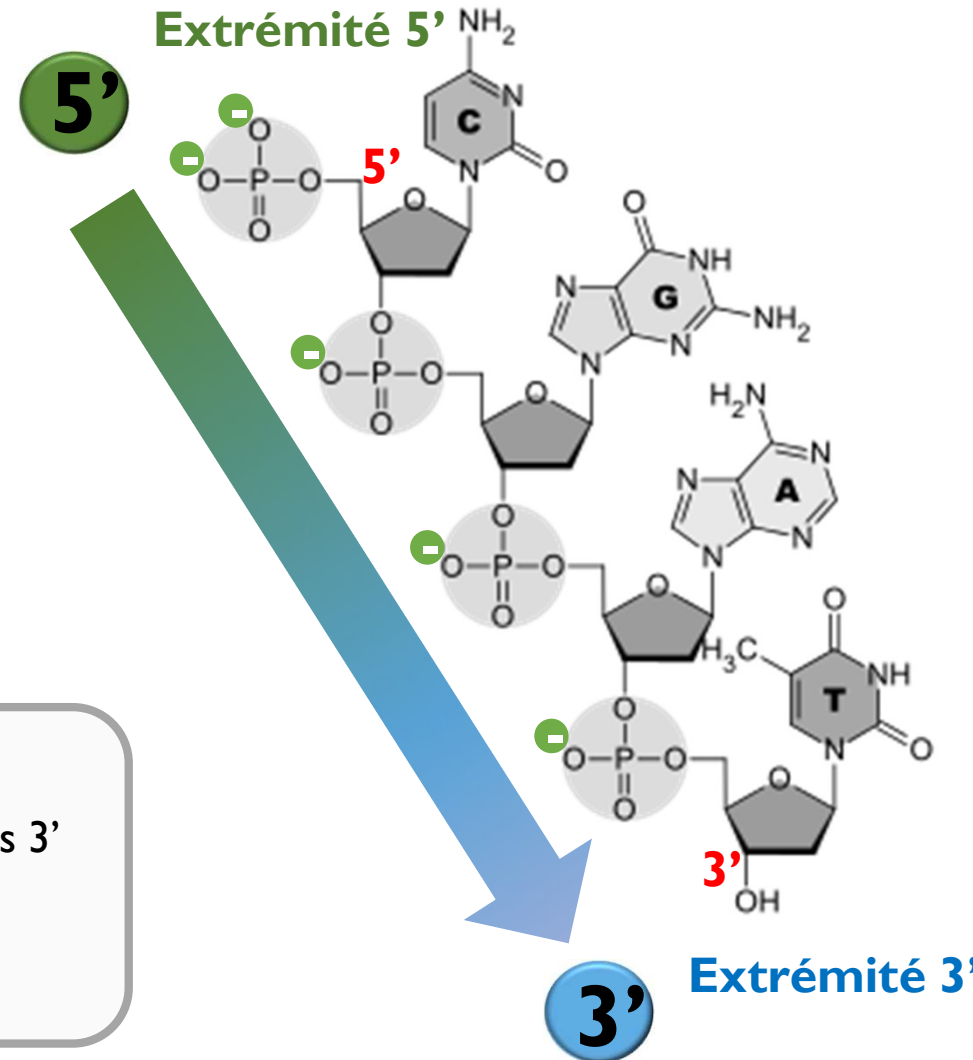
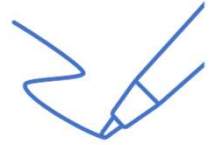
### III. Structure et fonctions des ARN

- 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

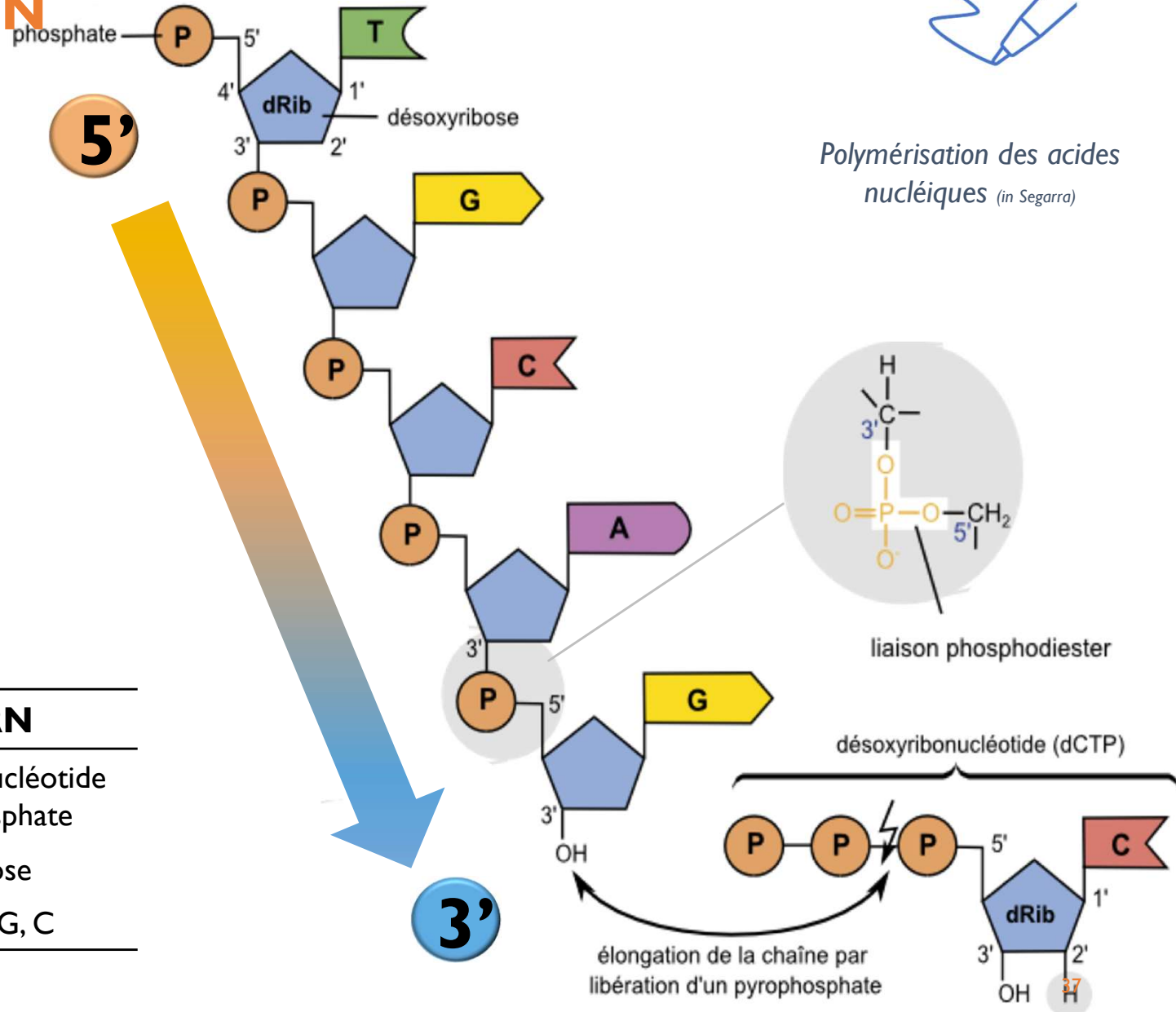
### III. Structure et fonctions des ARN

- A. Structure
- B. Diversité et fonctions

# I. GÉNÉRALITÉS SUR LES ACIDES NUCLÉIQUES

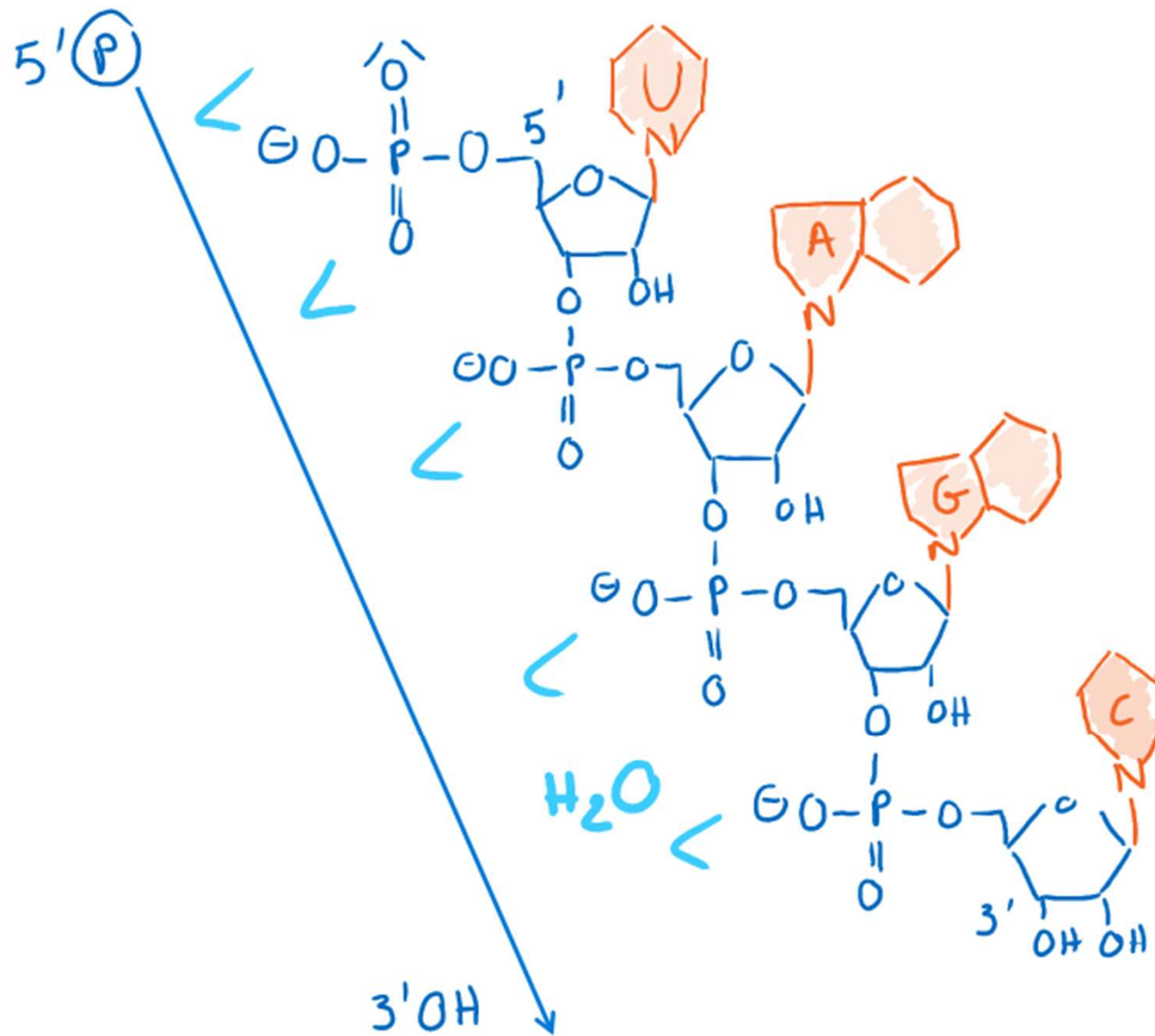
## B. POLYMÉRISATION

- 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**



Polymérisation des acides nucléiques (in Segarra)

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

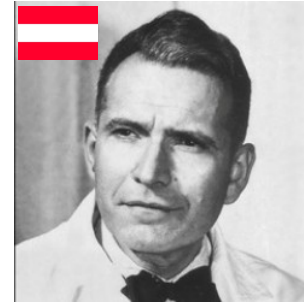
### A. STRUCTURE DE L'ADN

#### I. Découverte historique

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



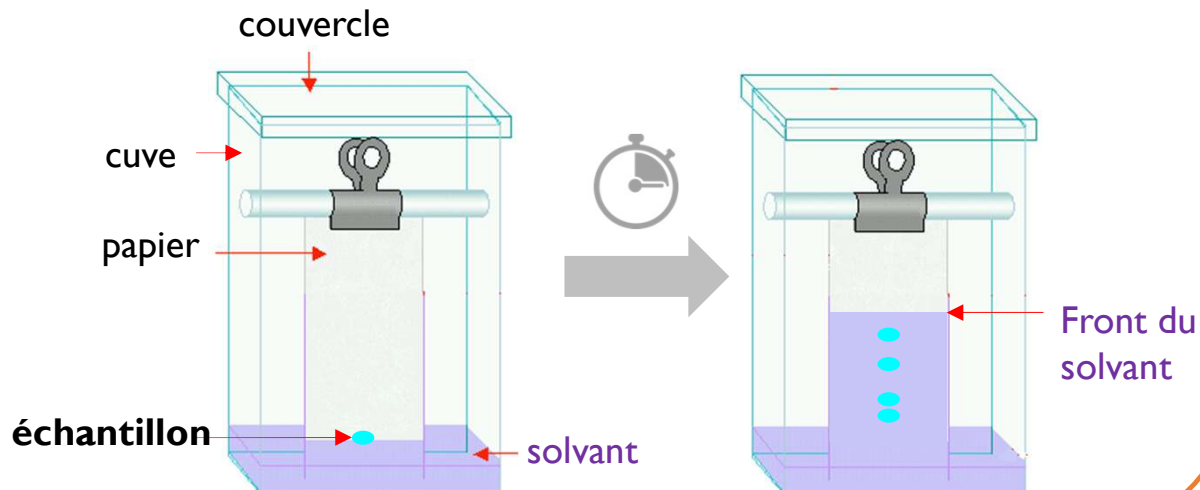
Erwin Chargaff  
(1905-2002)  
Biochimiste



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

#### 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

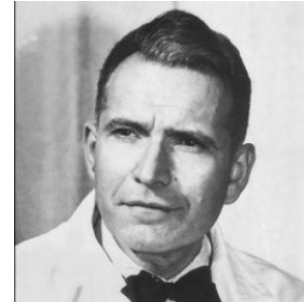
### A. STRUCTURE DE L'ADN

#### 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

A gauche : Maurice Wilkins (1916-2004).

Biophysicien

A droite : Rosalind Franklin (1920-1958).

Chimiste, biologiste, cristallographe



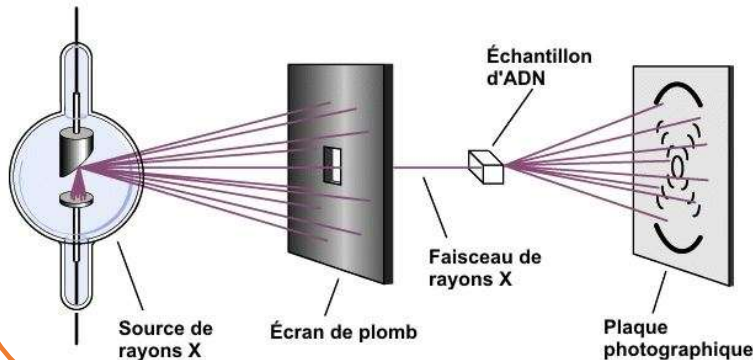
### Indice n°2 : la cristallographie aux rayons X (1951)

#### Cristallographie ou diffraction aux rayons X

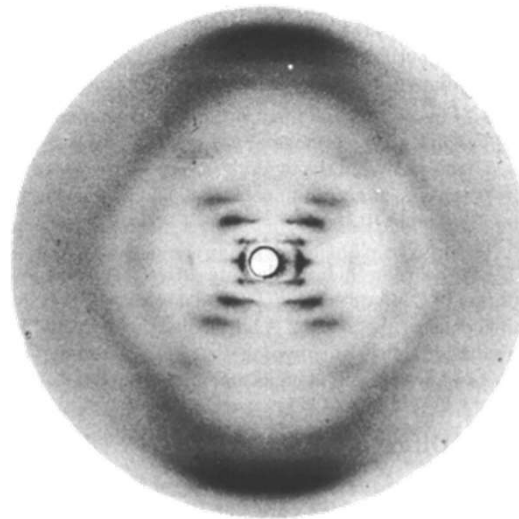
Méthode d'étude de la structure des molécules. Elle est basée sur la diffraction de rayons X appliqués sur un cristal de la molécule étudiée.

##### 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

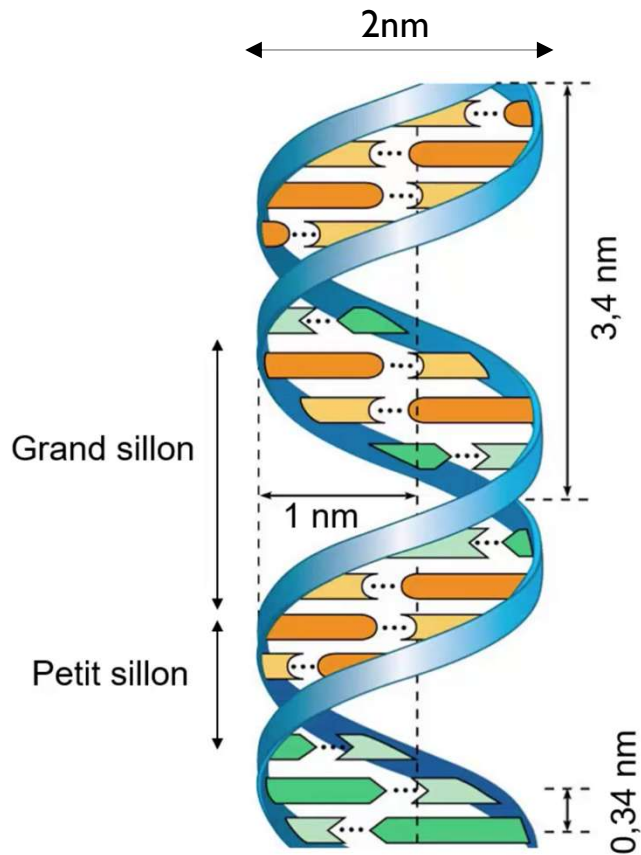
#### 2. Le modèle de Watson et Crick (1953, *Nature*)

Prix Nobel de  
Médecine (1962)



A gauche :  
J. Watson

A droite :  
F. Crick

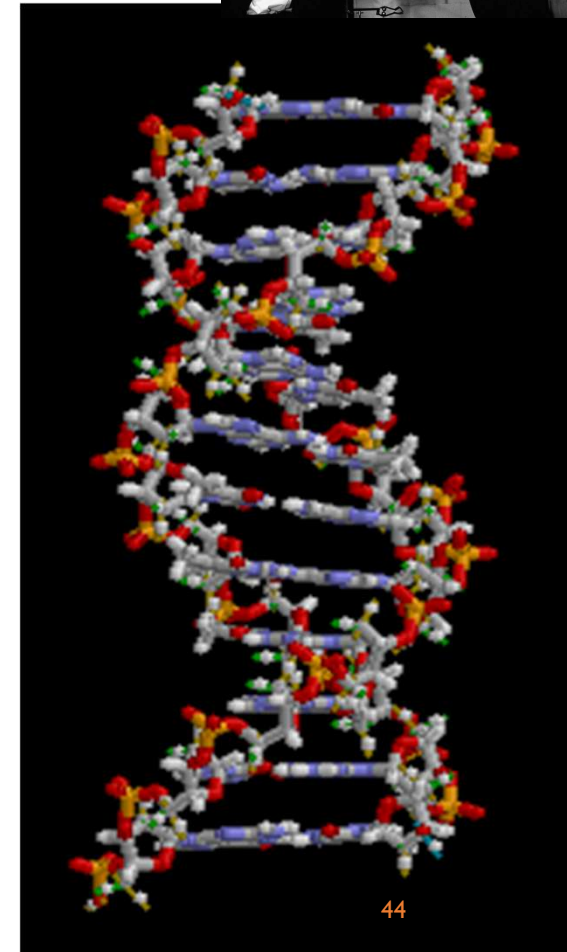


- Une **double hélice** (échelle torsadée)

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

*Hélice dextre (ADN-B)*

BCPST1 - ENCPB - STÉPHANIE DALAINÉ



## II. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ADN

### A. STRUCTURE DE L'ADN

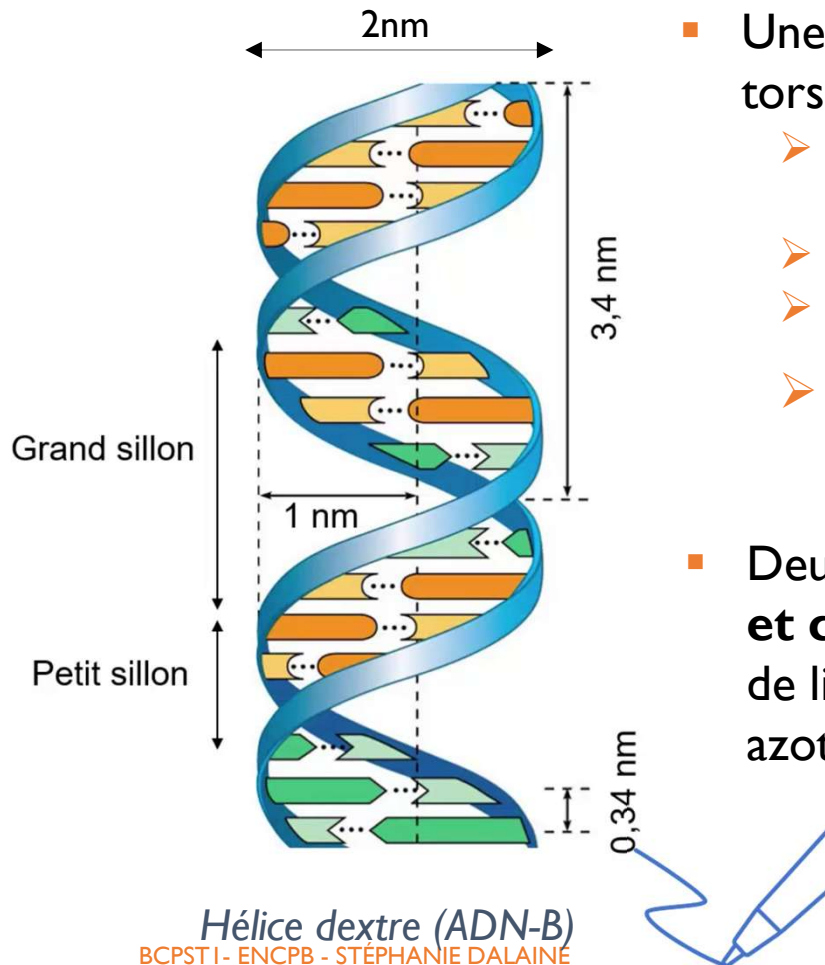
#### 2. Le modèle de Watson et Crick (1953, Nature)

Prix Nobel de Médecine (1962)

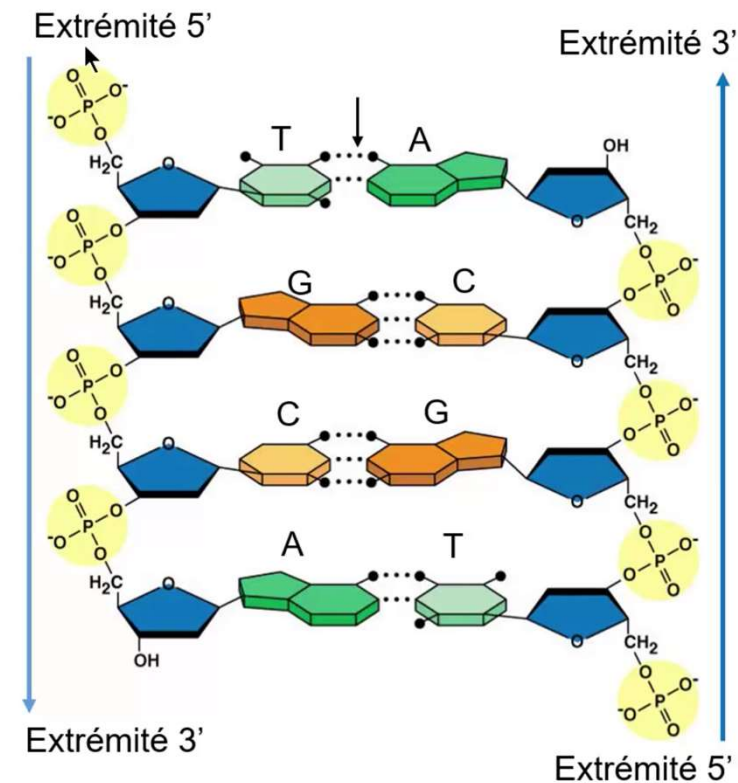


A gauche : J. Watson

A droite : F. Crick

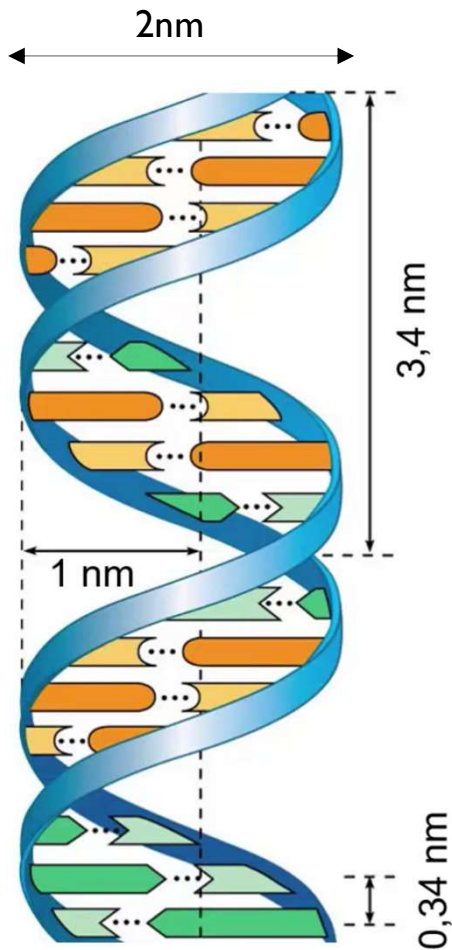


- Une **double hélice** (échelle torsadée)
  - 2 chaînes nucléotidiques hélicoïdales enroulées autour d'un même axe
  - Montants : Riboses/phosphates
  - Barreaux : bases azotées
  - Grand et petit sillon
- Deux chaînes **antiparallèles\*** et **complémentaires\*** du fait de liaisons H entre bases azotées : 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*)

##### Conséquences :

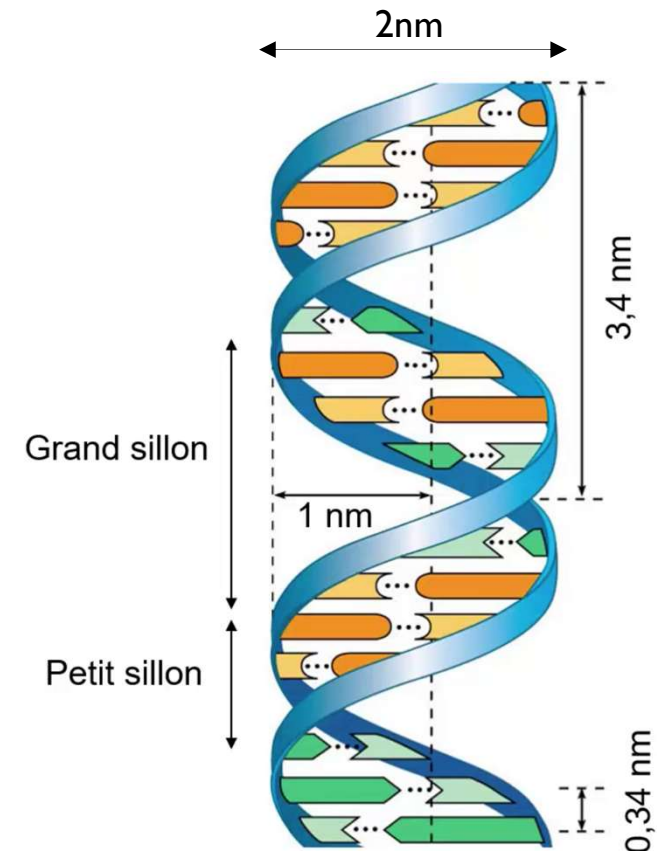
- Protection de l'information génétique
  - bases azotées en position interne, protégées
- Mécanisme de conservation (réparation), transmission (réplication) et expression (transcription) de l'info génétique
  - Complémentarité des bases
  - Ouverture/fermeture facile de l'ADN
- Contrôle de l'information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

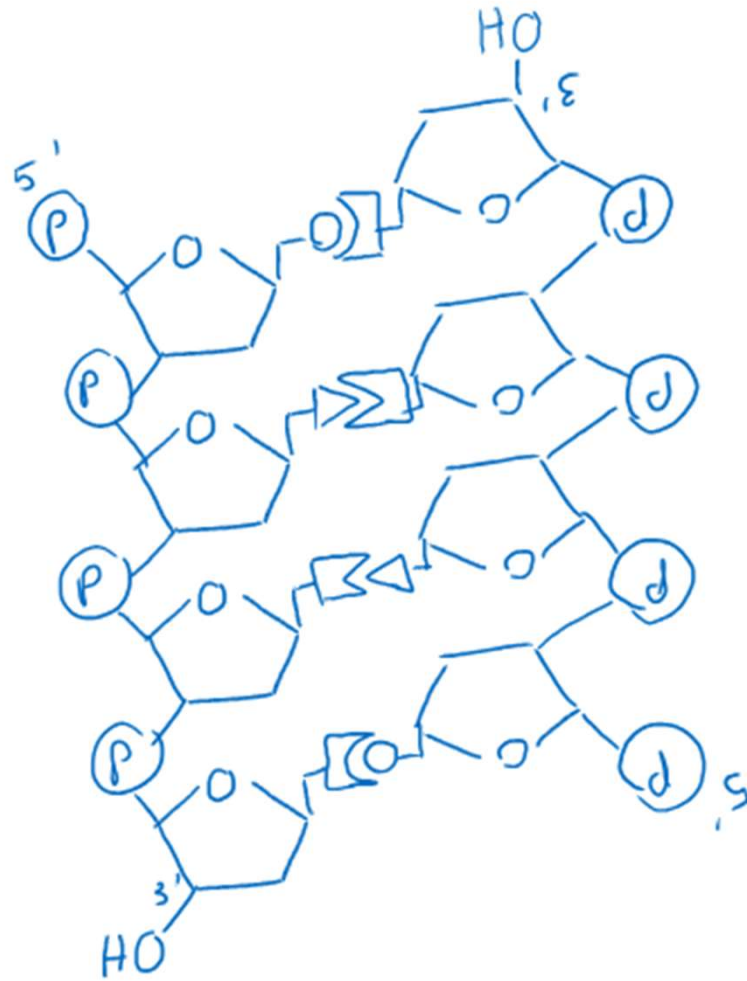
Prix Nobel de Médecine (1962)



A gauche : J. Watson,

A droite : F. Crick,



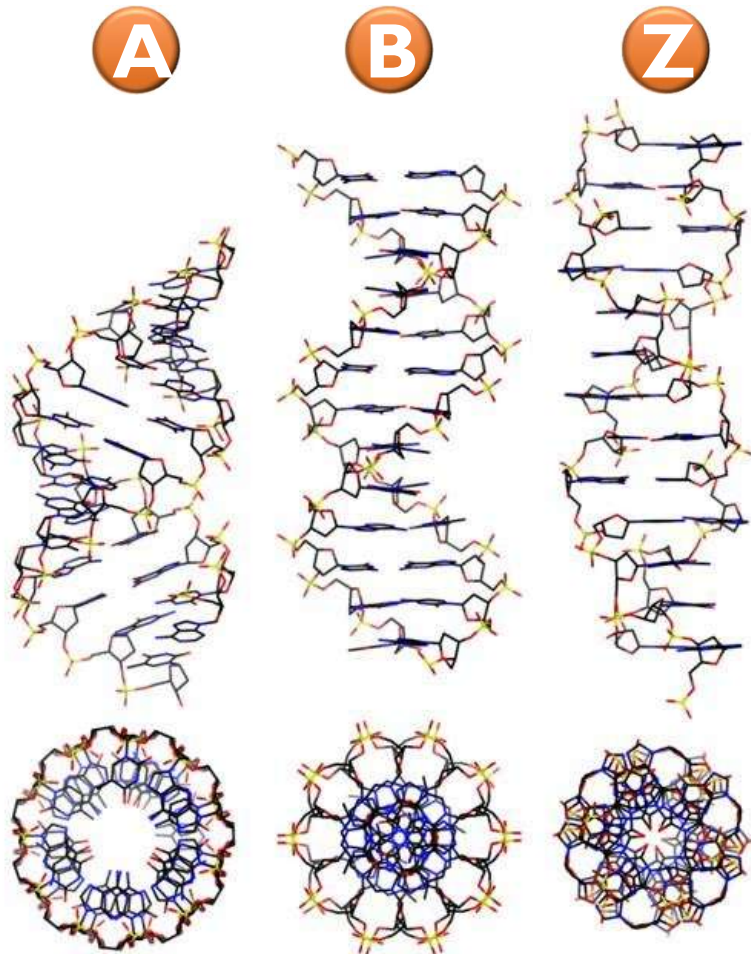


*La double hélice est composée de deux chaînes antiparallèles*

## II. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ADN

### A. STRUCTURE DE L'ADN

#### 3. Trois formes d'ADN



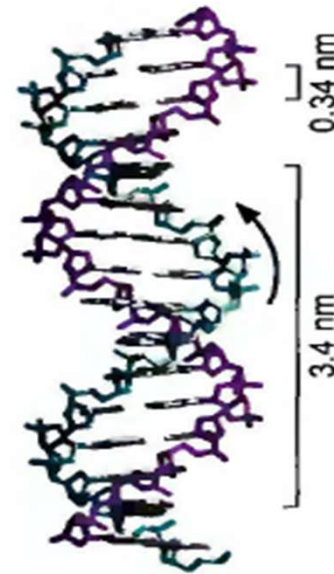
Formes tridimensionnelles A, B, Z de la molécule d'ADN

**B**

Forme courante dans les cellules

dextre

a B DNA



**A**

Dans les Hybrides ADN/ARN milieu peu hydraté

dextre

b A DNA



**Z**

Hétérochromatine, cytosine méthylée

senestre

c Z DNA



## 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

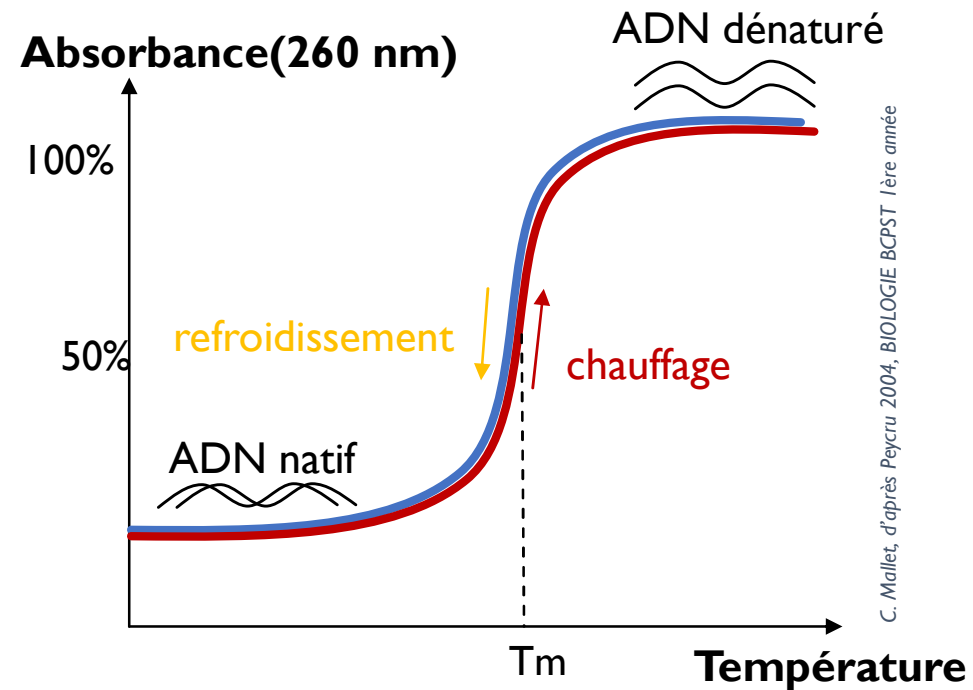
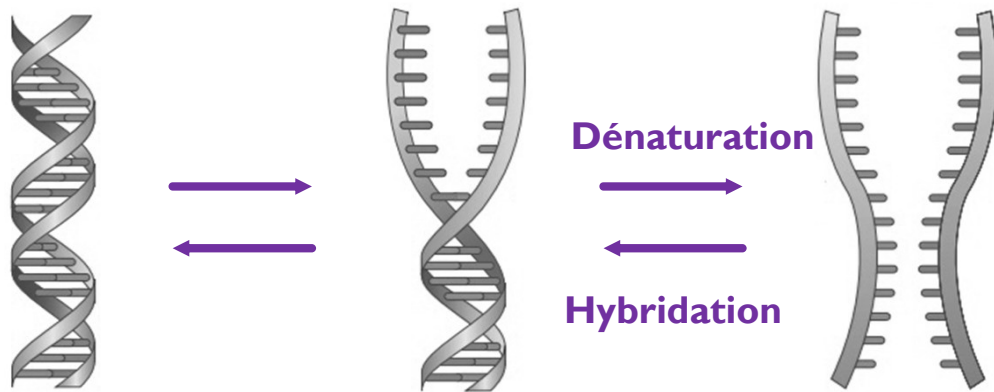
### PHYSICOCHEMISTIQUES DE L'ADN



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

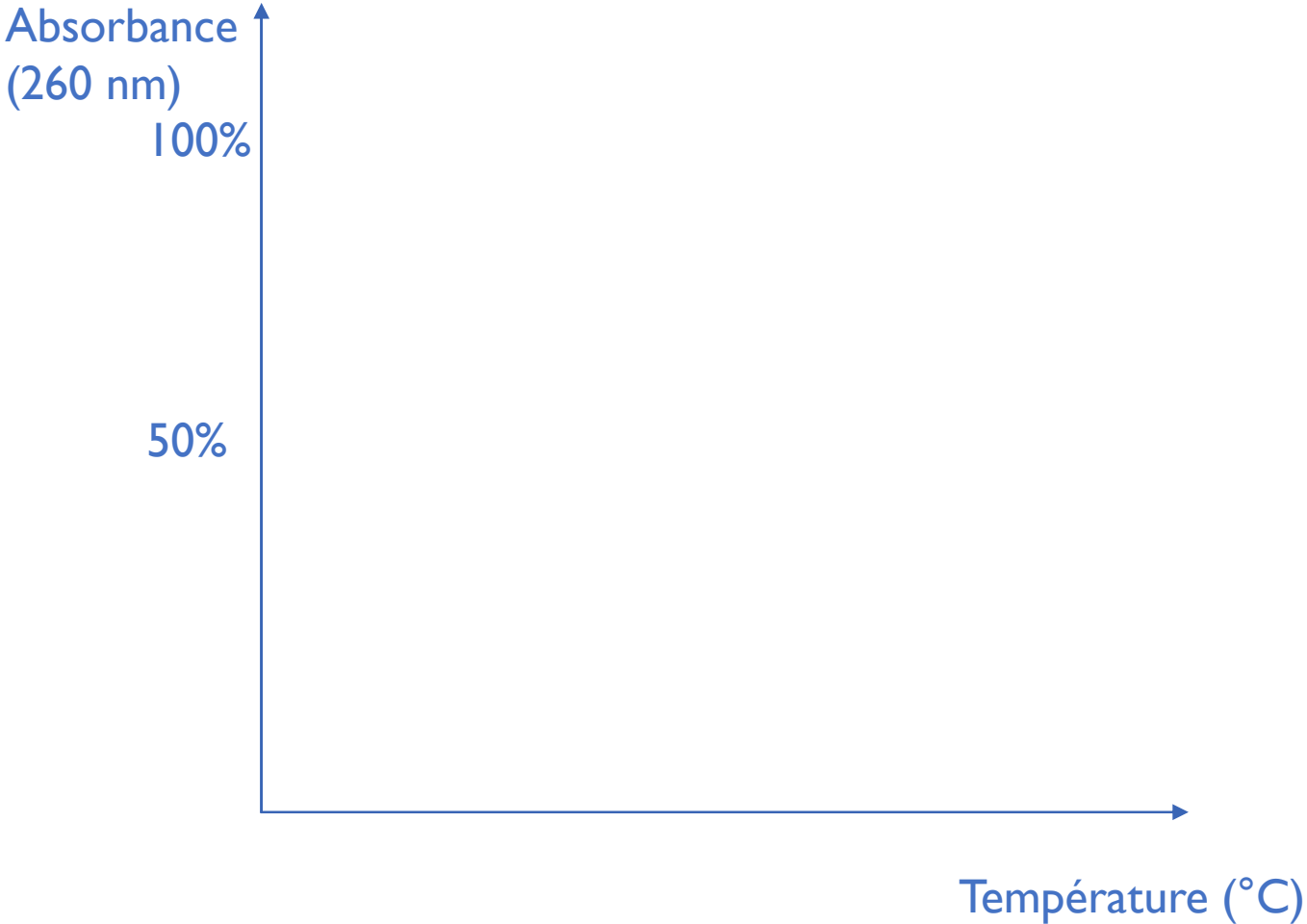
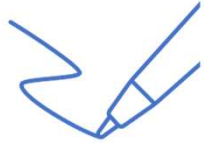
**Hybridation** : n.f. association physique entre 2 chaînes polynucléotidiques par liaisons H entre bases azotées

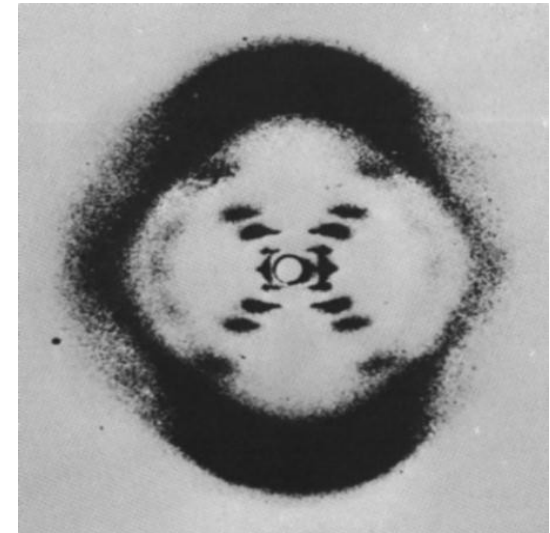
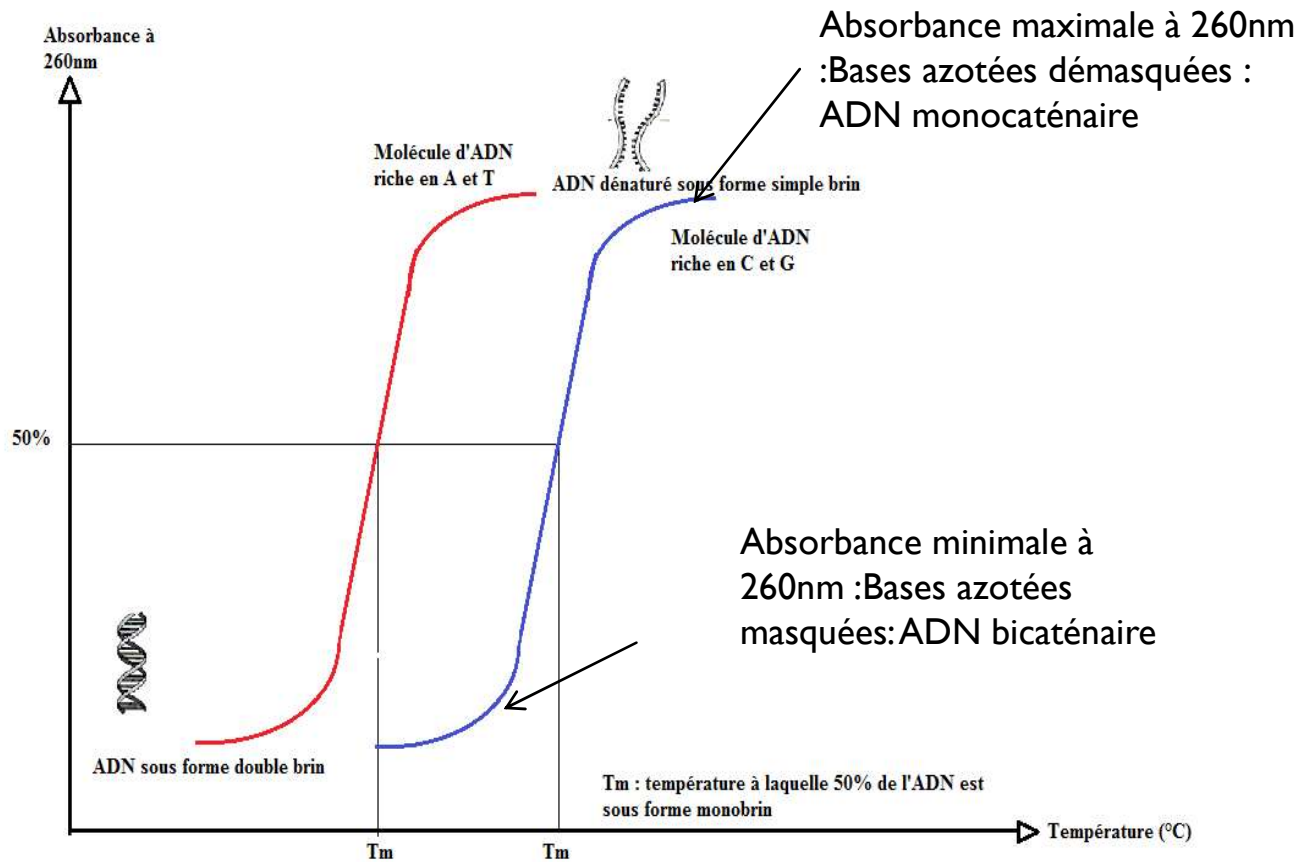
- Molécule très peu réactive chimiquement
- **Dénaturation\*** et **hybridation\*** de l'ADN
- Absorbance à 260 nm
- Densité et viscosité supérieures pour le brin unique que le double brin



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





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

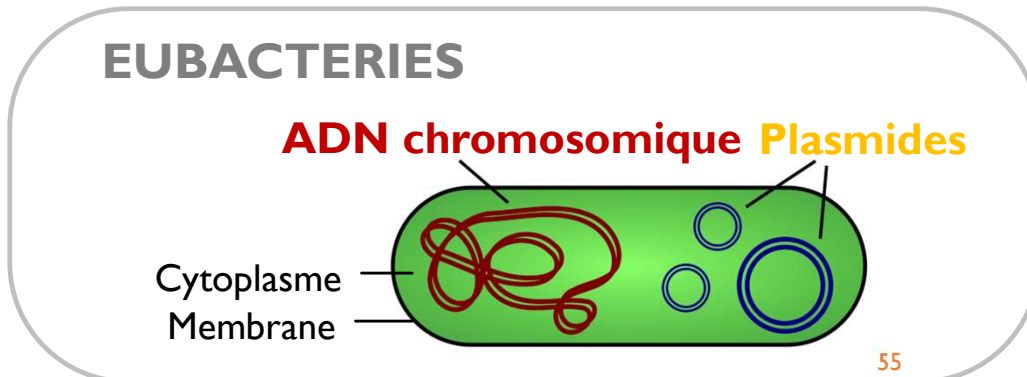
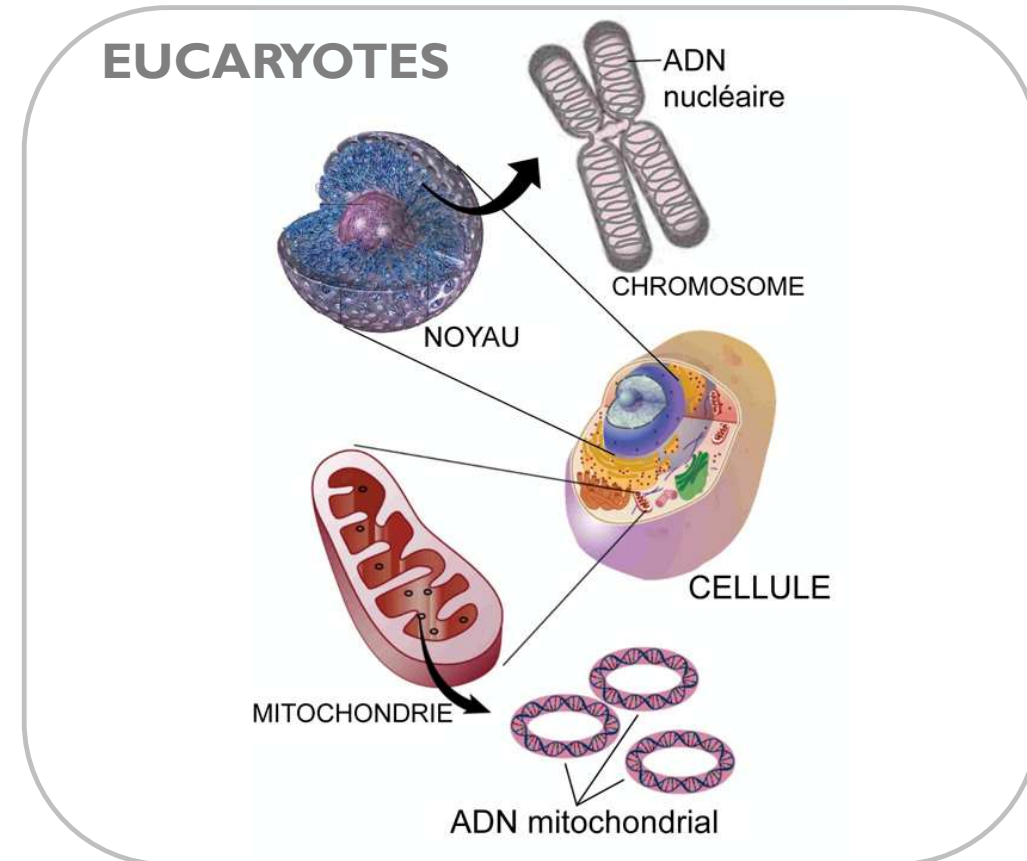
### C. FONCTIONS

#### 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



## II. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ADN

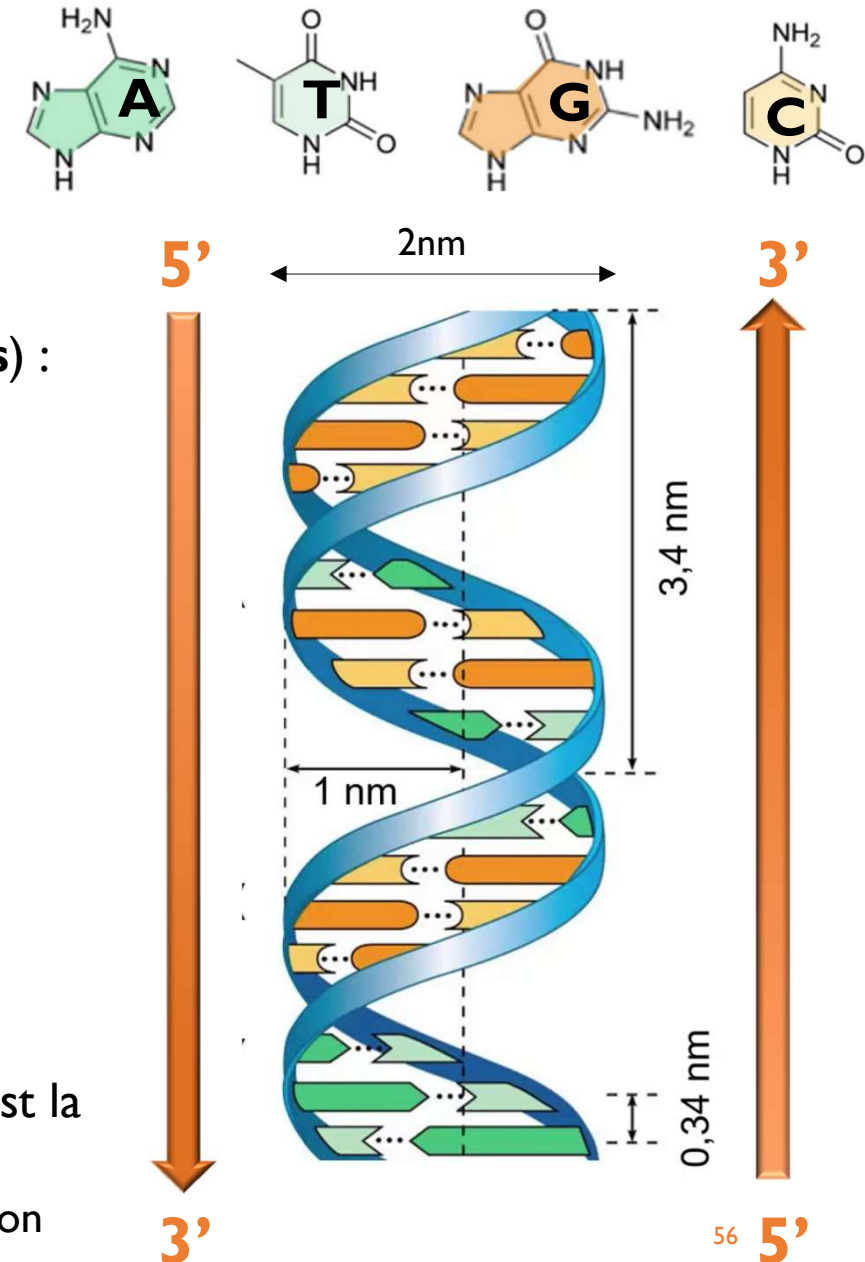
### BILAN

- L'ADN est un **polymère de désoxynucléotides** :
  - Phosphate + désoxyribose + A/T/G/C
- Il est constitué de 2 brins polynucléotidiques (**bicaténaire**) :
  - **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	<b>Stabilité</b> → structure stable de l'hélice
	Etat bicaténaire	<b>Contrôle</b> → Information en « double exemplaire », possibilité de réparation
	Grand sillon et petit sillon (à cause de l'angle des bases complémentaires)	<b>Contrôle et transcription</b> → 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	<b>Expression</b> → Information codée (sous forme de triplets)
	Liaisons H entre les bases complémentaires	<b>Contrôle, transcription, stabilité</b> → Ouverture aisée de la double hélice pour la transcription, la réparation ou la recombinaison génétique
Groupe phosphate	Charge négative liée aux phosphates	<b>Contrôle, transcription, stabilité</b> → 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	<b>Stabilité</b> → Rigidité longitudinale, résistance mécanique à la rupture
	Polymérisation orientée en 3' OH	<b>Contrôle</b> → 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

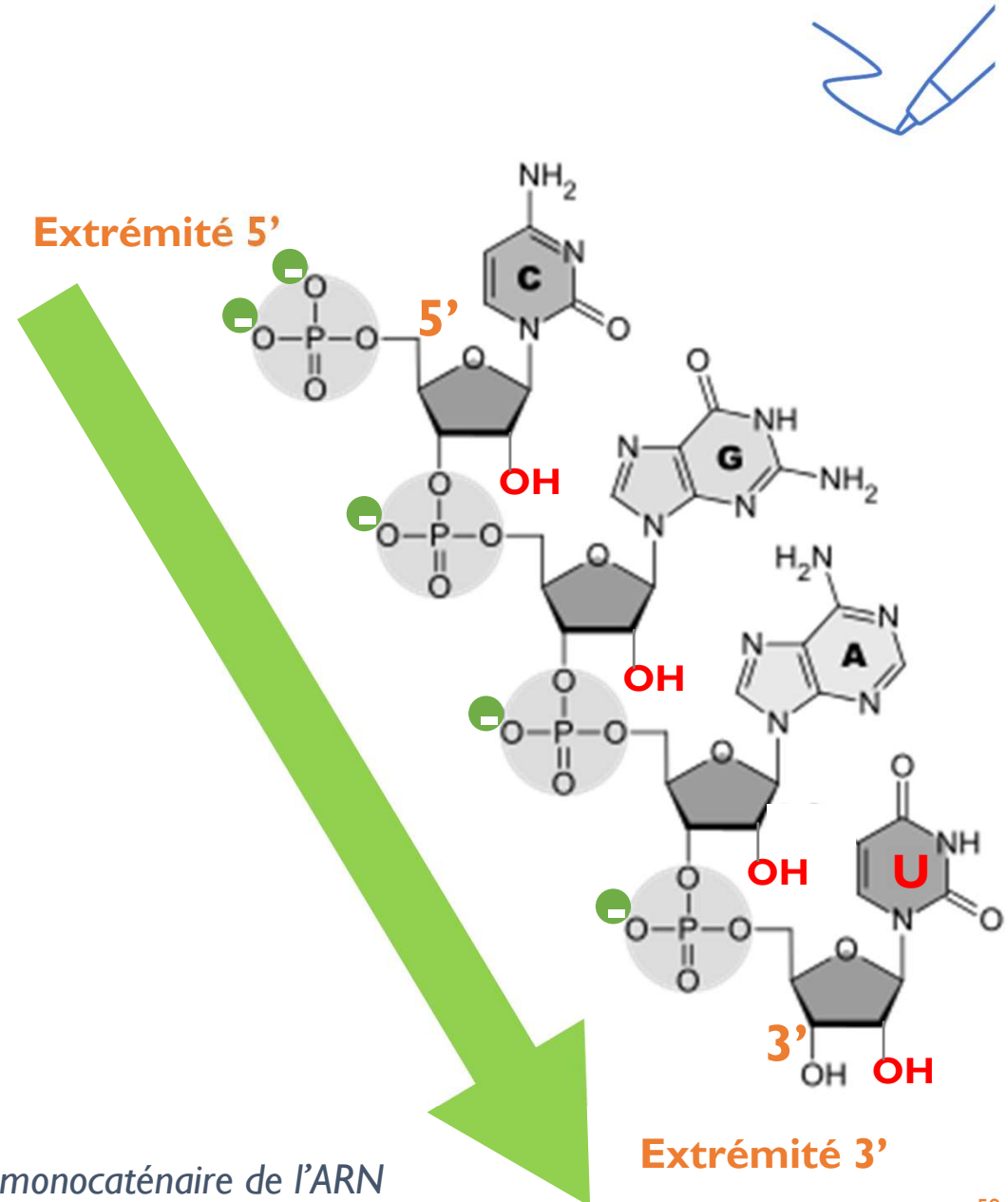
### III. Structure et fonctions des ARN

- 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)

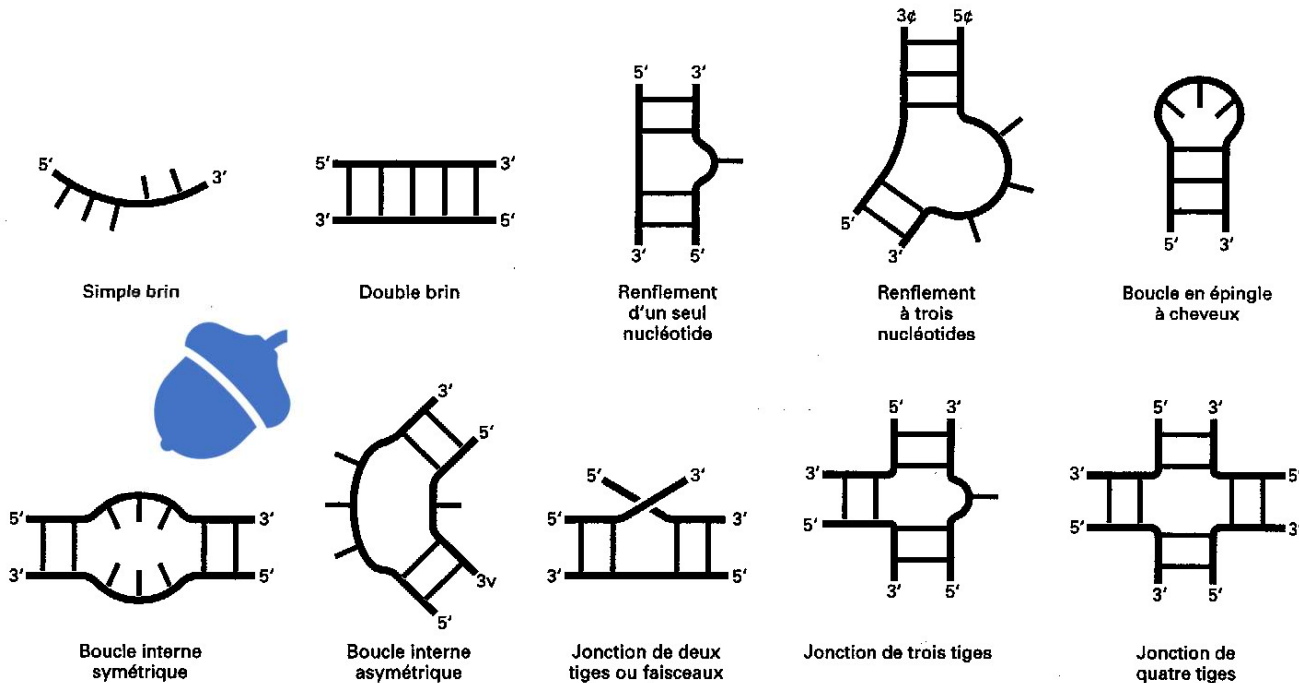


Structure monocaténaire de l'ARN

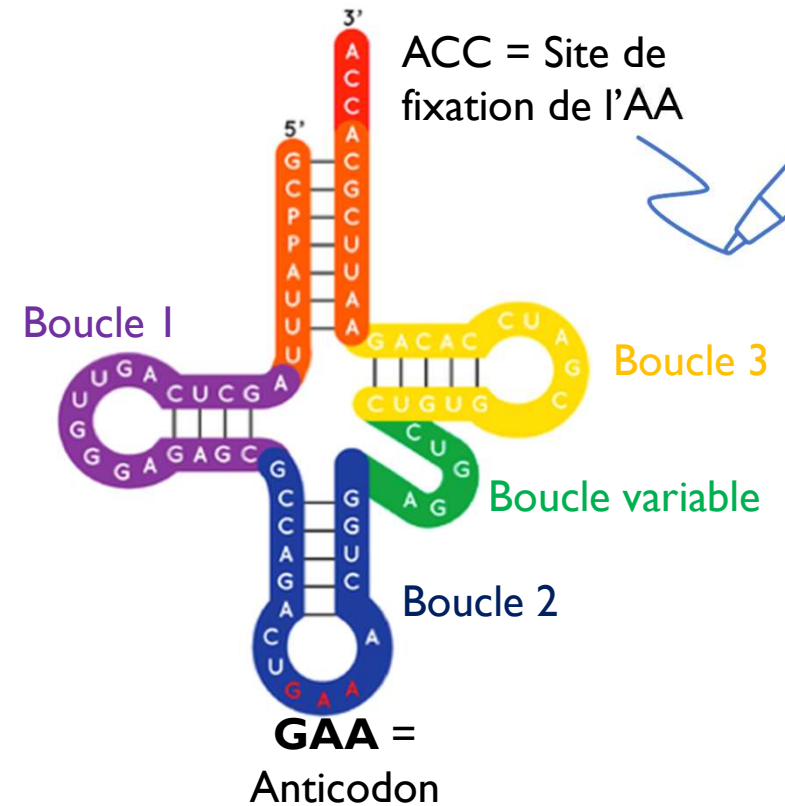
# III. STRUCTURE ET FONCTION DES ARN

## A. STRUCTURE

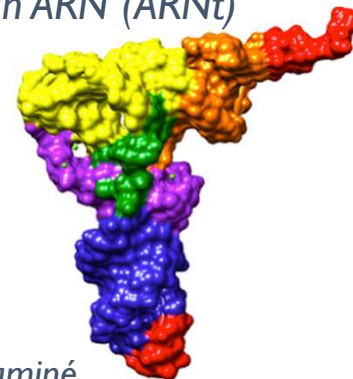
- Malgré une structure fondamentalement monocaténaire, les **bases azotées** d'un même ARN peuvent former des **appariements de bases non canoniques**
  - Structures bicaténaires irrégulières
  - Formes 3D complexes et variées



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

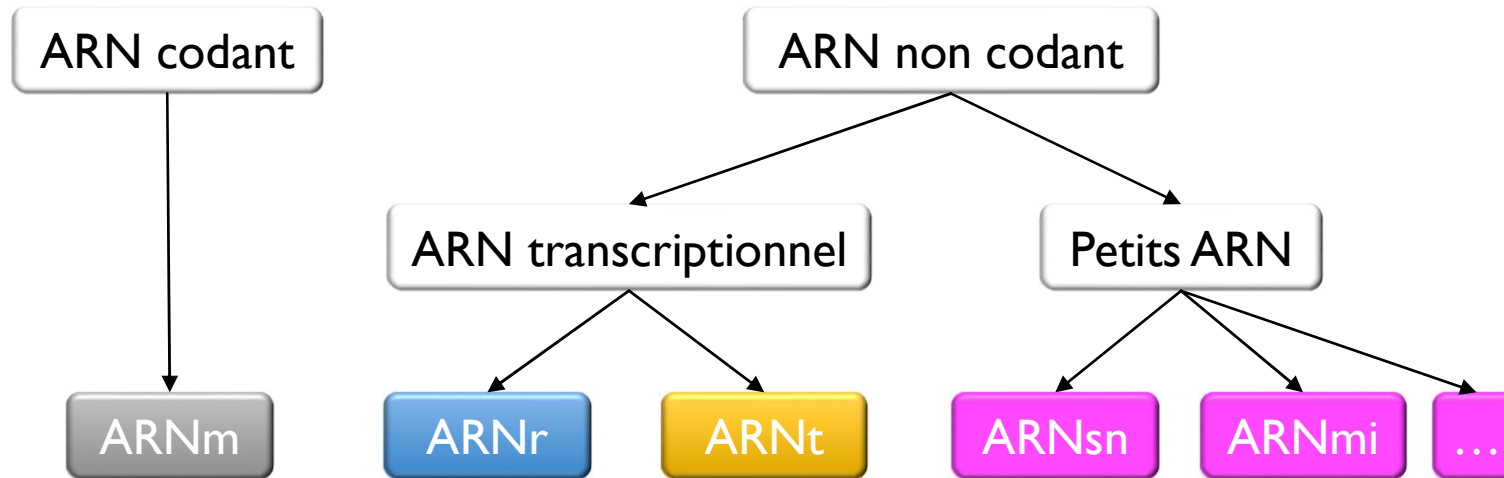
- A. Structure
- B. Propriétés physico-chimiques
- C. Fonction

### III. Structure et fonctions des ARN

- A. Structure
- B. Diversité et fonctions

### III. STRUCTURE ET FONCTION DES ARN

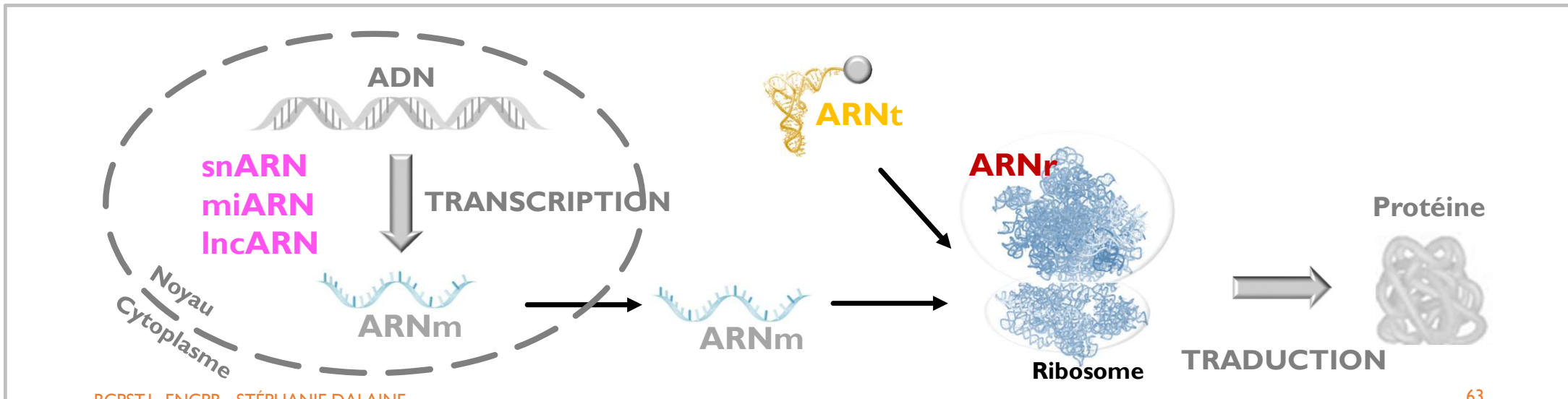
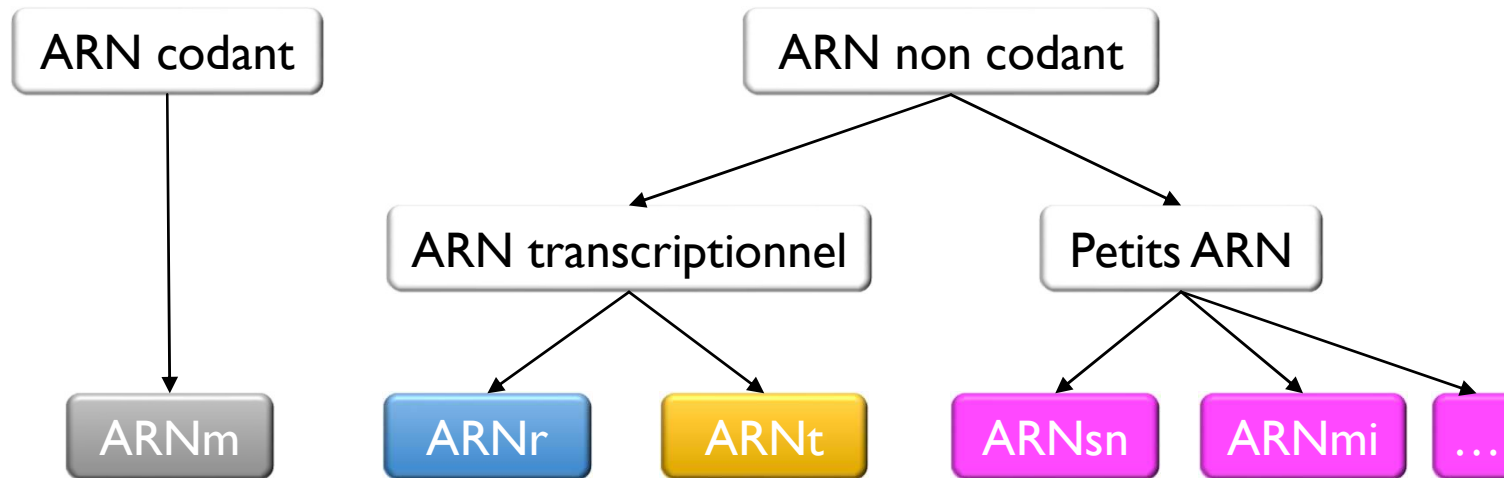
#### B. DIVERSITÉ ET FONCTIONS



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

### III. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ARN

## B. DIVERSITÉ ET FONCTIONS

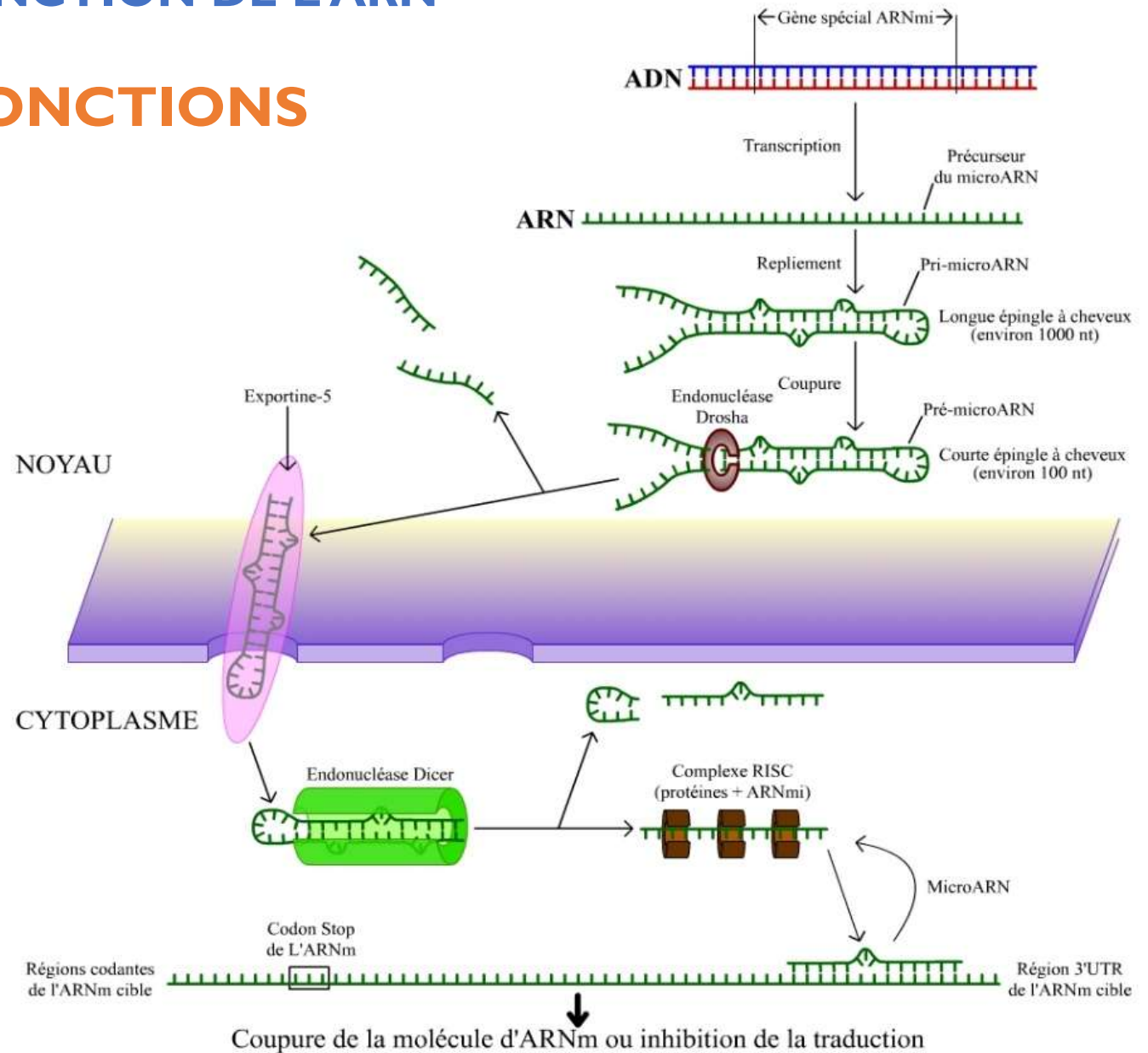


### III. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ARN

## B. DIVERSITÉ ET FONCTIONS

### Petits ARN

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

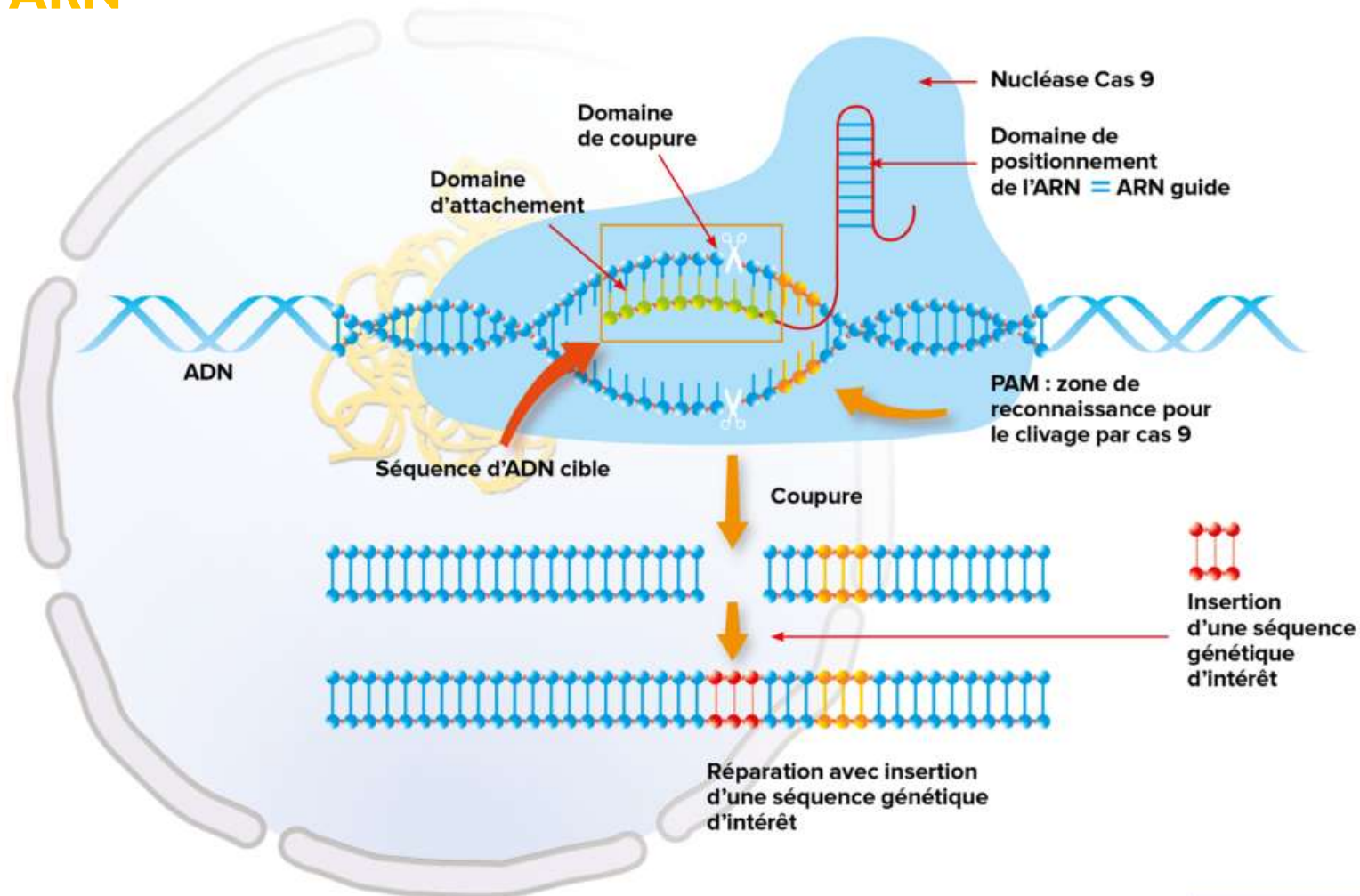


### III. STRUCTURE ET FONCTION DE L'ARN

## B. DIVERSITÉ ET FONCTIONS

Ex : complexe CrispR Cas 9  
Edition de l'ADN

### Petits ARN



# 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, 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 = Adénine  
 T = Thymine  
 U = **Uracile**  
 G = Guanine  
 C = Cytosine

A, G, C, **U**

**ribose**

**Monocaténaire** (1 brin)

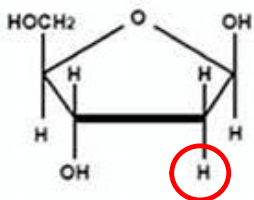
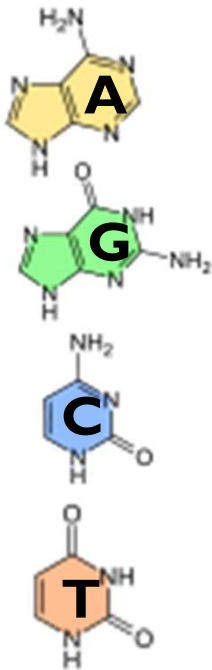
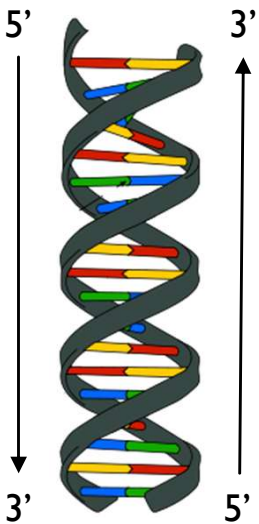
Molécule plus courte

Structure 3D variable

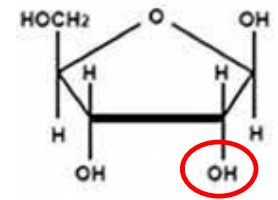
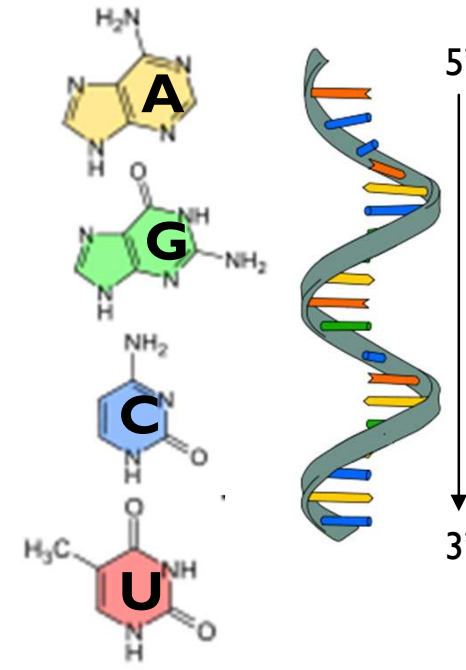
Possibilité d'appariement des bases

Structures secondaires

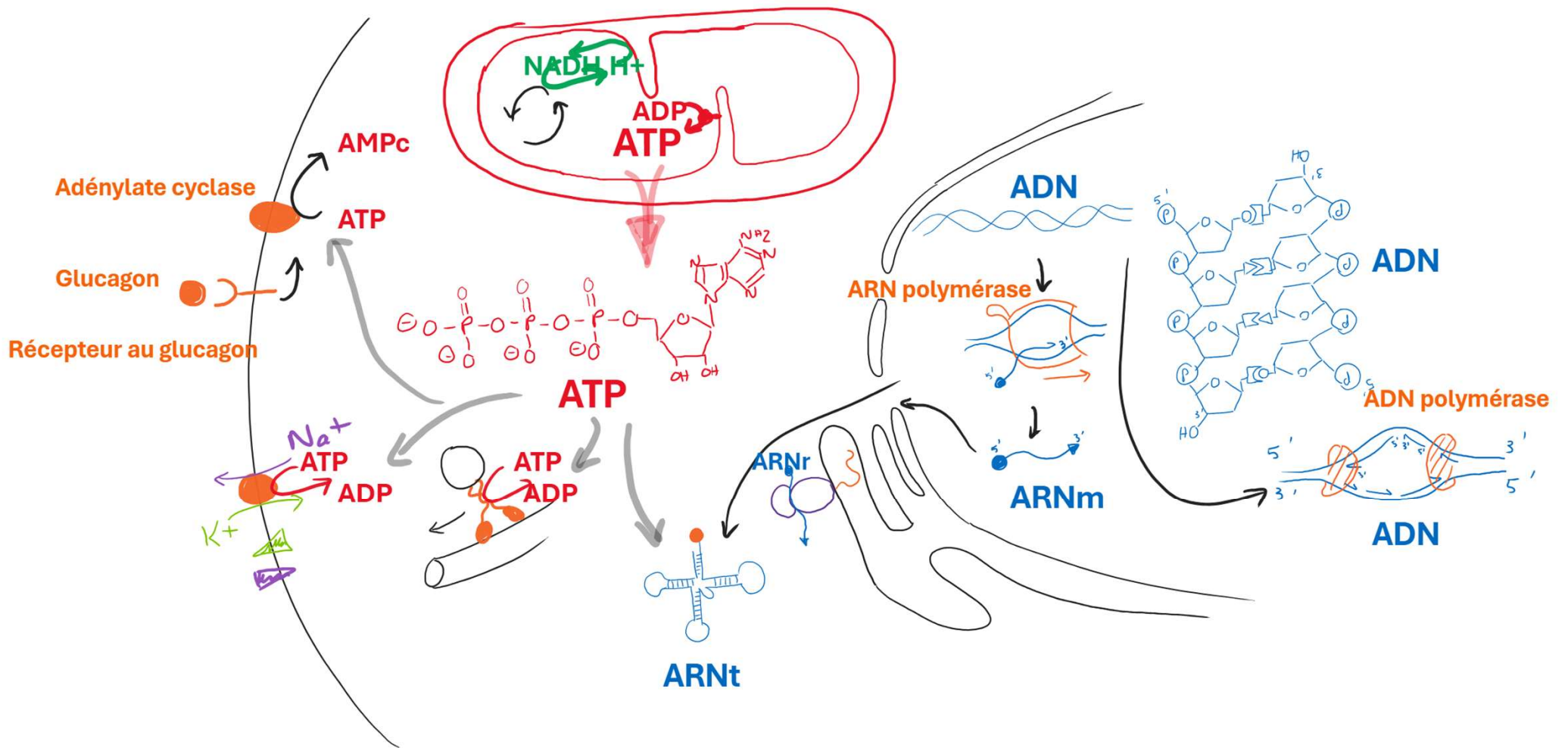
Rôle : **Expression** de l'information  
 génétique et sa **régulation**



Désoxyribose



Ribose



Nucléotides: monomères à rôle énergétique et informatif

Acides nucléiques: porteurs de l'information génétique

