



L'expression du patrimoine génétique

Comment l'information stockée dans l'ADN peut-elle s'exprimer à l'échelle de l'organisme ?

I. Une relation entre l'ADN et les protéines

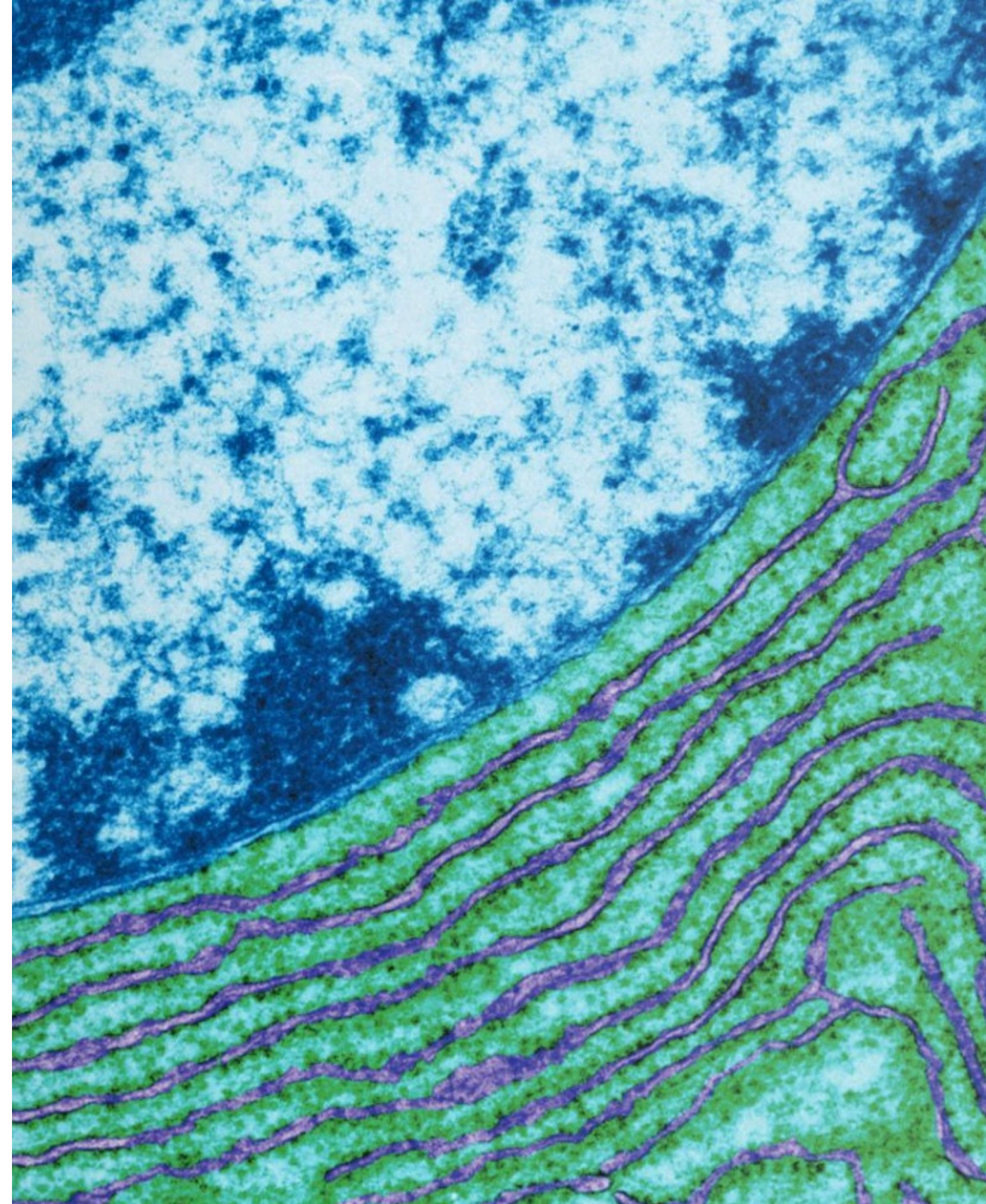
- A) Les gènes contrôlent la synthèse des protéines
- B) L'ARN, un intermédiaire entre les gènes et les protéines

II. Les mécanismes de l'expression du patrimoine génétique

- A) De l'ADN en ARN pré-messager : la Transcription
- B) De l'ARN pré-messager à l'ARN messager : la Maturation
- C) De l'ARN messager à la protéine : la Traduction

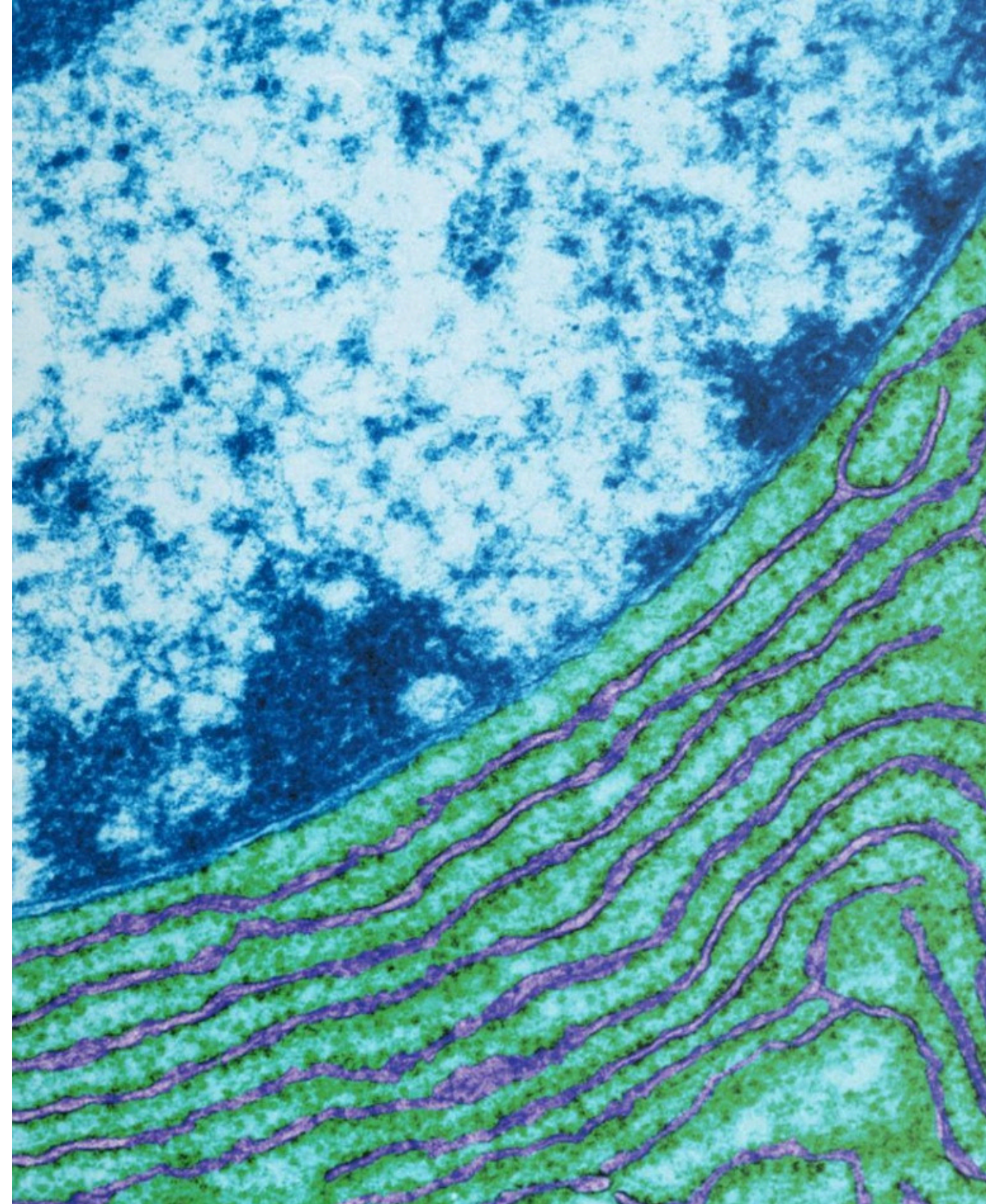
III. La régulation de l'expression des gènes

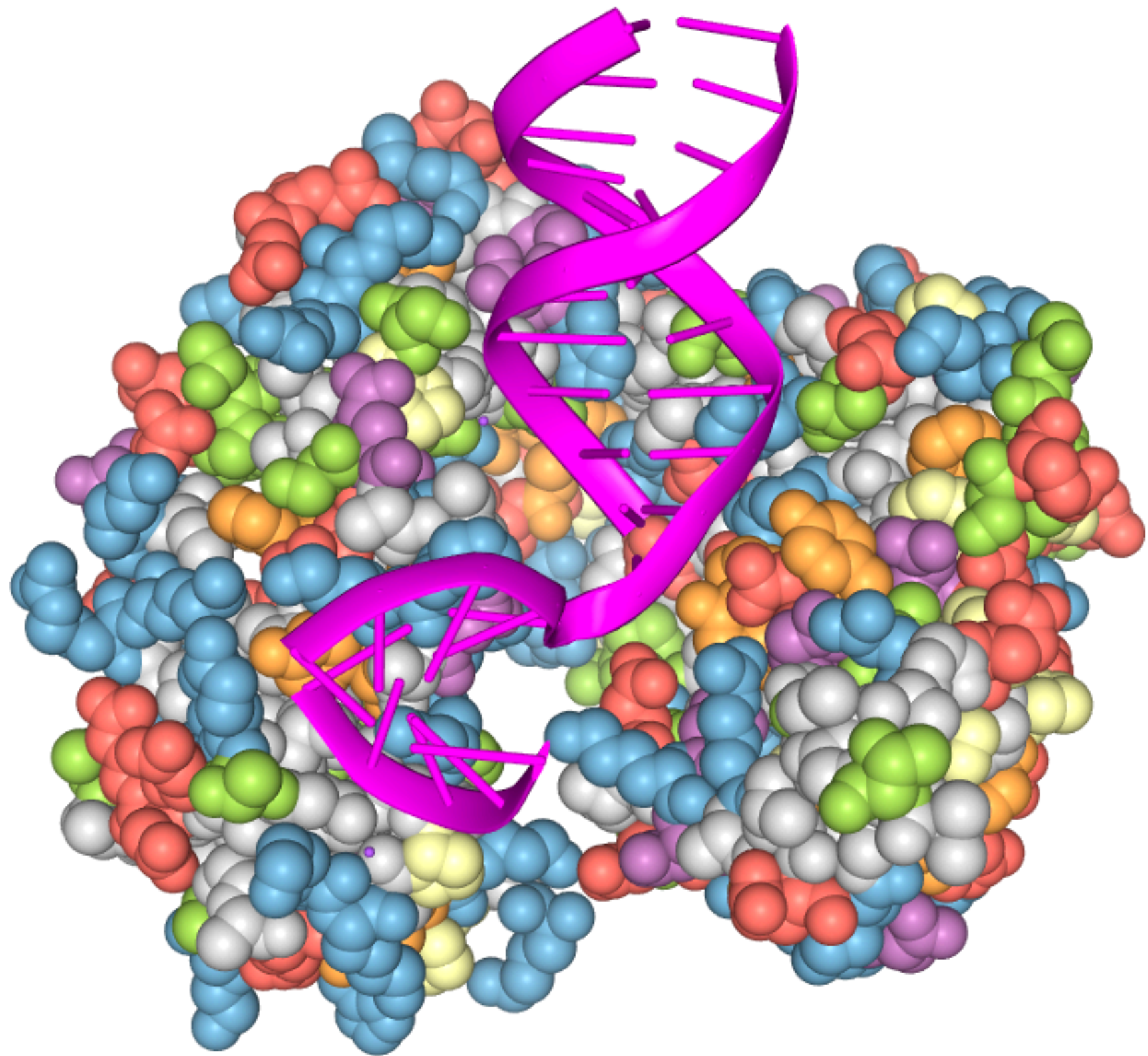
- A) Les différentes échelles d'observation des phénotypes
- B) L'environnement peut intervenir sur l'expression du patrimoine génétique

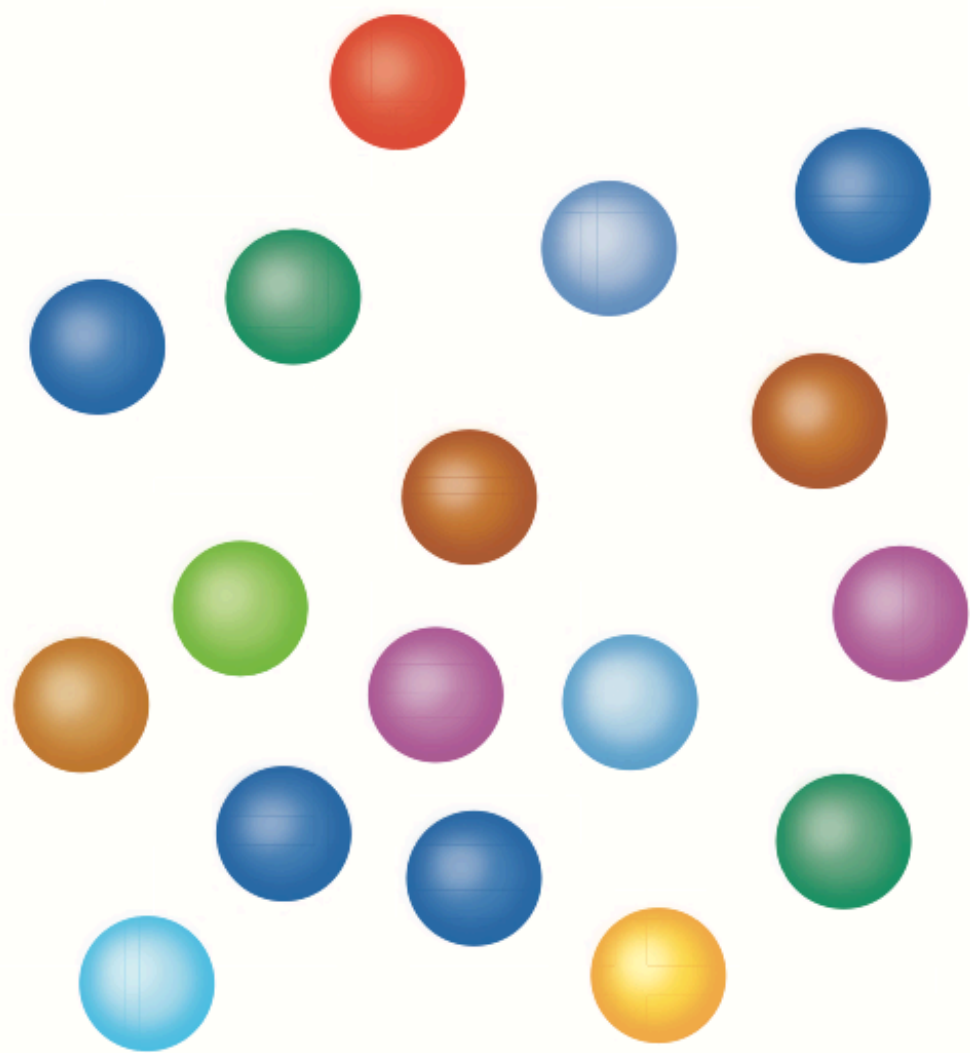


I. Une relation entre l'ADN et les protéines

→ A) Les gènes contrôlent la synthèse des protéines



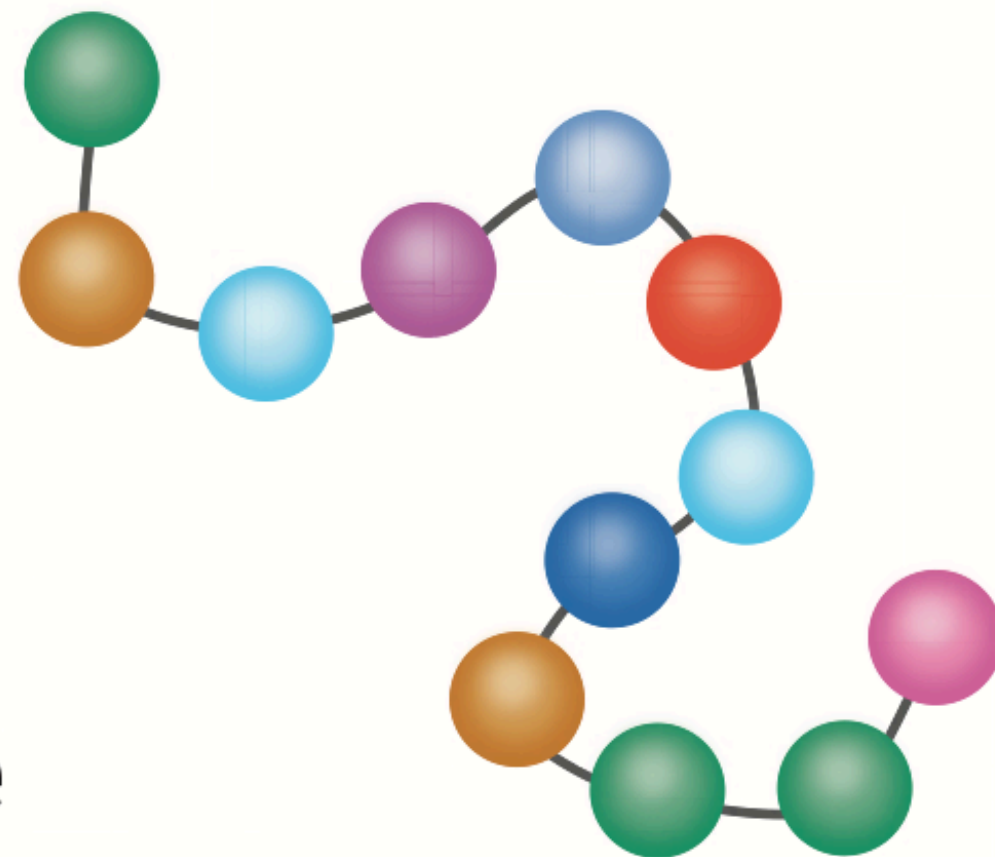




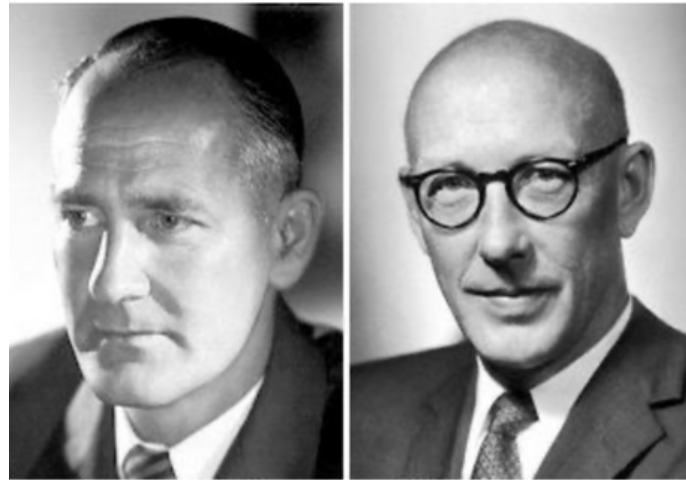
acides aminés



synthèse

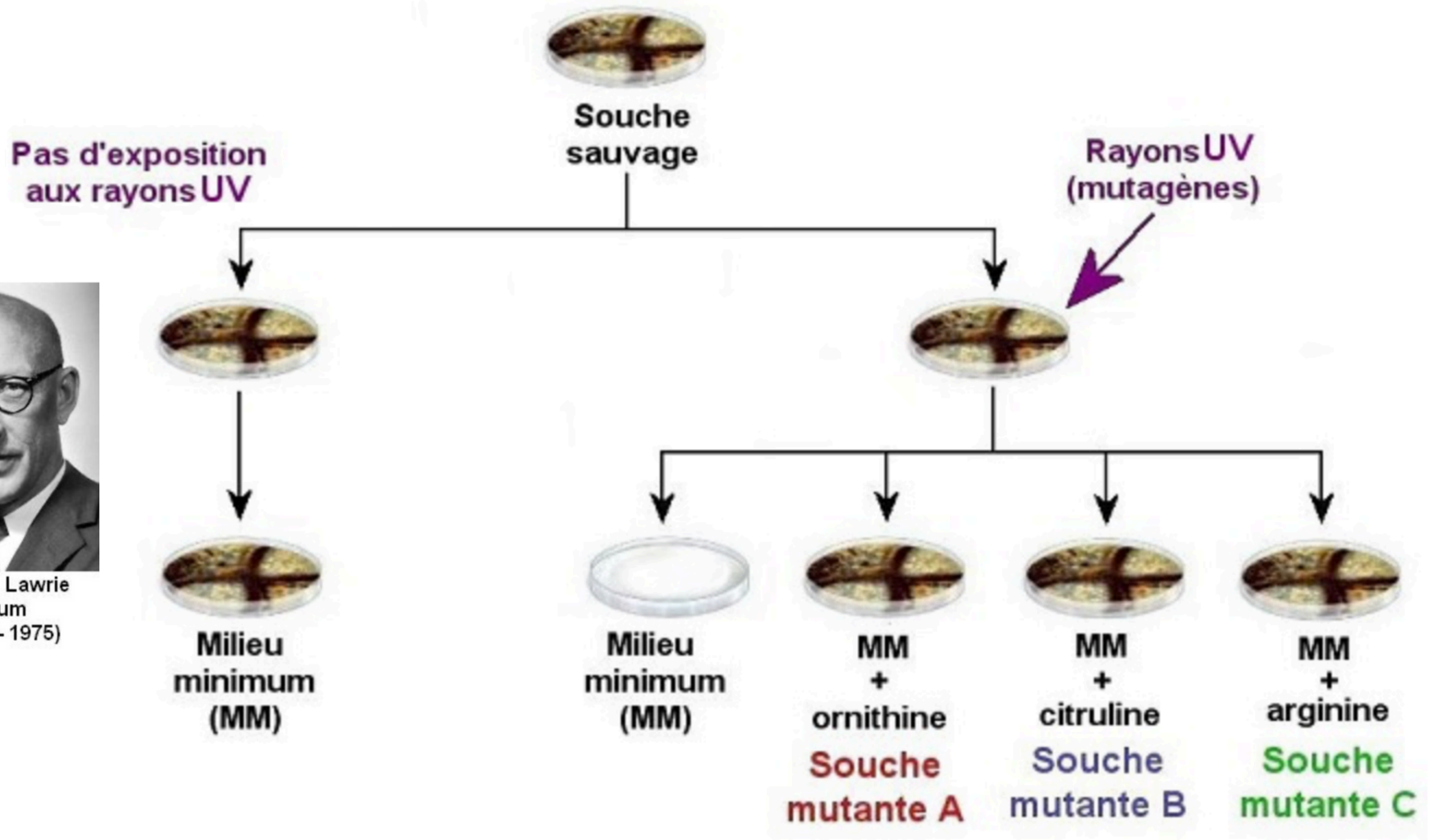


protéine

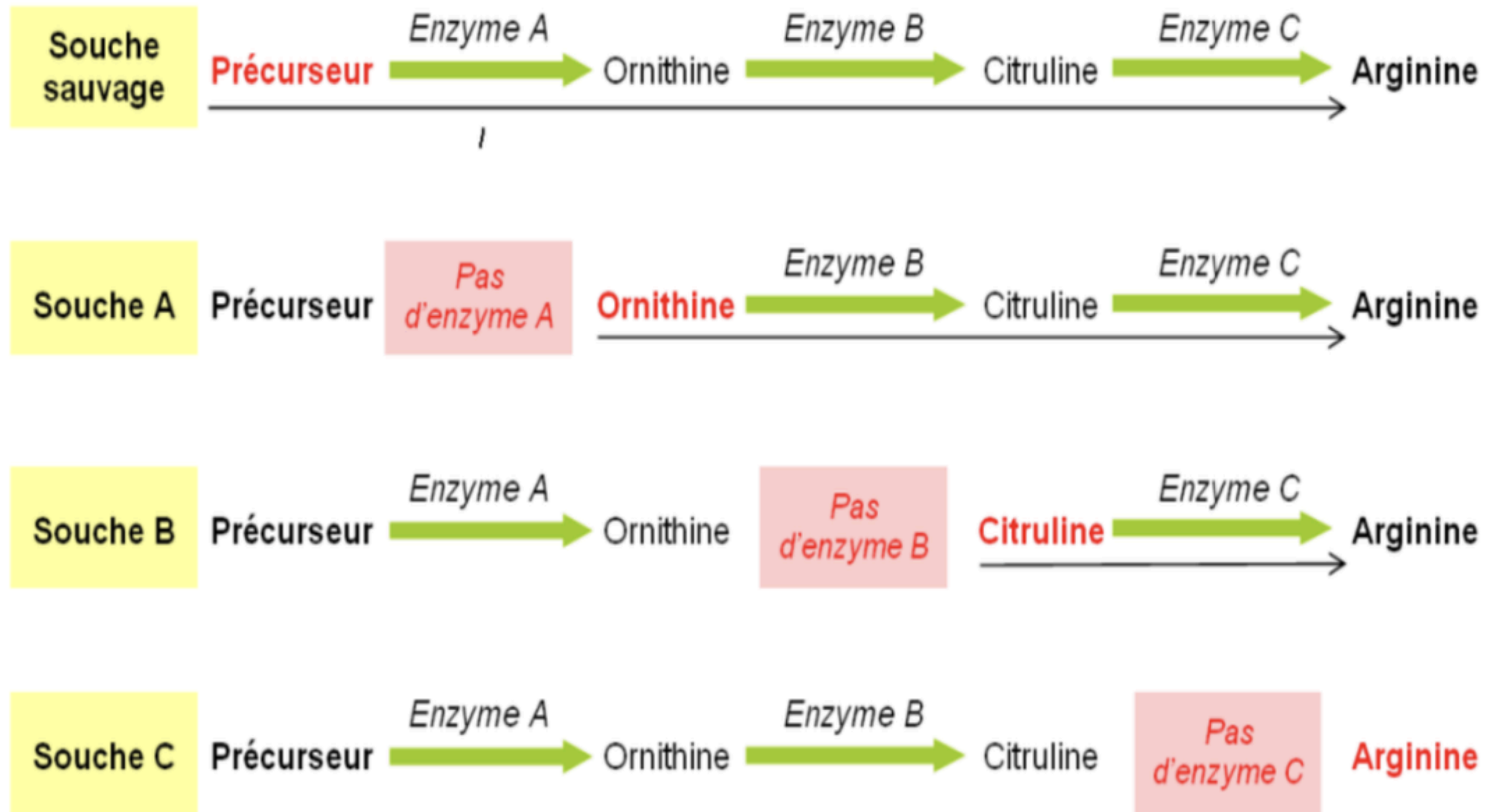


George Wells Beadle
(1903 - 1989)

Edward Lawrie Tatum
(1909 - 1975)



Expérience de Beadle et Tatum (1941)



Expérience de Beadle et Tatum (1941)

..... mutation 1 = mutant 1

..... mutation 2 = mutant 2

..... mutation 3 = mutant 3

..... mutation 4 = mutant 4

..... mutation 5 = mutant 5

..... mutation 6 = mutant 6

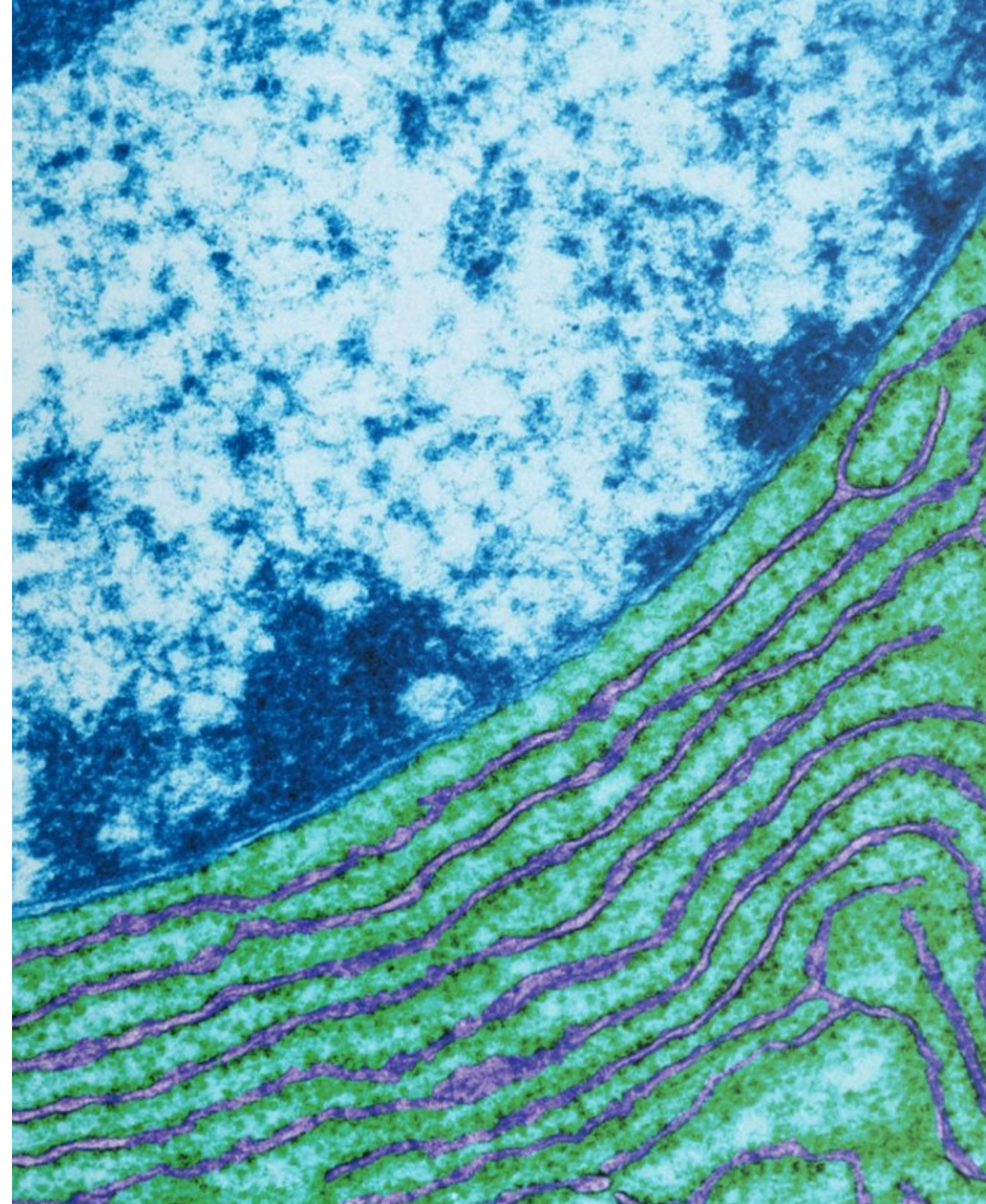
Mutant	Position de l'acide aminé modifié	Acide aminé présent	
		dans la protéine normale	chez le mutant
1	22	Phe	Leu
2	49	Glu	Val ou Gln ou Met
3	177	Leu	Arg
4	211	Gly	Arg ou Glu
5	213	Gly	Val
6	235	Ser	Leu

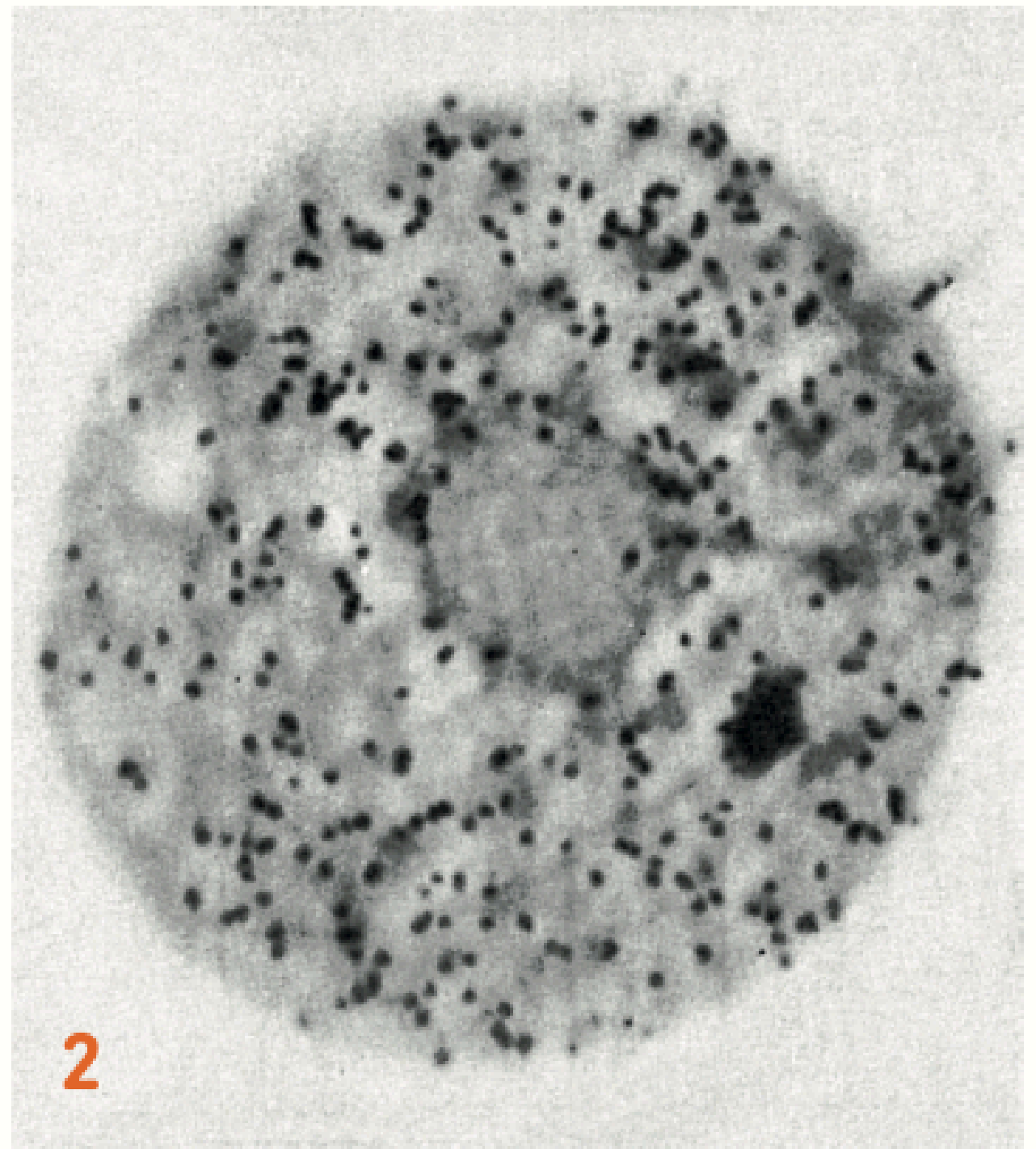
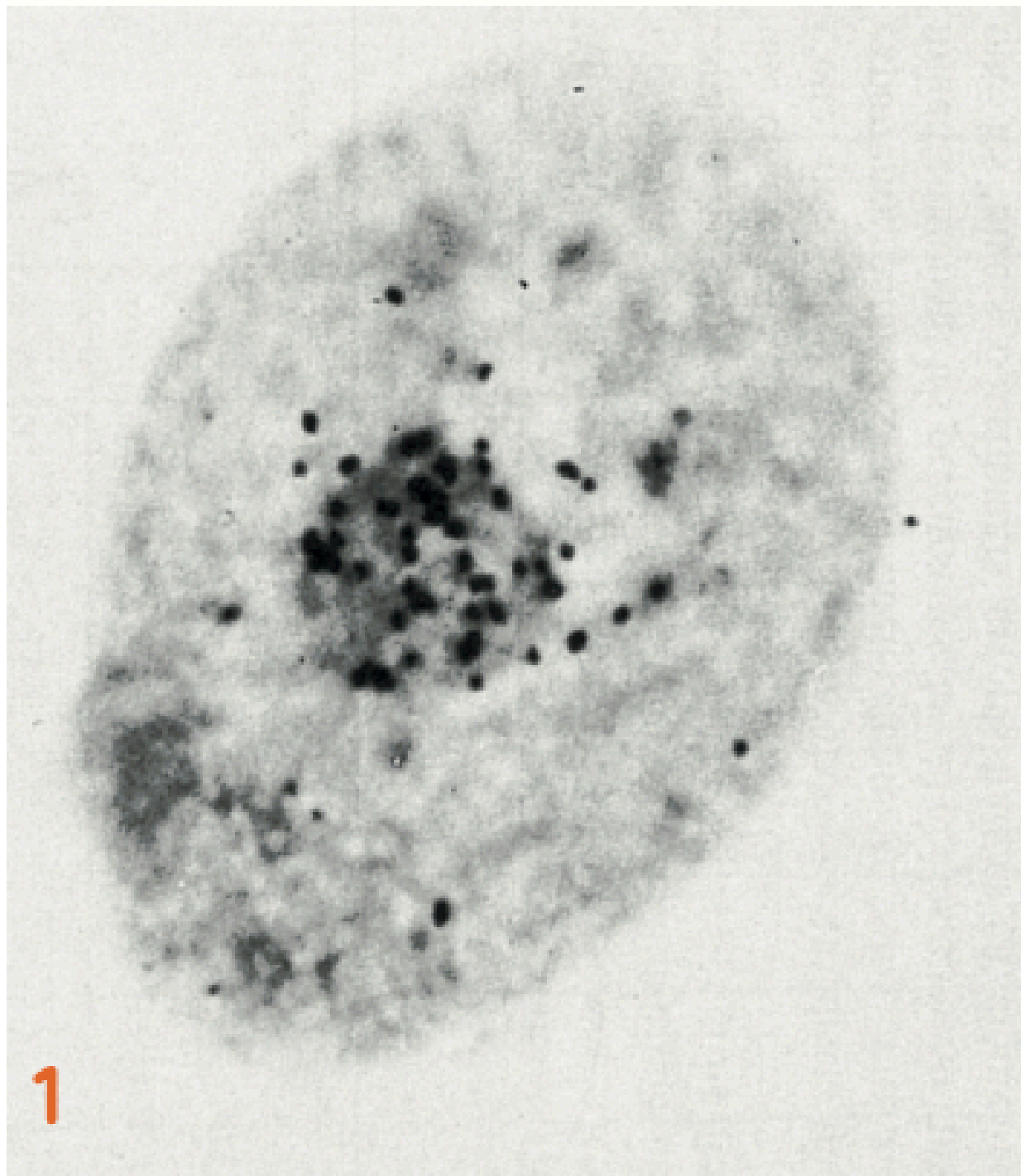
Expérience de Yanofsky (1967)

I. Une relation entre l'ADN et les protéines

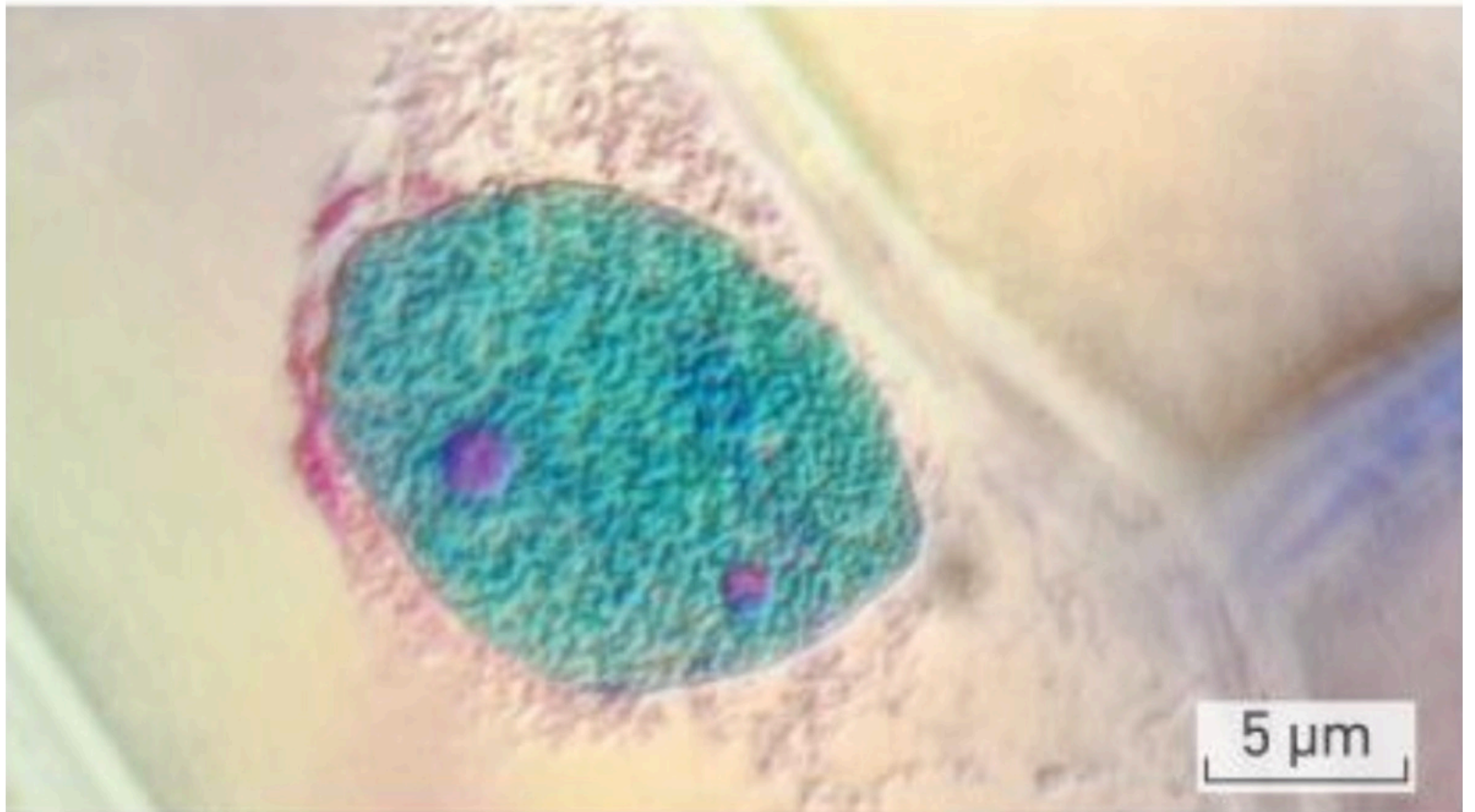
A) Les gènes contrôlent la synthèse des protéines

→ B) L'ARN, un intermédiaire entre les gènes et les protéines

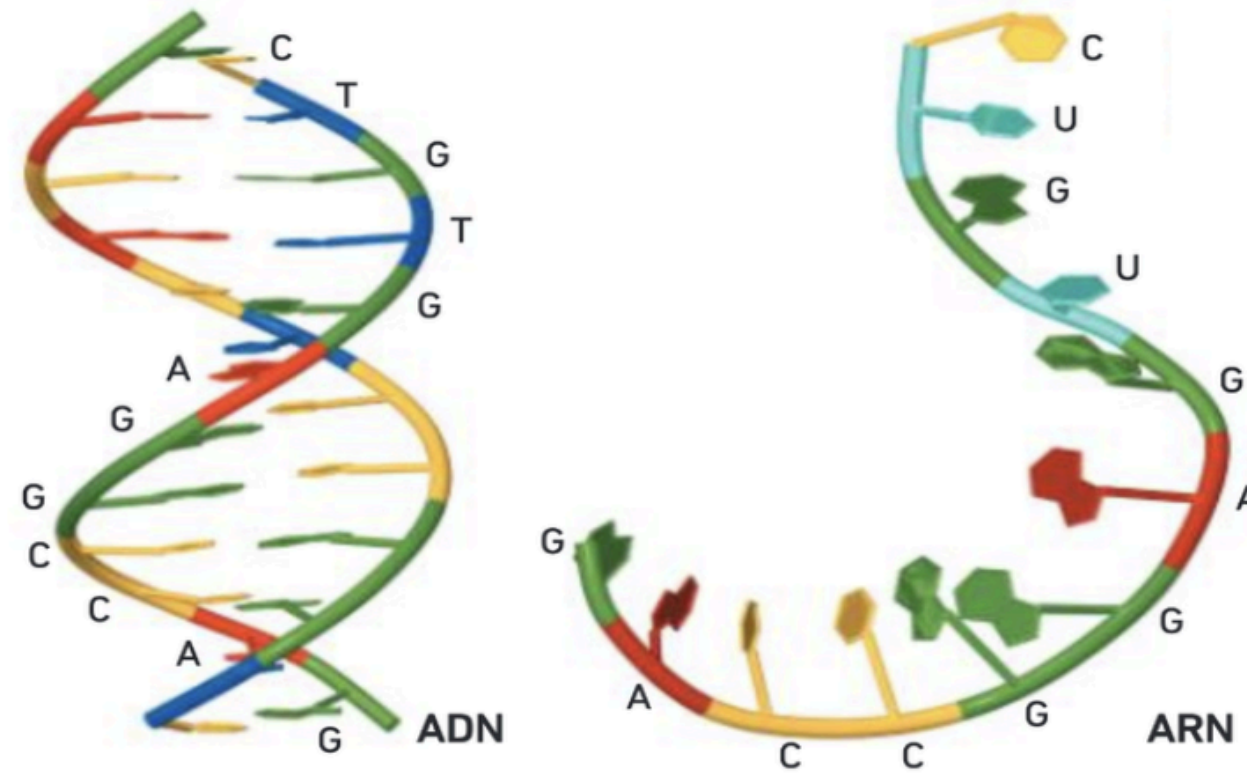




Expérience de Brachet (1951)



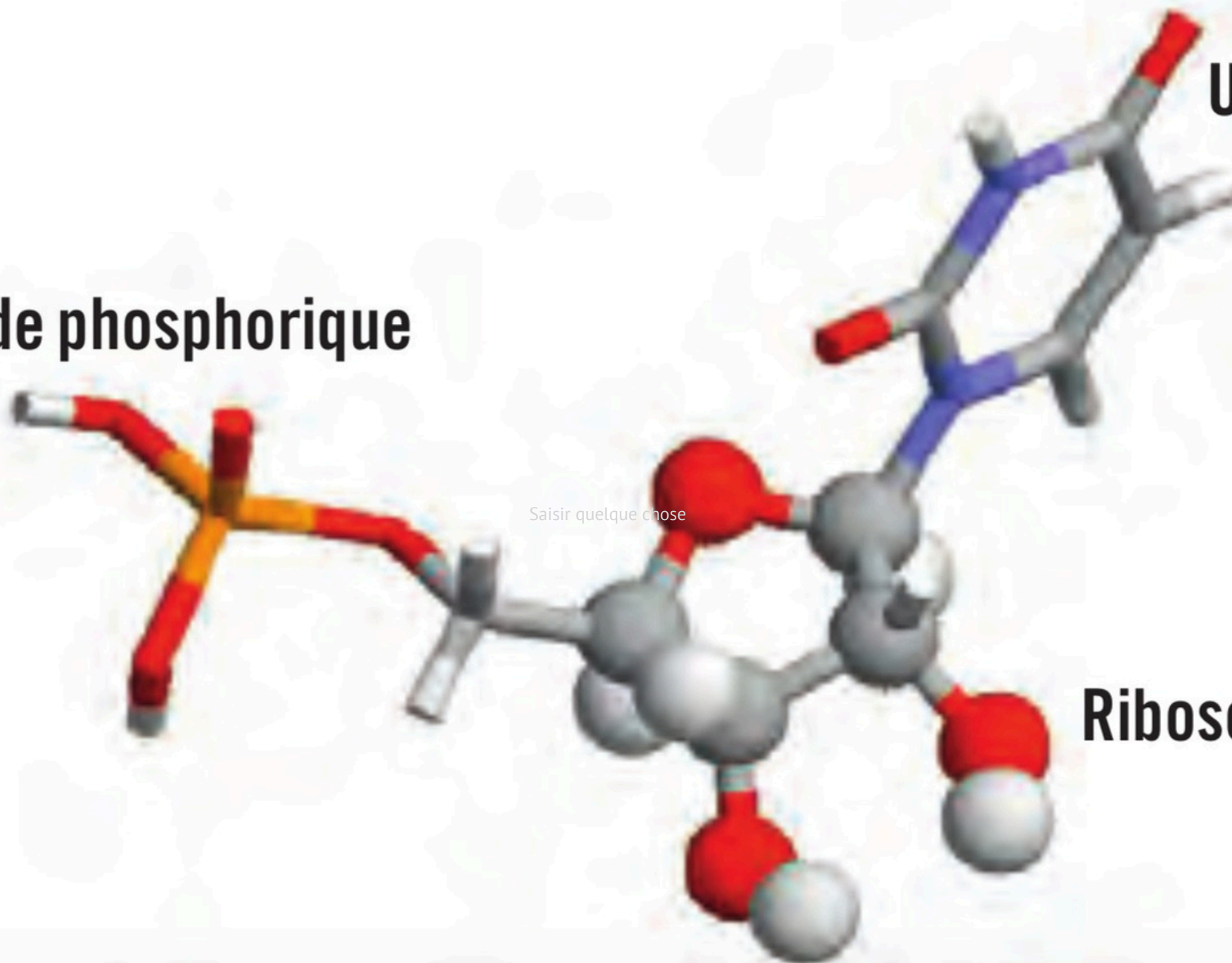
Observation microscopique du noyau de cellules d'oignon colorée au vert de méthyle pyronine (x400)



Document 1 : Comparaison de la structure et de la composition de l'ADN et de l'ARN.

Acide phosphorique

Uracile



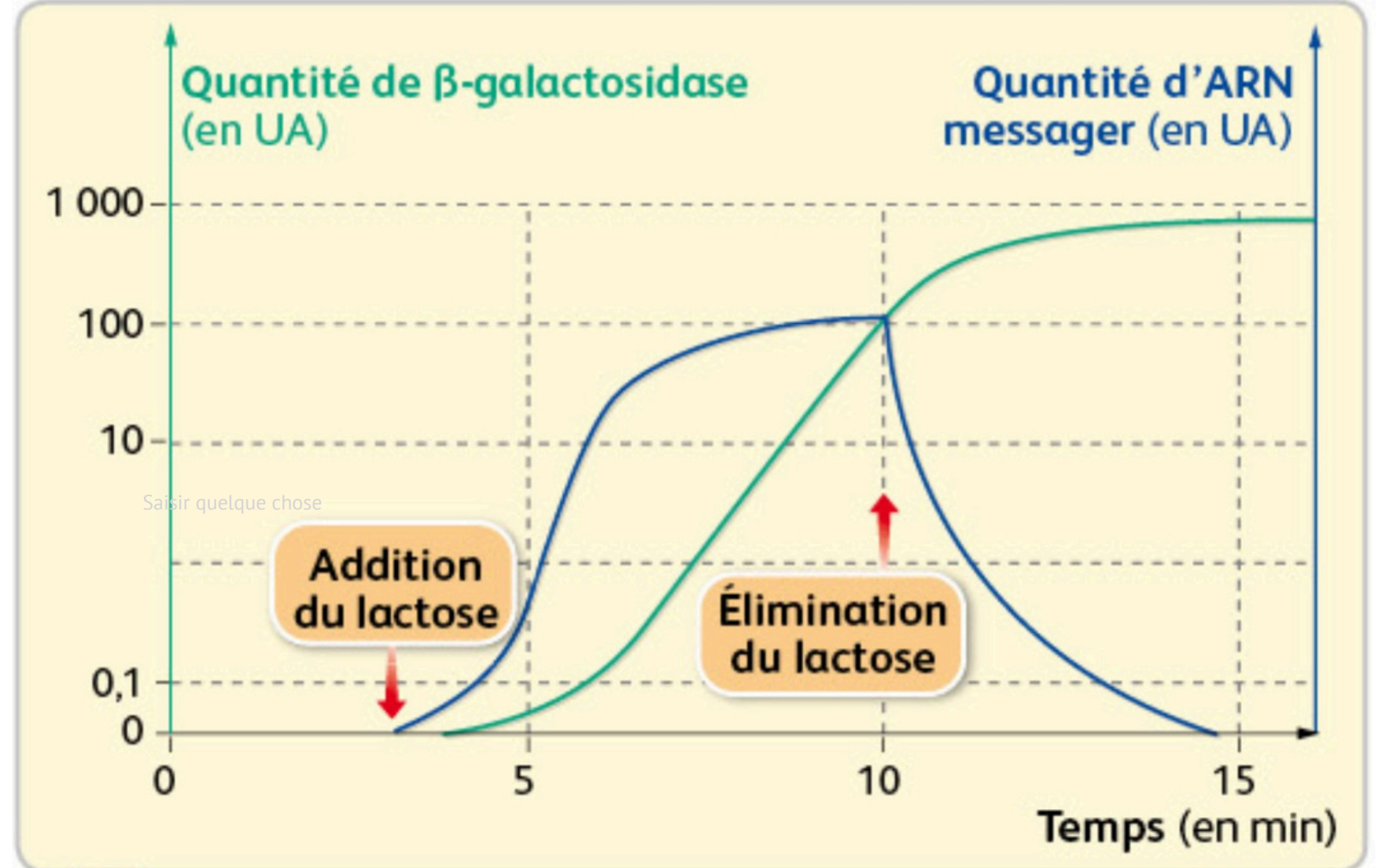
Saisir quelque chose

Ribose

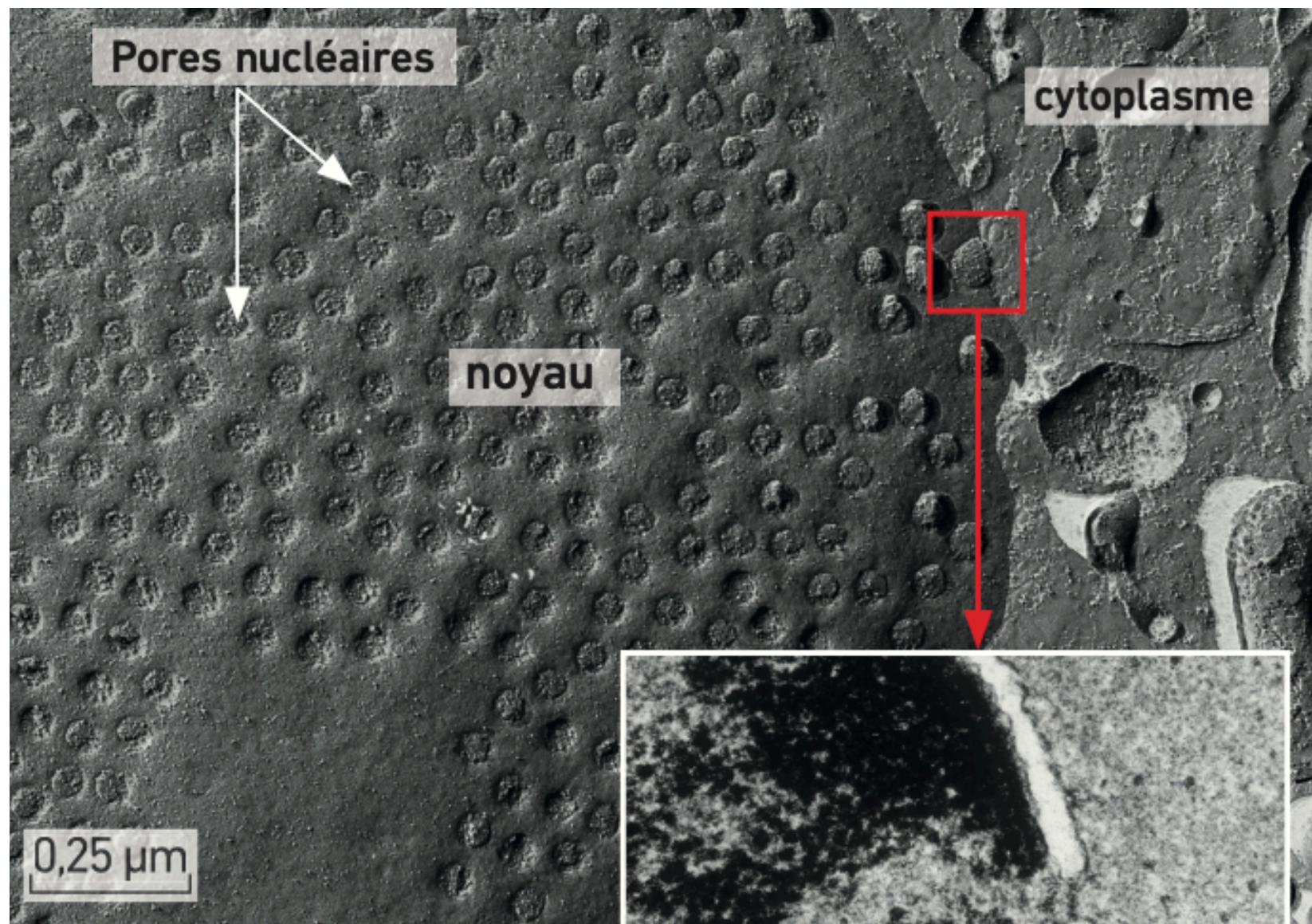
L'Acide RiboNucléique ou ARN

	ADN	ARN
Structure	Double brin en hélice	Simple brin
Bases azotées	A / T / C / G	A / U / C / G
Sucre	Désoxyribose	Ribose
Fonction	Support de l'information génétique	Intermédiaire entre le noyau et le cytoplasme

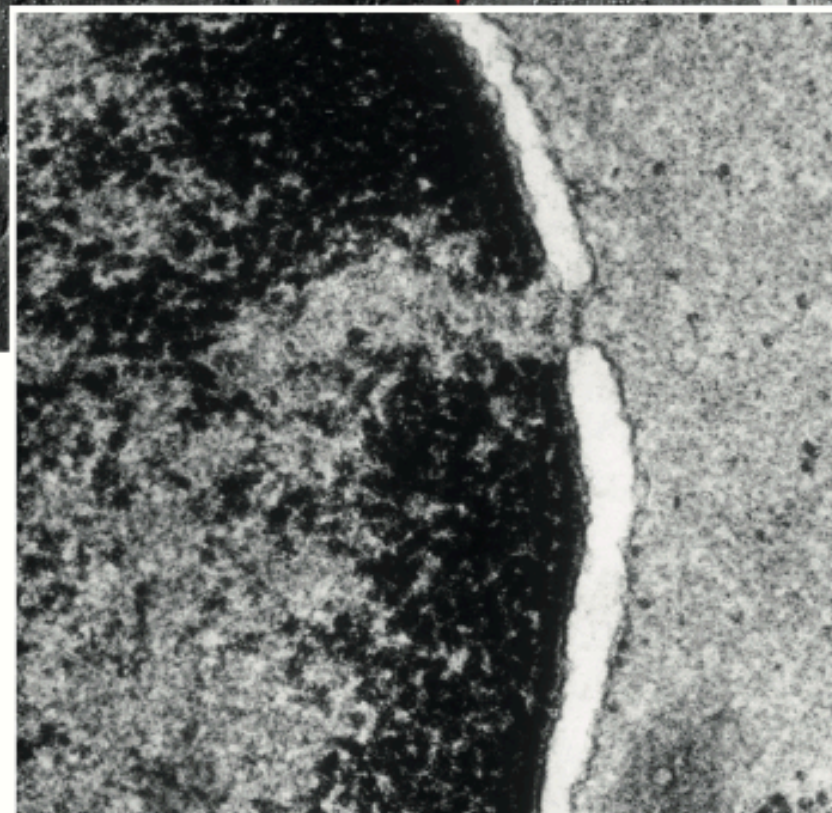
Titre : Tableau comparatif des molécules d'ADN et d'ARN



Jacob et Monod et l'hypothèse d'un intermédiaire entre ADN et protéine (1959)



D Détail de l'enveloppe nucléaire (observation au MEB après cryodécapage*) et détail observé au MET*.



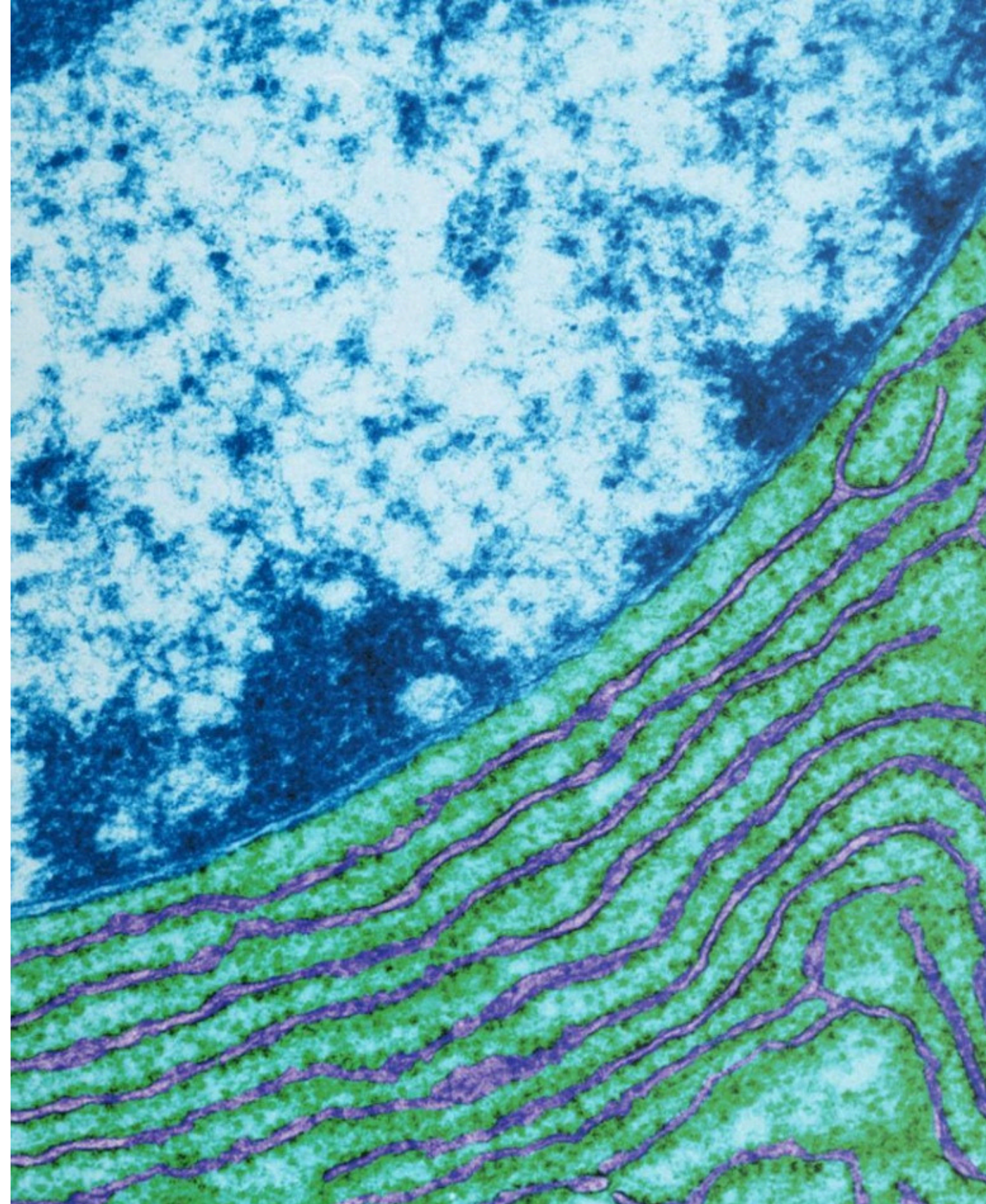


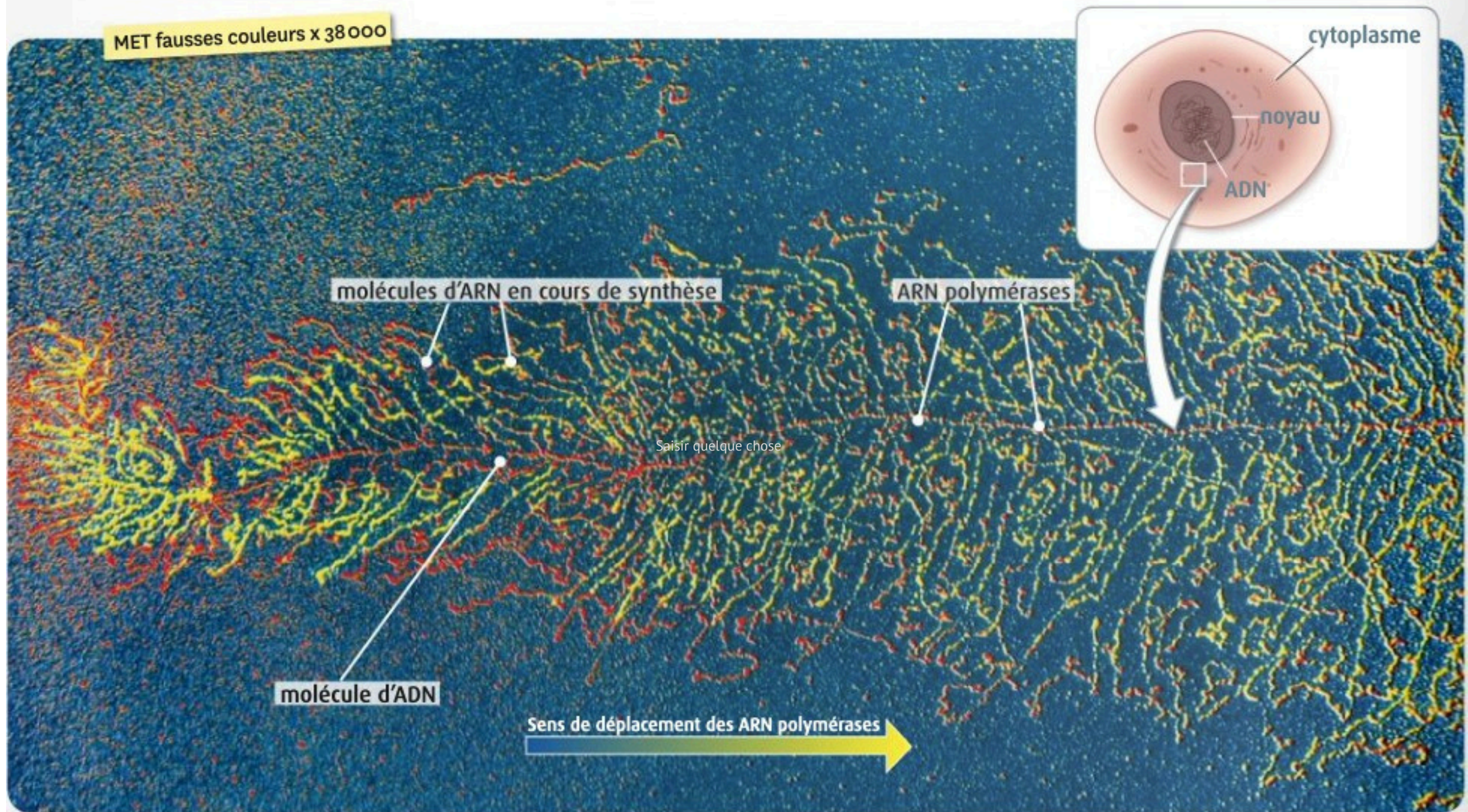
Bilan : Les protéines sont des macromolécules essentielles au fonctionnement des cellules. Elles sont formées d'une succession de petites molécules, les acides aminés. Toutes les protéines sont le produit de l'expression d'un gène. La séquence de l'ADN, succession de nucléotides le long des brins de la molécule, est une information codée nécessaire à la synthèse des protéines. L'enchaînement des acides aminés d'une protéine suit en effet la séquence des nucléotides du gène correspondant.

L'ARN messenger est une copie éphémère d'un fragment d'ADN, formée dans le noyau et exportée dans le cytoplasme pour y être utilisée.

II. Les mécanismes de l'expression du patrimoine génétique

→ A) De l'ADN en ARN pré-messager :
la Transcription



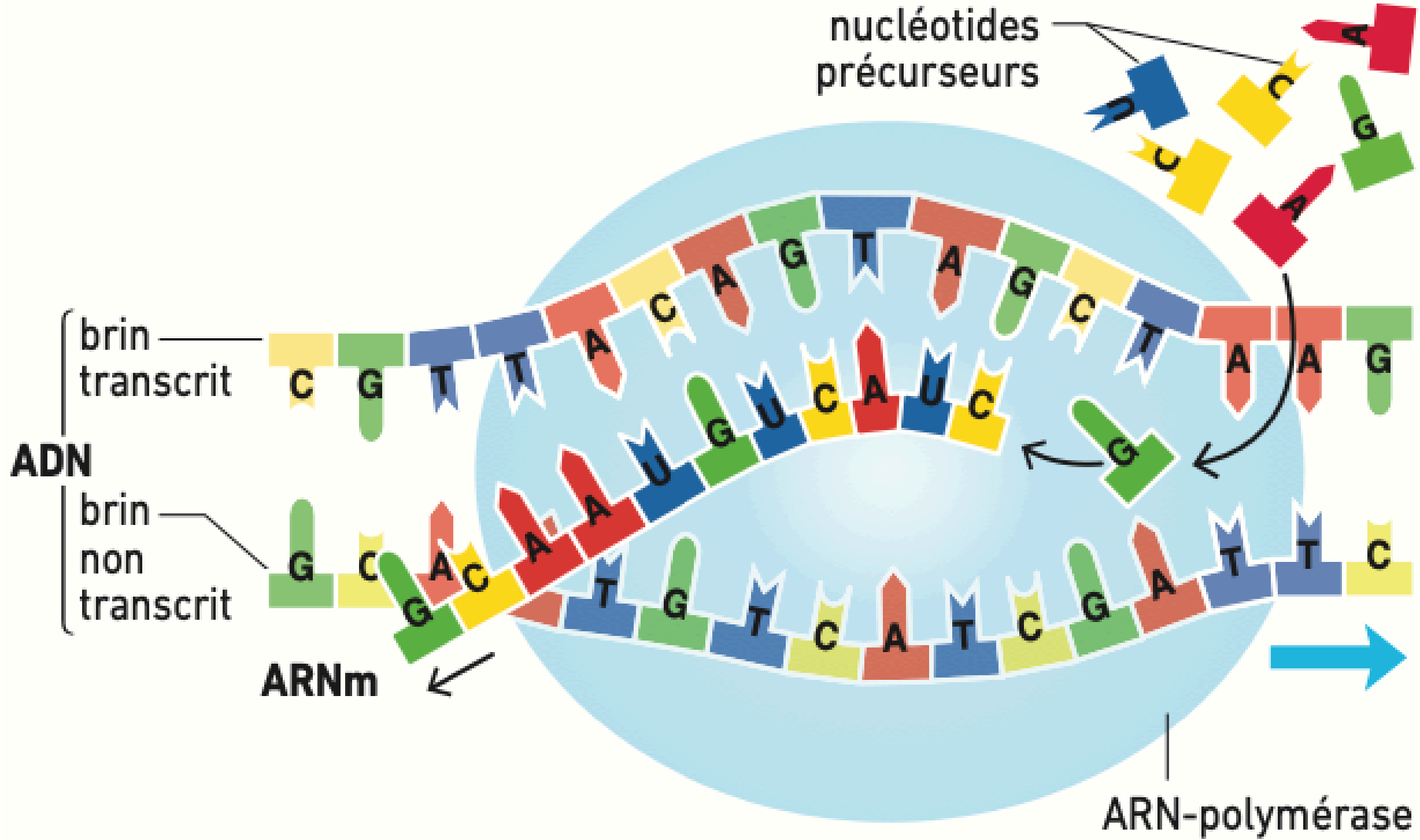


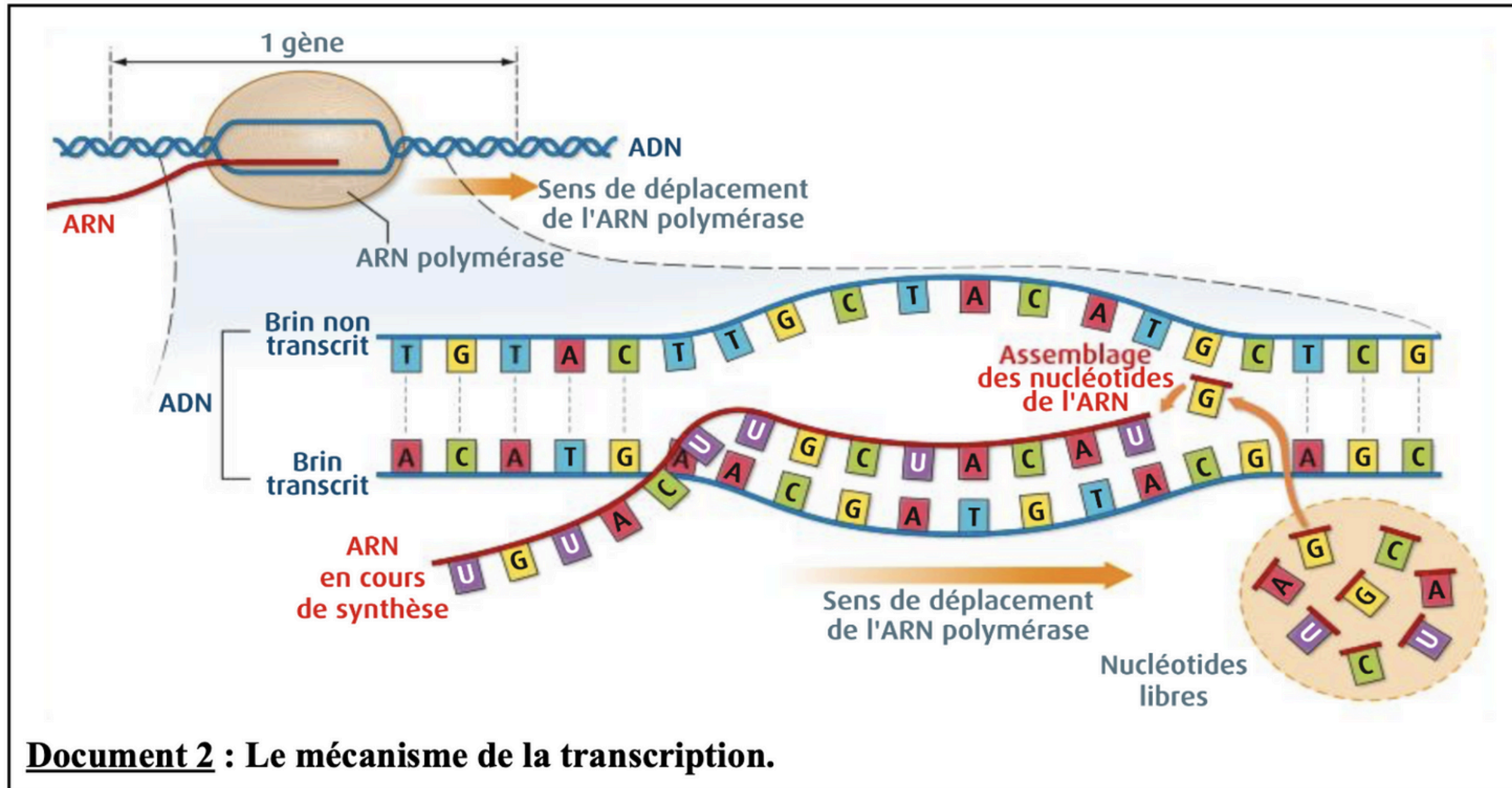
Observation au MET (fausse couleur) du mécanisme de transcription dans le noyau des cellules

10 20 30 40 50 60 70
ADN non transcrit ATGGTGCACCTGACTCCTGAGGAGAAGTCTGCCGTTACTGCCCTGTGGGGCAAGGTGAACGTGGATGAAGTTG
ADN transcrit TACCACGTGGACTGAGGACTCCTCTTCAGACGGCAATGACGGGACACCCCGTTCCACTTGCACCTACTTCAAC
ARN AUGGUGCACCUGACUCCUGAGGAGAAGUCUGCCGUUACUGCCCUGUGGGGCAAGGUGAACGUGGAUGAAGUUG

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90
 HBB S
 HBB S cpl
 HBB S cpl ARN
 ▲ TACCACGTGGACTGAGGACACCTCTTCAGACGGCAATGACGGGACACCCCGTTCCACTTGCACCTACTTCAACCACTCCGGGACCCG
 ▲ UACCACGUGGACUGAGGACACCUCUUCAGACGGCAAUGACGGGACACCCCGUUCACUUGCACCUACUUCAACCAACACUCCGGGACCCG

De l'ADN à l'ARN

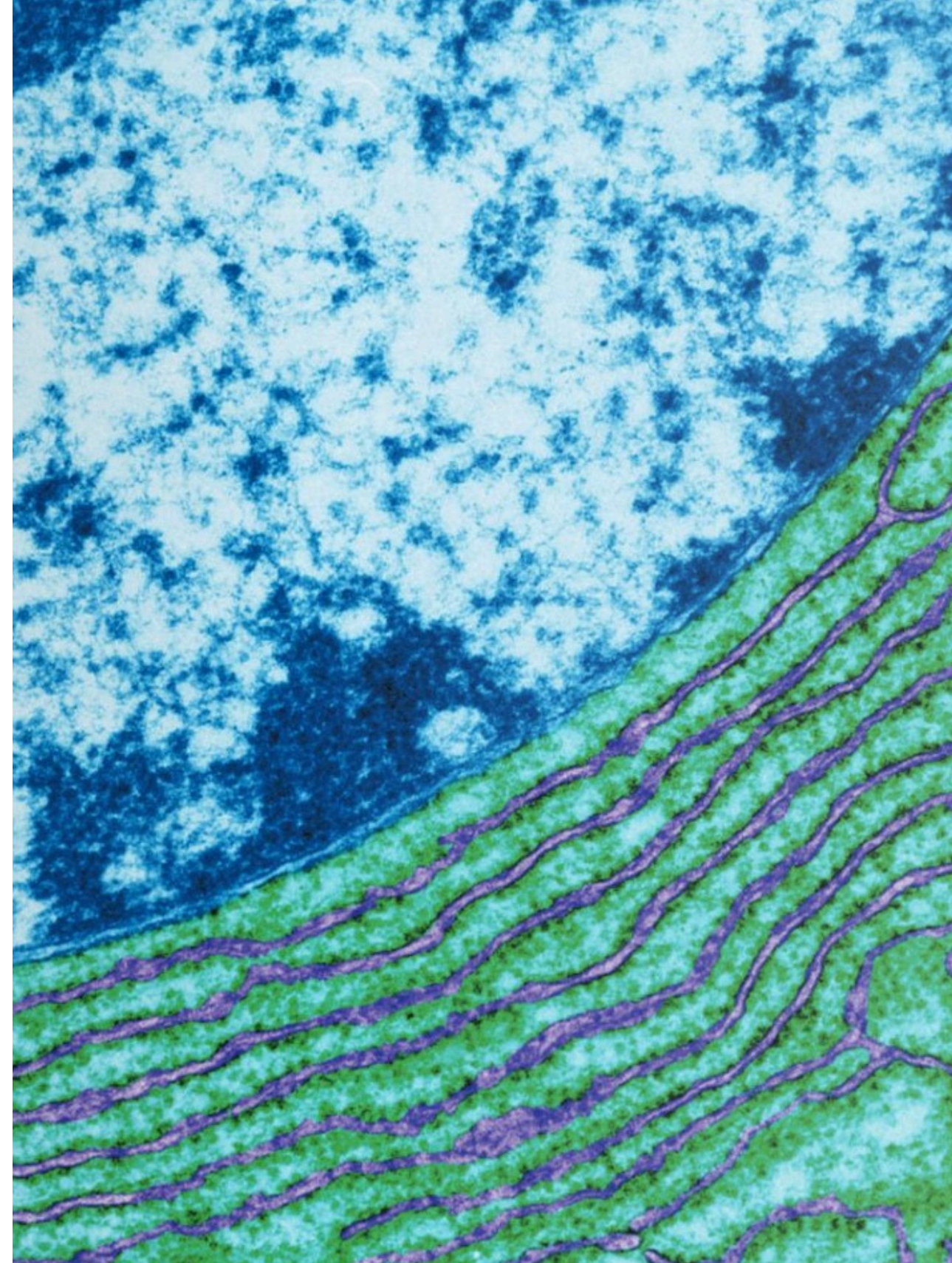




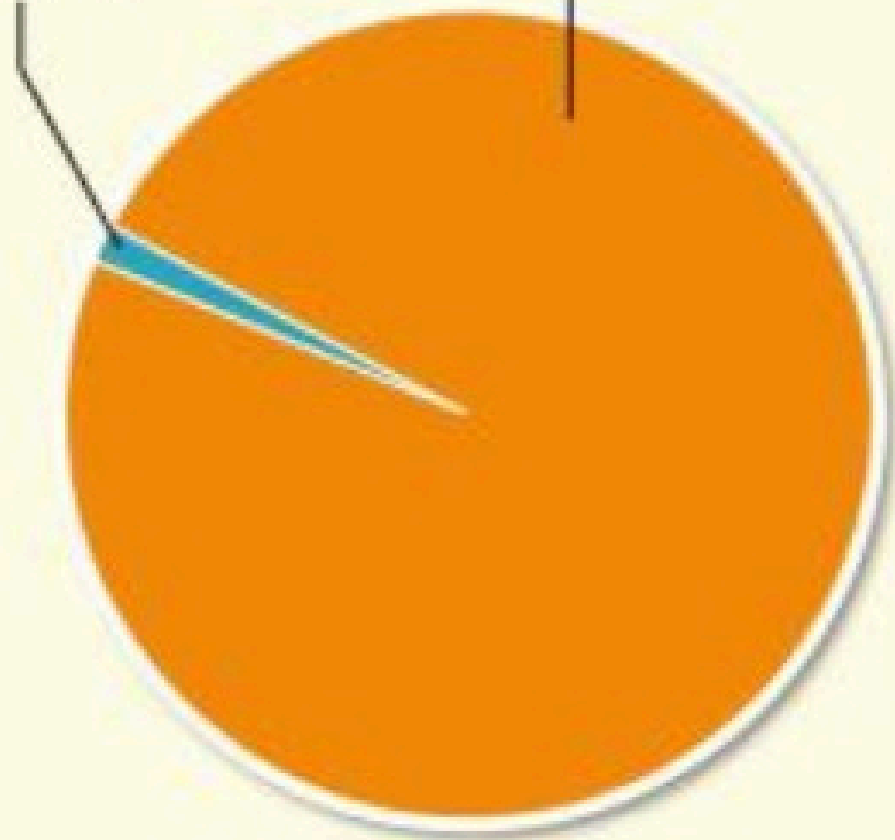
II. Les mécanismes de l'expression du patrimoine génétique

A) De l'ADN en ARN pré-messager : la Transcription

→ B) De l'ARN pré-messager à l'ARN messenger :
la Maturation



**ADN codant
des protéines
(gènes)**



**ADN non
codant**

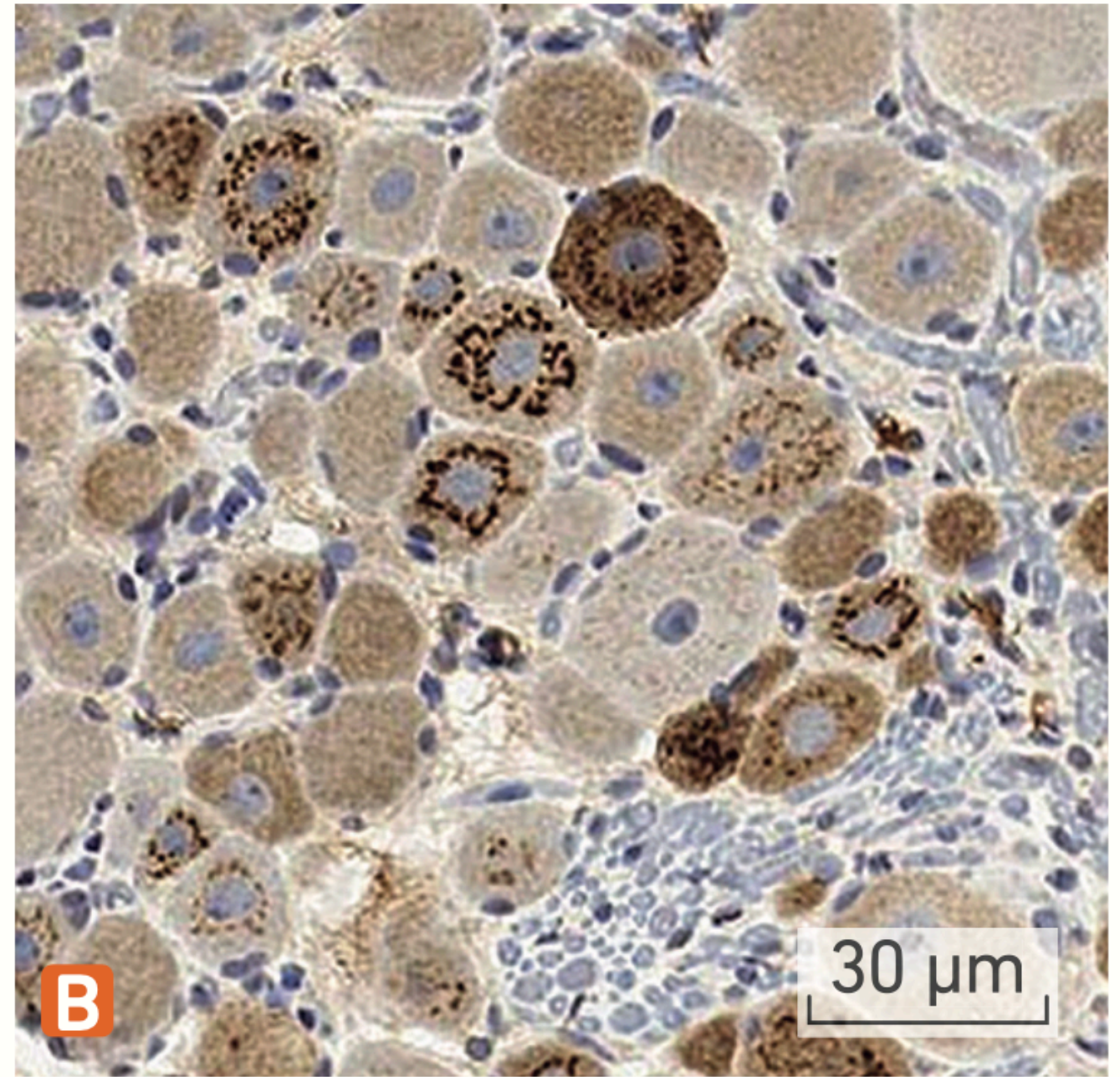
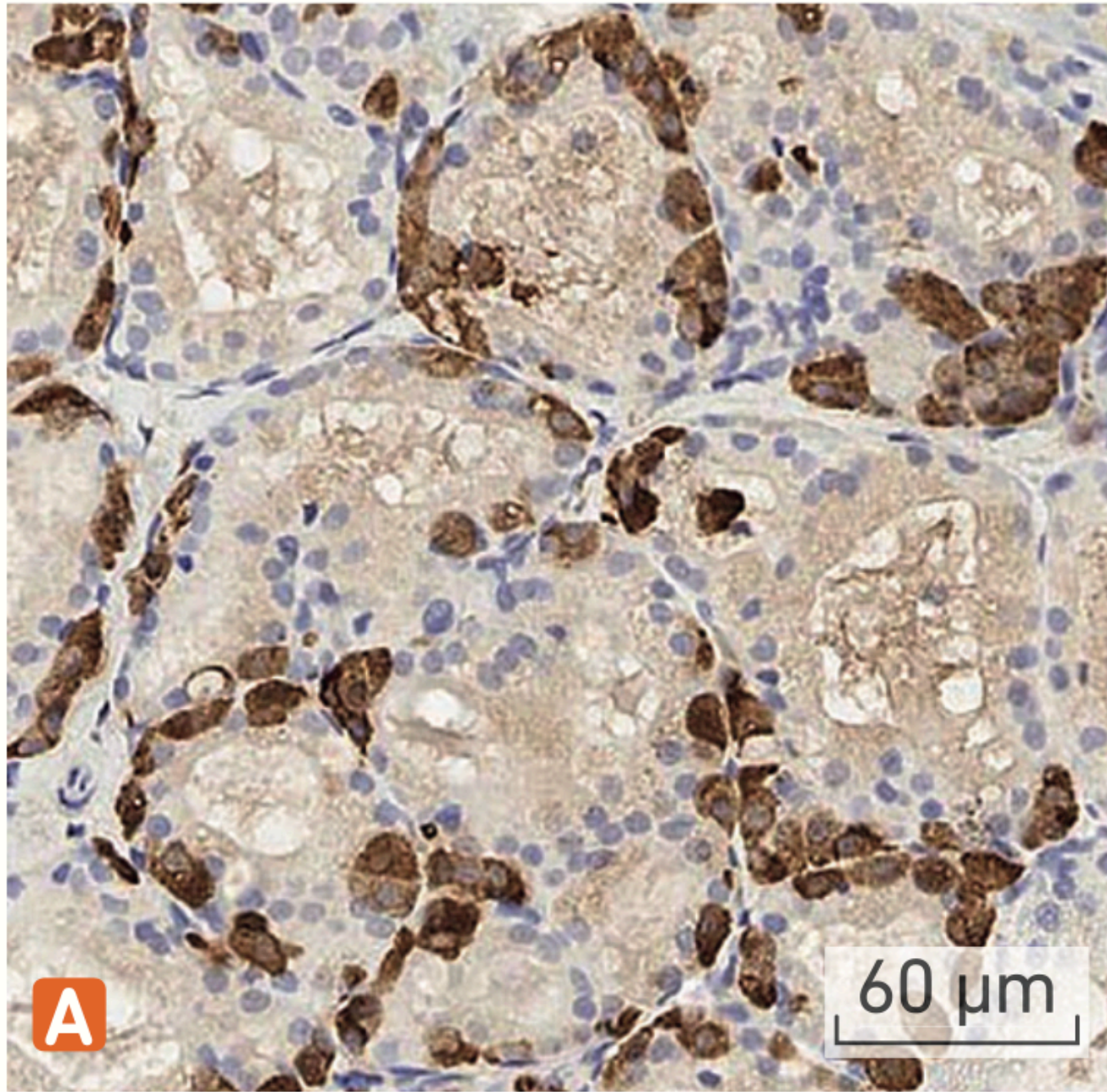
**Portions d'ADN
aux fonctions
connues**



**Portions d'ADN
aux fonctions
inconnues**

Saisir quelque chose

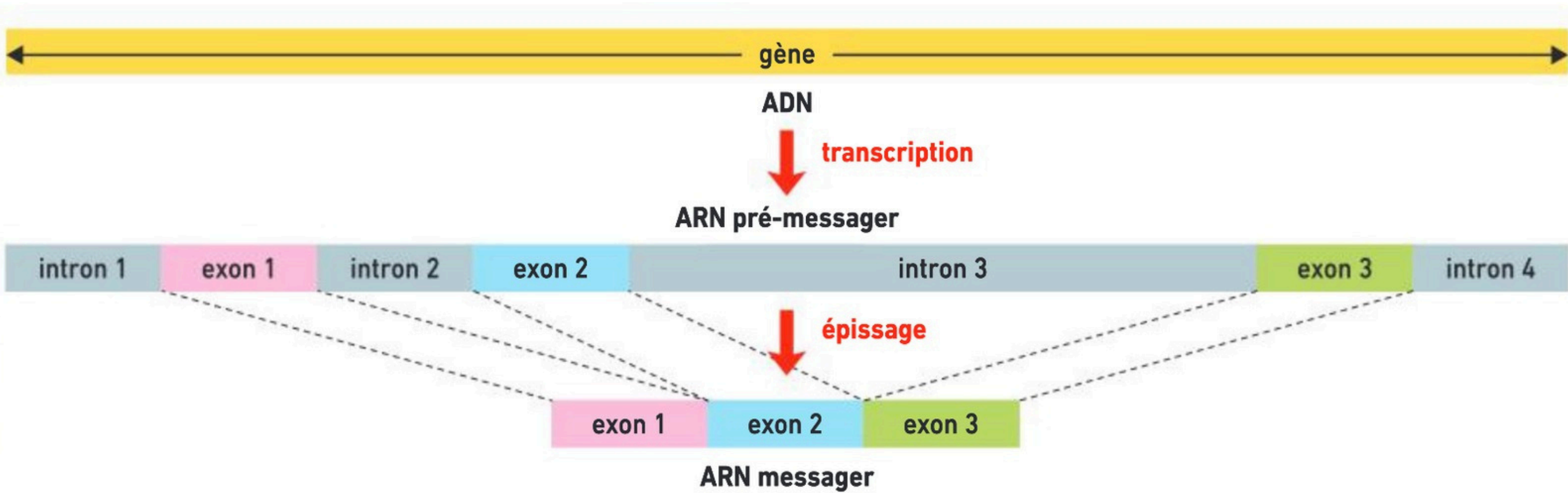
ADN codant et non codant



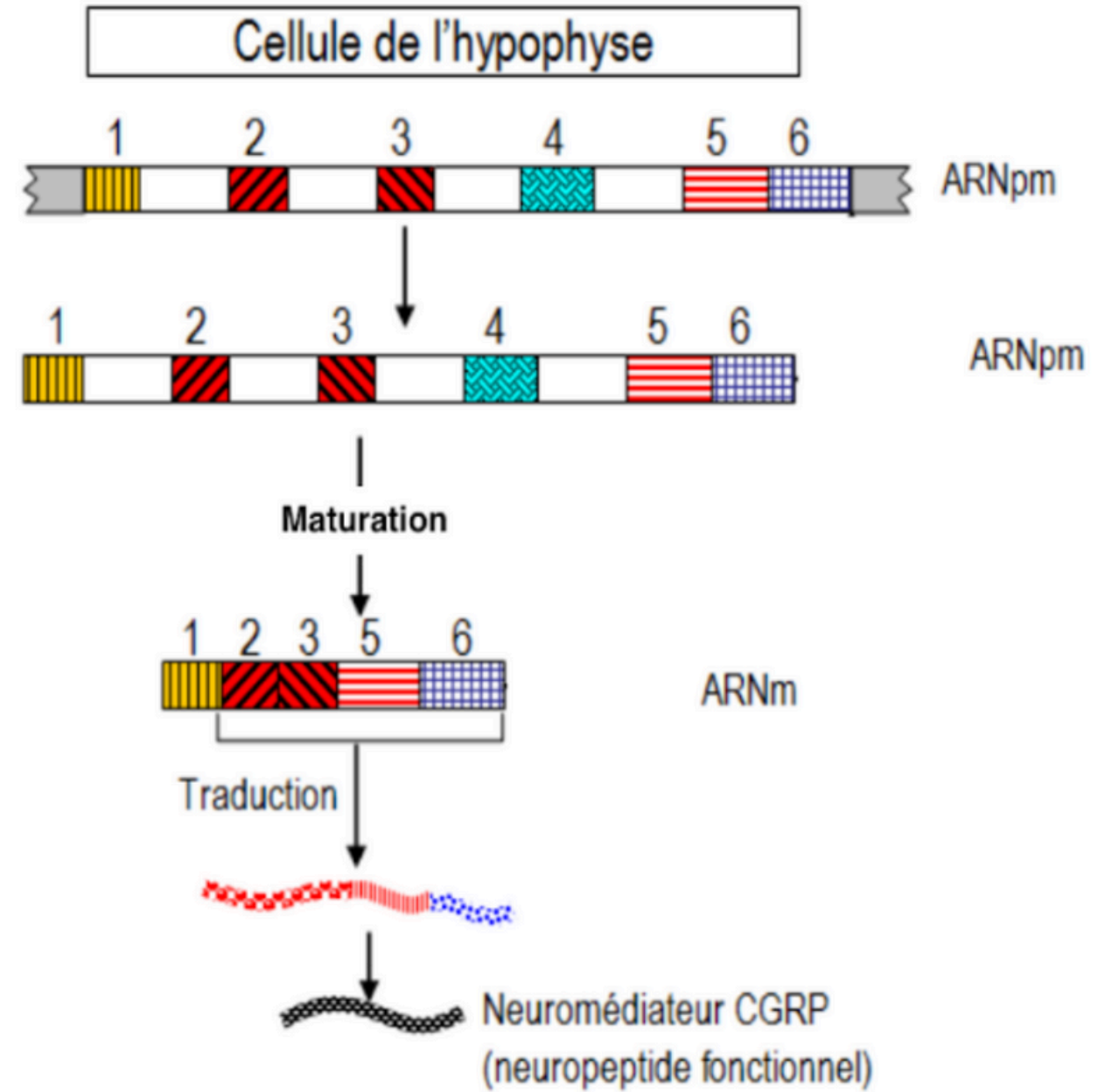
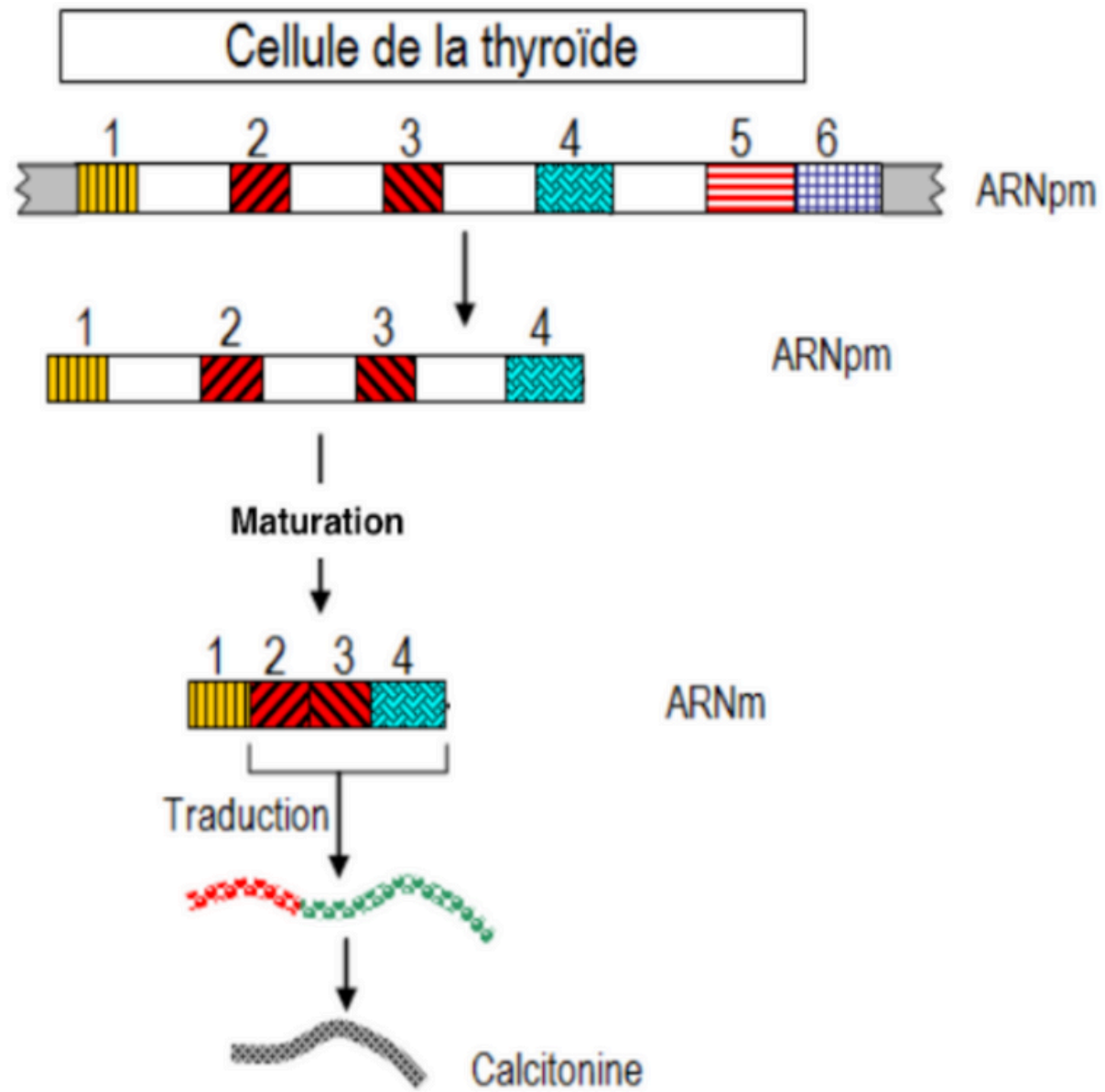
■ Mise en évidence des protéines du gène CGRP dans les cellules de la thyroïde (A) et des neurones du ganglion rachidien* (B).

Gène CGRP (ADN)	5618 nucléotides
ARN pré-messenger transcrit	5618 nucléotides
ARNm utilisé pour la traduction en calcitonine	799 nucléotides

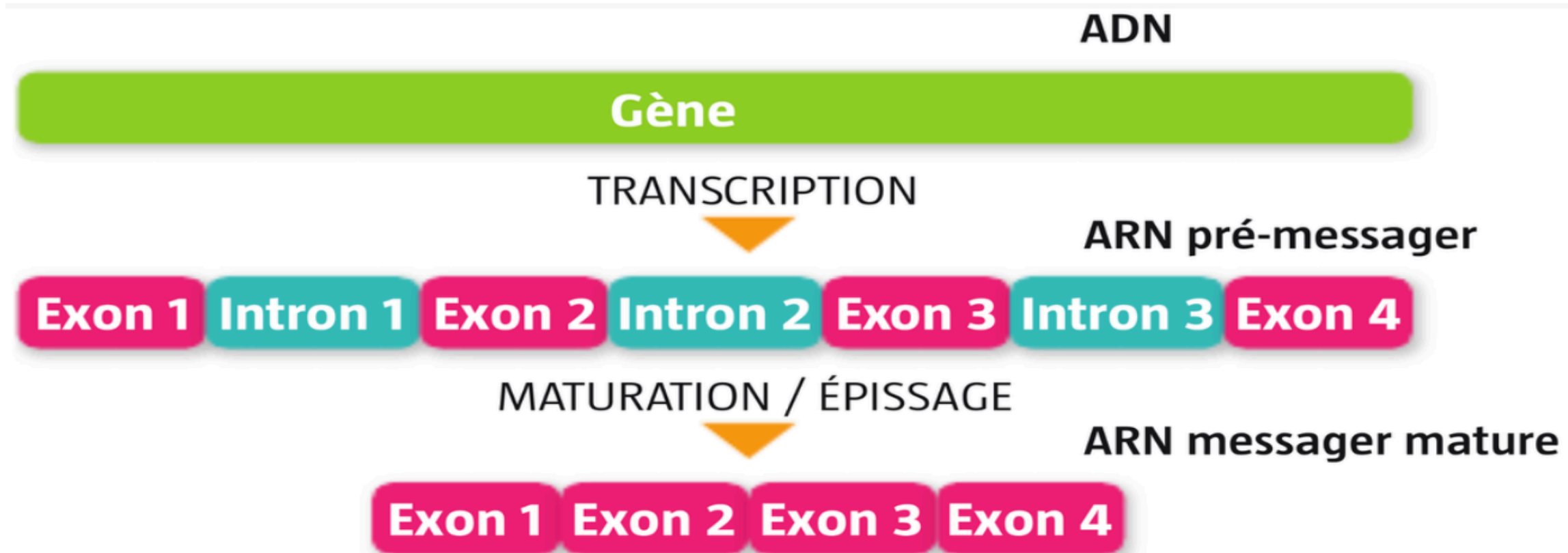
La maturation de l'ARN pré-messenger en ARN messenger



Épissage



Épissage alternatif



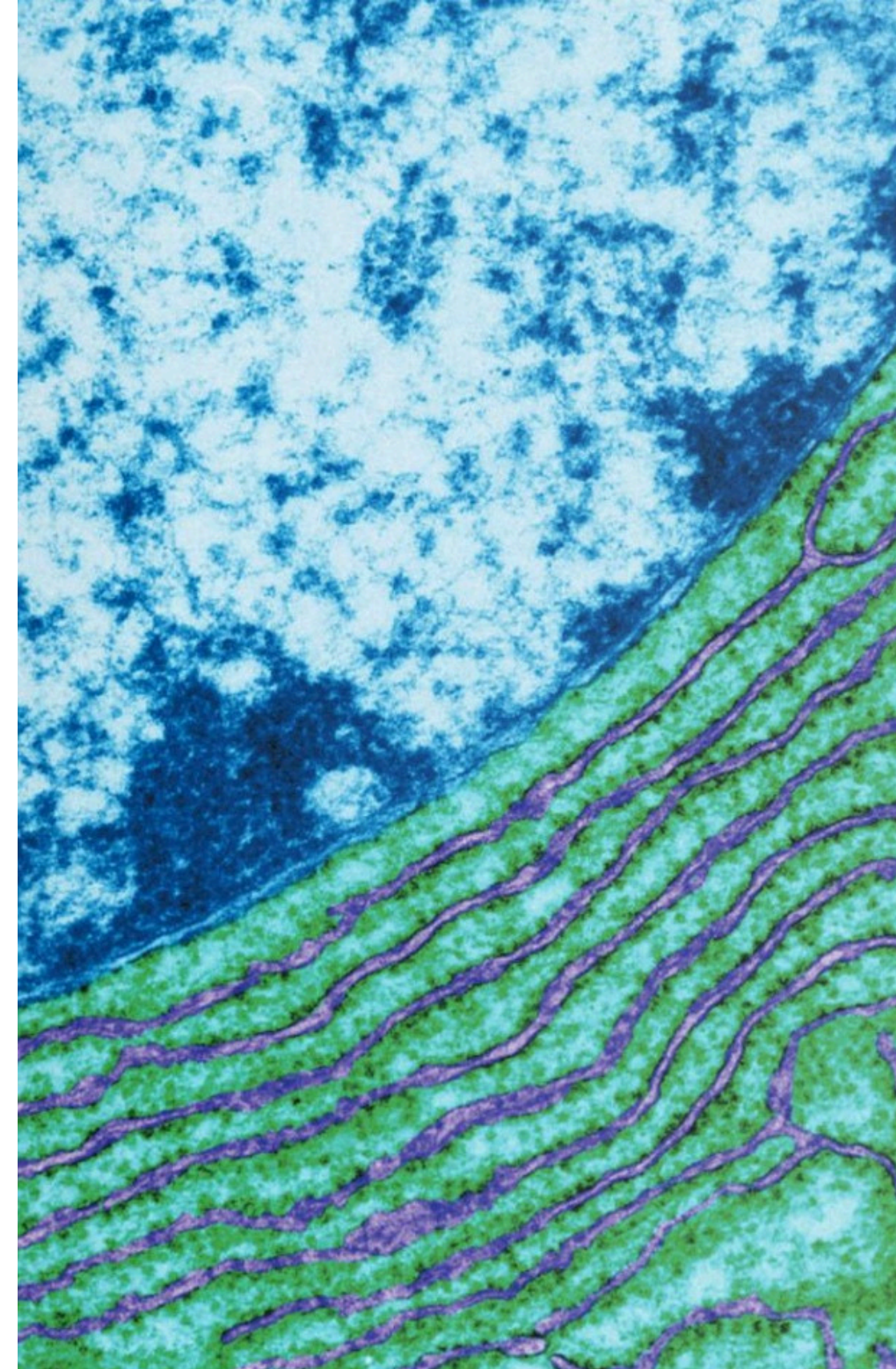
Document 3 : Le mécanisme de la maturation.

II. Les mécanismes de l'expression du patrimoine génétique

A) De l'ADN en ARN pré-messager : la Transcription

B) De l'ARN pré-messager à l'ARN messenger : la Maturation

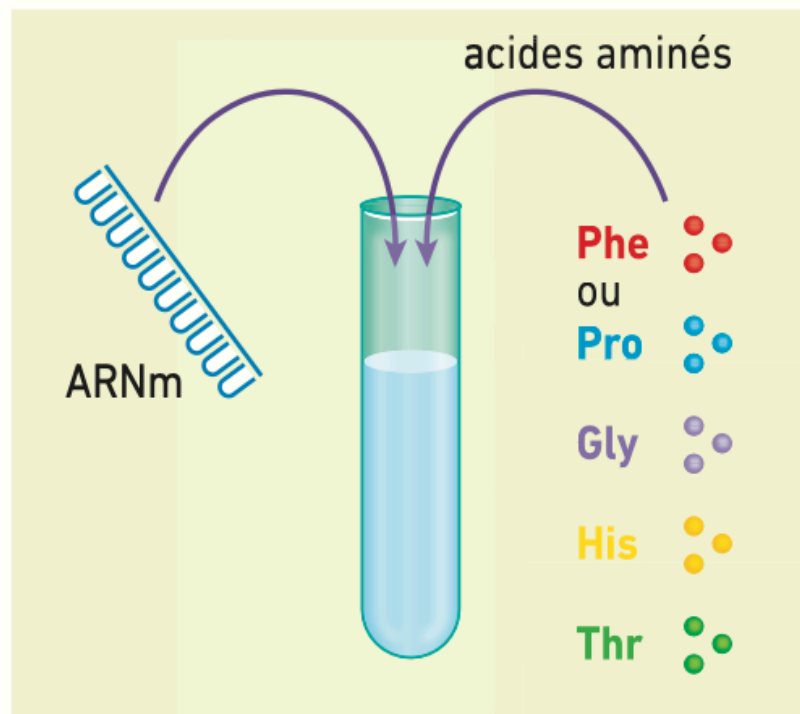
→ C) De l'ARN messenger à la protéine : la Traduction



- ① Dans les années 1960, on établit que c'est l'association de trois nucléotides qui permet de coder un acide aminé.
- ② Nirenberg parvient ensuite à préparer des ARNm artificiels formés d'un seul type de nucléotide. En assemblant

tous les éléments indispensables à la synthèse de protéines, il obtient *in vitro* un polypeptide* formé d'un seul type d'acide aminé.

- ③ Peu après, Gobind Khorana réussit à produire des ARNm qui présentaient une répétition de 2 à 4 nucléotides.



A Schéma du protocole de Nirenberg.

ARNm ajouté	Polypeptide produit	
Poly-U (UUUU...)		Polymère de phénylalanine
Poly-C (CCCC...)		Polymère de proline
Poly-G (GGGG...)		Polymère de glycine
Poly-AC (ACACACAC...)		Polymère de thréonine et d'histidine

B Les résultats expérimentaux de Nirenberg et de Gobind Khorana.

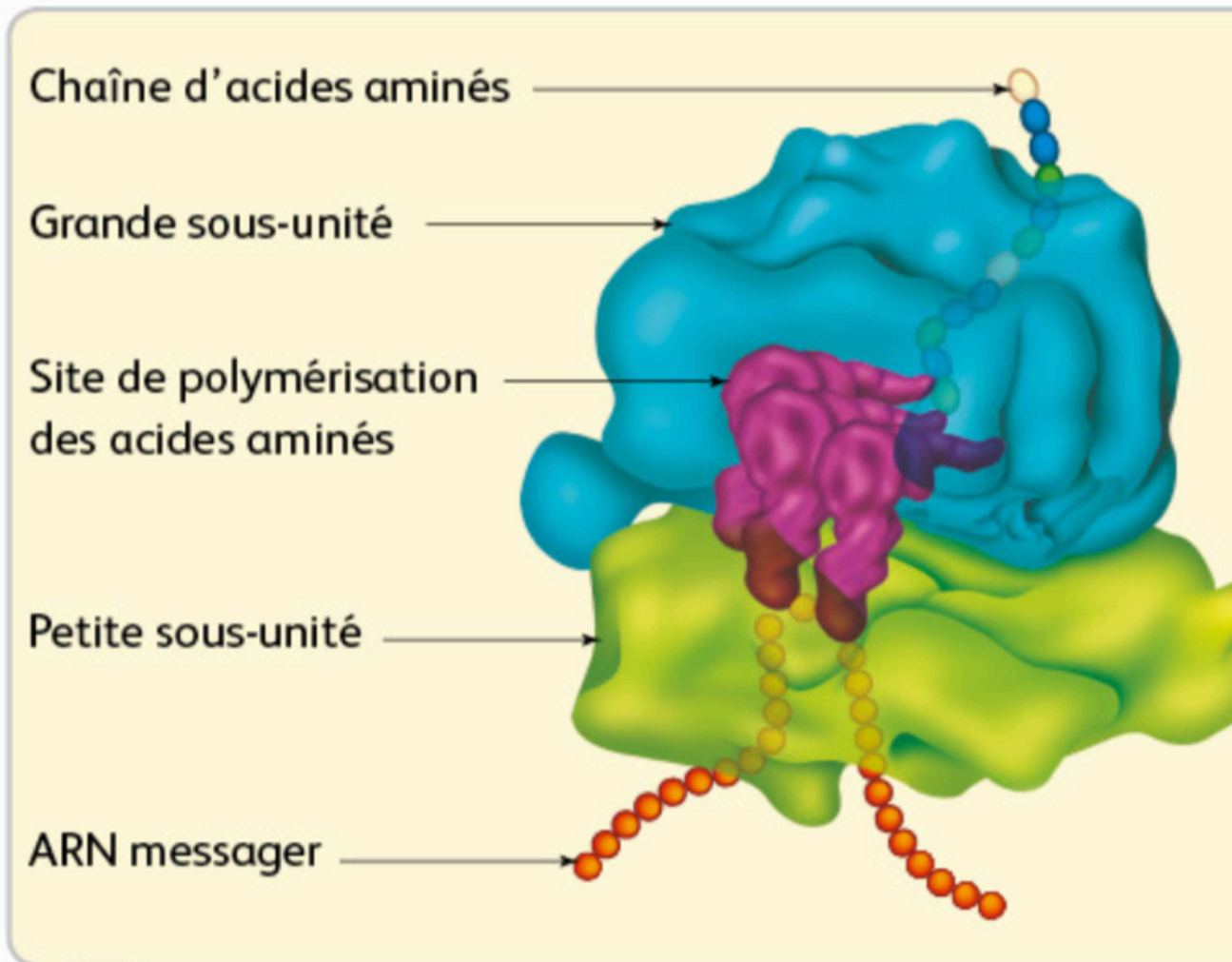
L'expérience de Nirenberg (1960)

		2 ^e nucléotide				
		U	C	A	G	
1 ^{er} nucléotide	U	UUU	UCU	UAU	UGU	U C A G
		UUC	UCC	UAC	UGC	
		UUA	UCA	UAA	UGA	
		UUG	UCG	UAG	UGG	
	C	CUU	CCU	CAU	CGU	U C A G
		CUC	CCC	CAC	CGC	
		CUA	CCA	CAA	CGA	
		CUG	CCG	CAG	CGG	
	A	AUU	ACU	AAU	AGU	U C A G
		AUC	ACC	AAC	AGC	
		AUA	ACA	AAA	AGA	
		AUG	ACG	AAG	AGG	
	G	GUU	GCU	GAU	GGU	U C A G
		GUC	GCC	GAC	GGC	
		GUA	GCA	GAA	GGA	
		GUG	GCG	GAG	GGG	
					3 ^e nucléotide	

Le code génétique



d Électronographie de ribosomes (en bleu) en cours de traduction d'un ARNm (en rouge). Les protéines synthétisées sont en vert. (MEB, image colorisée).

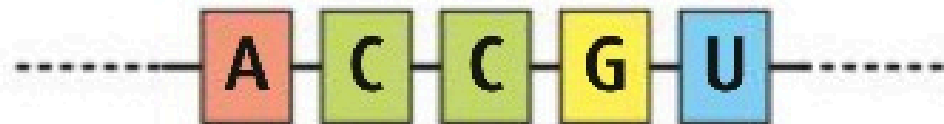


e Représentation 3D d'un ribosome constitué de deux sous-unités assemblées. Le glissement d'un ribosome sur l'ARN messenger permet l'assemblage des acides aminés par liaison peptidique dans l'ordre déterminé par l'ARN.

Gène
(ADN)



ARNm

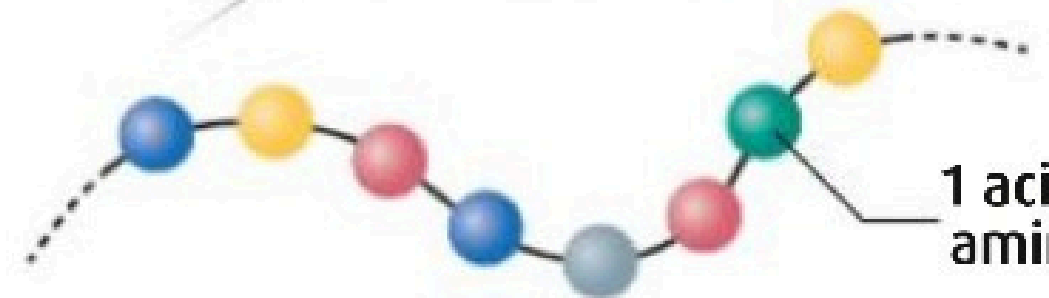
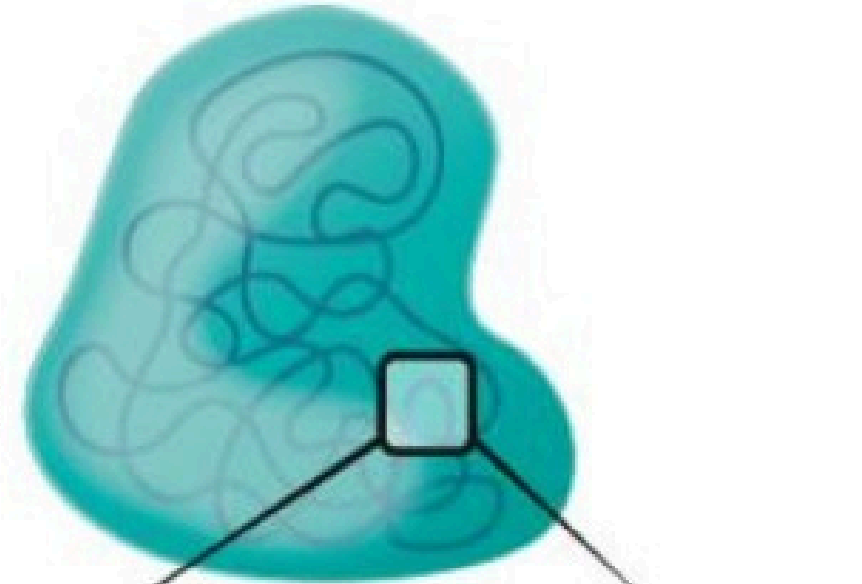


- Succession ordonnée de nucléotides = SÉQUENCE
- 4 nucléotides possibles

Saisir quelque chose

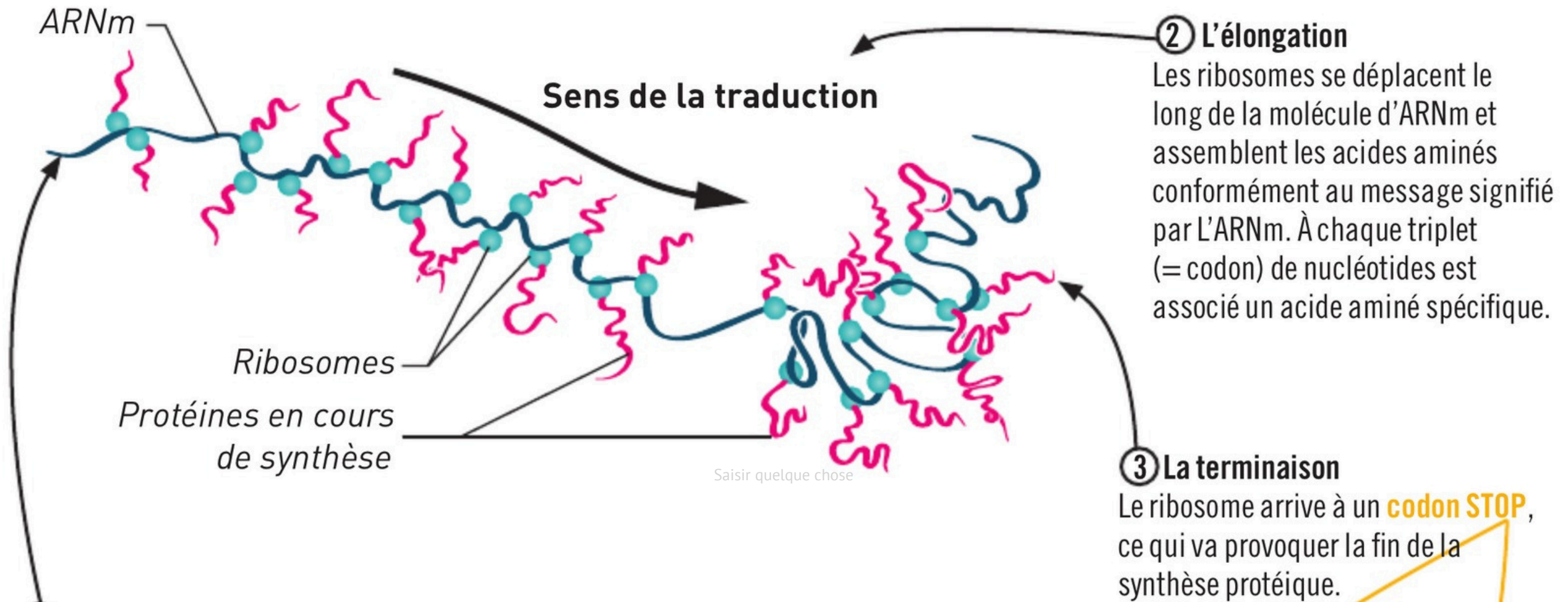
CODE GÉNÉTIQUE

▶ protéine



- Succession ordonnée d'acides aminés = SÉQUENCE
- 20 acides aminés possibles

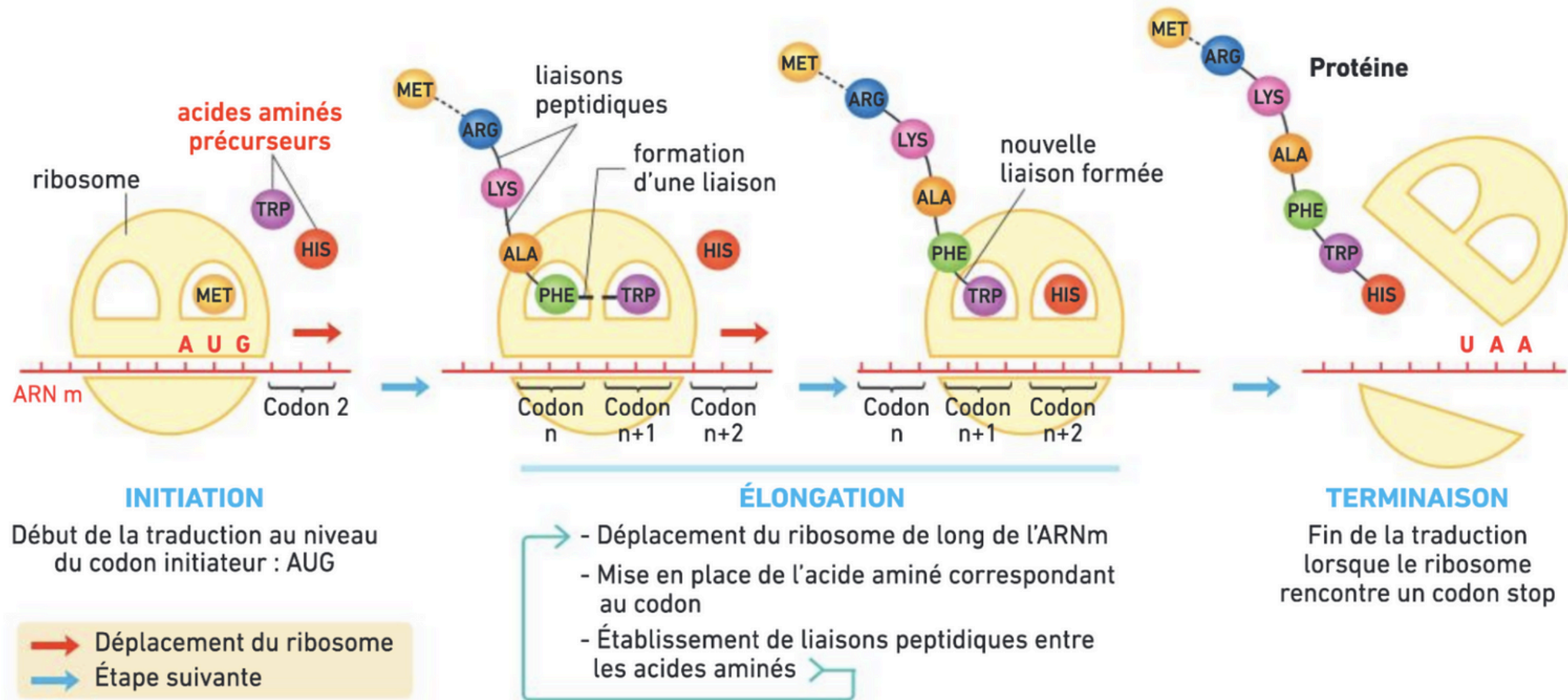
La notion de code génétique



U		C		A		G	
UUU		UCU		UAU		UGU	
UUC	Phe F Phénylalanine	UCC	Ser S Sérine	UAC	Tyr Y Tyrosine	UGC	Cys C Cystéine
UUA	Leu L Leucine	UCA		UAA Codon stop	UGA Codon stop		
UGG		UCC		UAG Codon stop	UGG	Trp W Tryptophane	

Codon Abréviations en 3 lettres et 1 lettre de l'acide aminé

Les étapes de la traduction



Document 4 : Le mécanisme de la traduction.



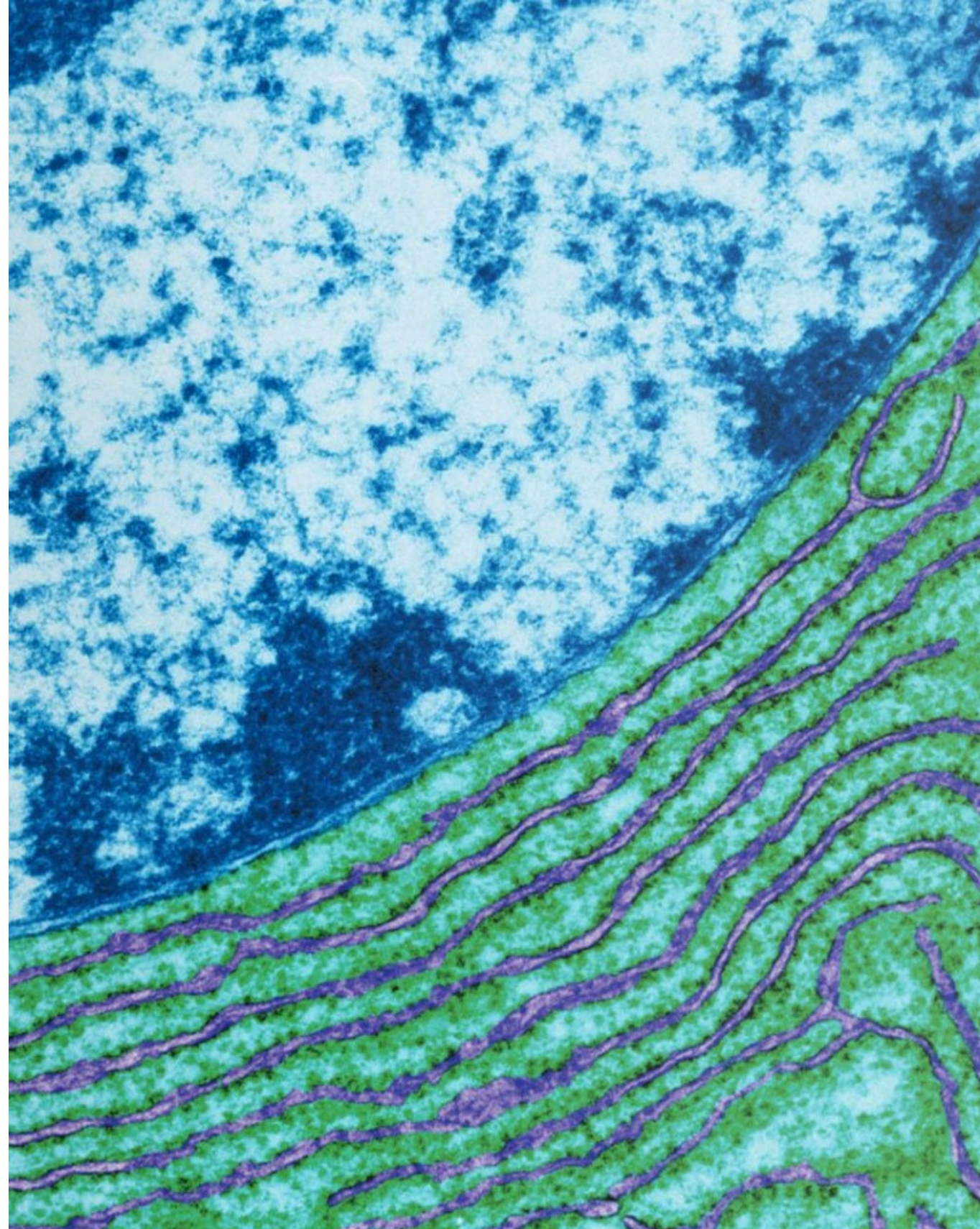
Bilan : La production de l'ARN messenger débute par une opération de transcription au cours de laquelle est synthétisé un ARN pré-messenger par complémentarité avec le brin transcrit de l'ADN, grâce à l'action de l'ARN-polymérase. L'ARN pré-messenger transcrit à partir de l'ADN subit, avant d'être exporté, un épissage au cours duquel des séquences appelées introns sont supprimées et les séquences codantes appelées exons sont raccordées entre elles. L'épissage alternatif permet à un même gène de coder pour plusieurs protéines différentes selon les exons retenus pour la constitution de l'ARN messenger.



Bilan : Le code génétique permet la traduction de l'ARN messenger en protéines : une suite de trois nucléotides, ou codon, code pour un acide aminé, toujours le même. Ce tableau de correspondance entre les 64 codons différents et les acides aminés qui leur sont associés est universel à l'ensemble du monde vivant. Les ribosomes réalisent la synthèse des protéines à partir de l'information de l'ARN messenger. La traduction commence toujours par le codon d'initiation. Elle se poursuit de codon en codon, ajoutant les acides aminés correspondants jusqu'à la rencontre d'un codon-stop.

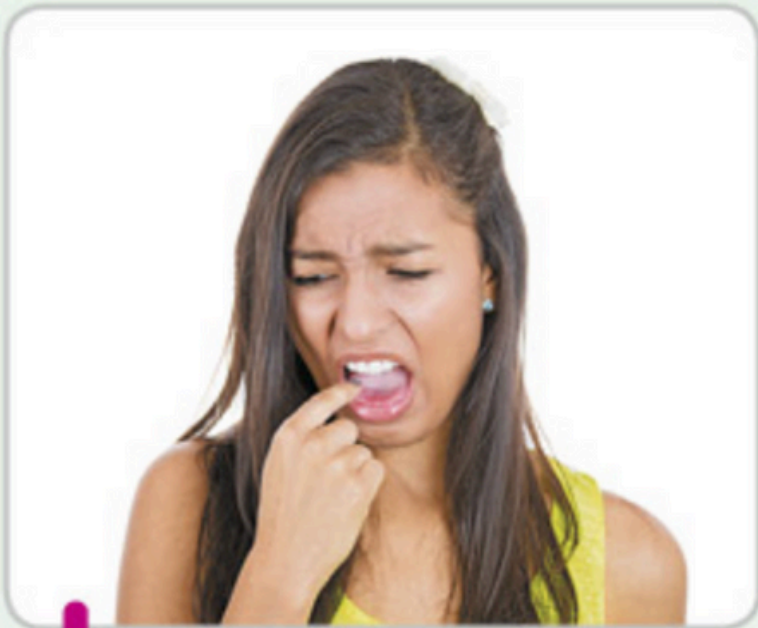
III. La régulation de l'expression des gènes

→ A) Les différentes échelles d'observation des phénotypes

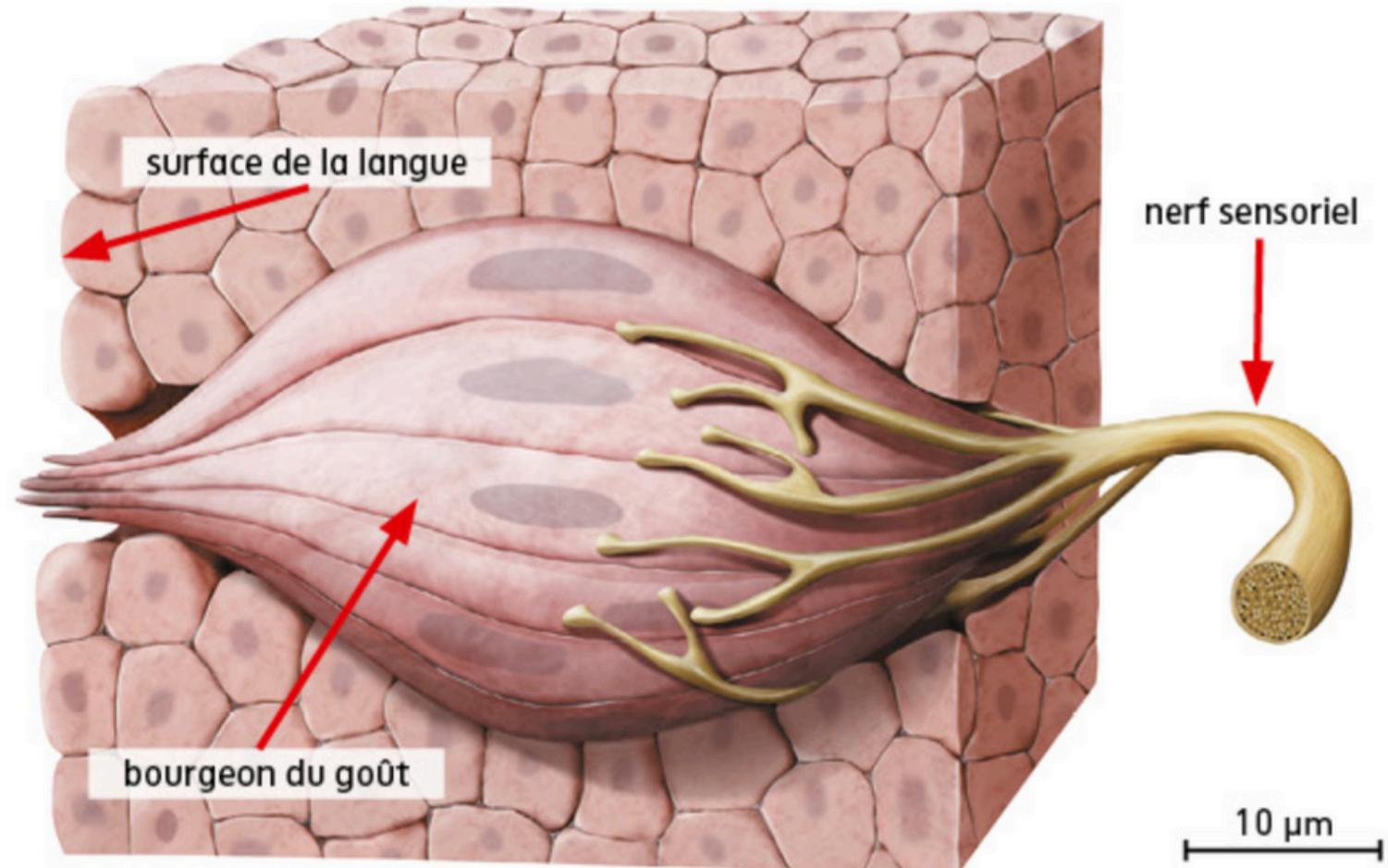
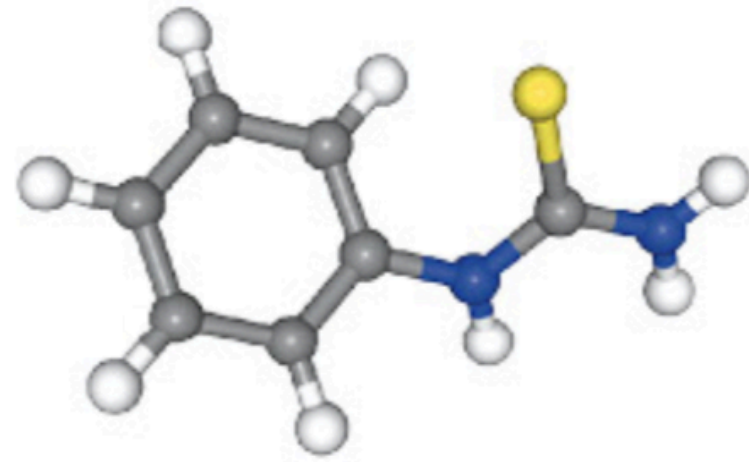




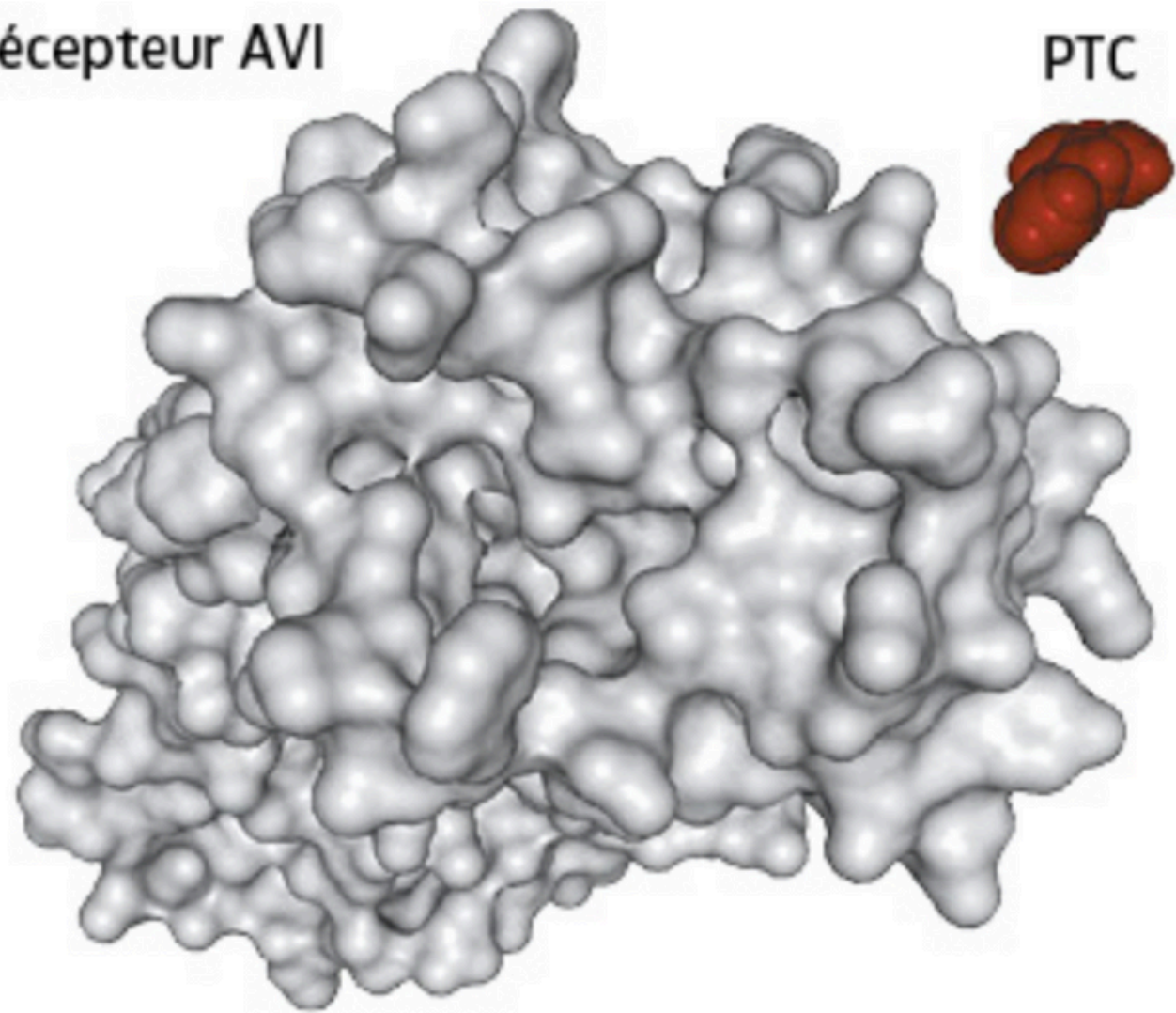
Personne non sensible
au PTC.



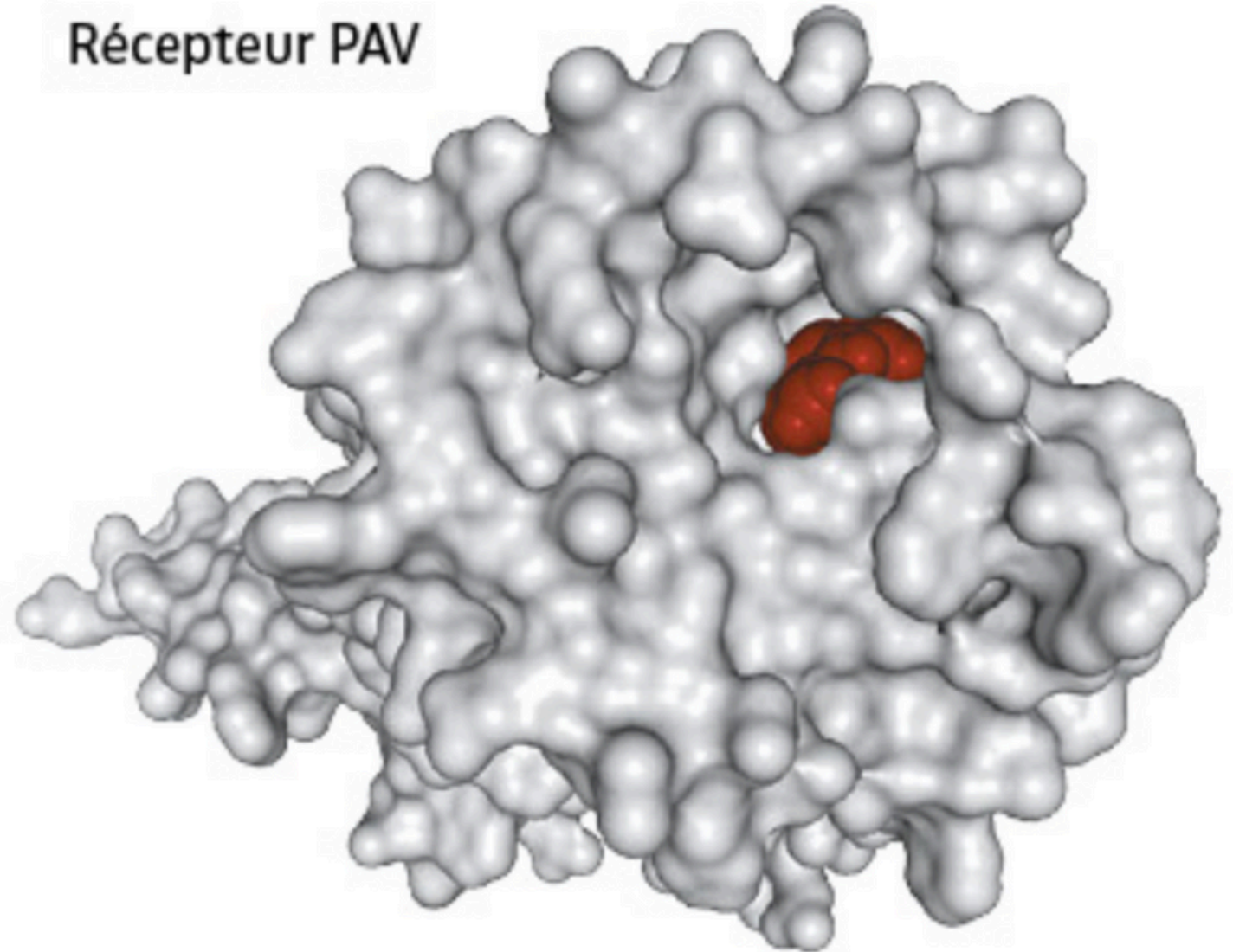
Personne sensible au PTC.



Récepteur AVI



Récepteur PAV



Séquences chargées

similaires  différentes



Récepteur PTC, allèle PAV

Récepteur PTC, allèle AVI

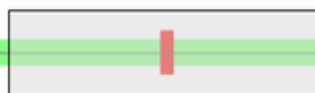
Récepteur PTC, allèle PAV ARN m

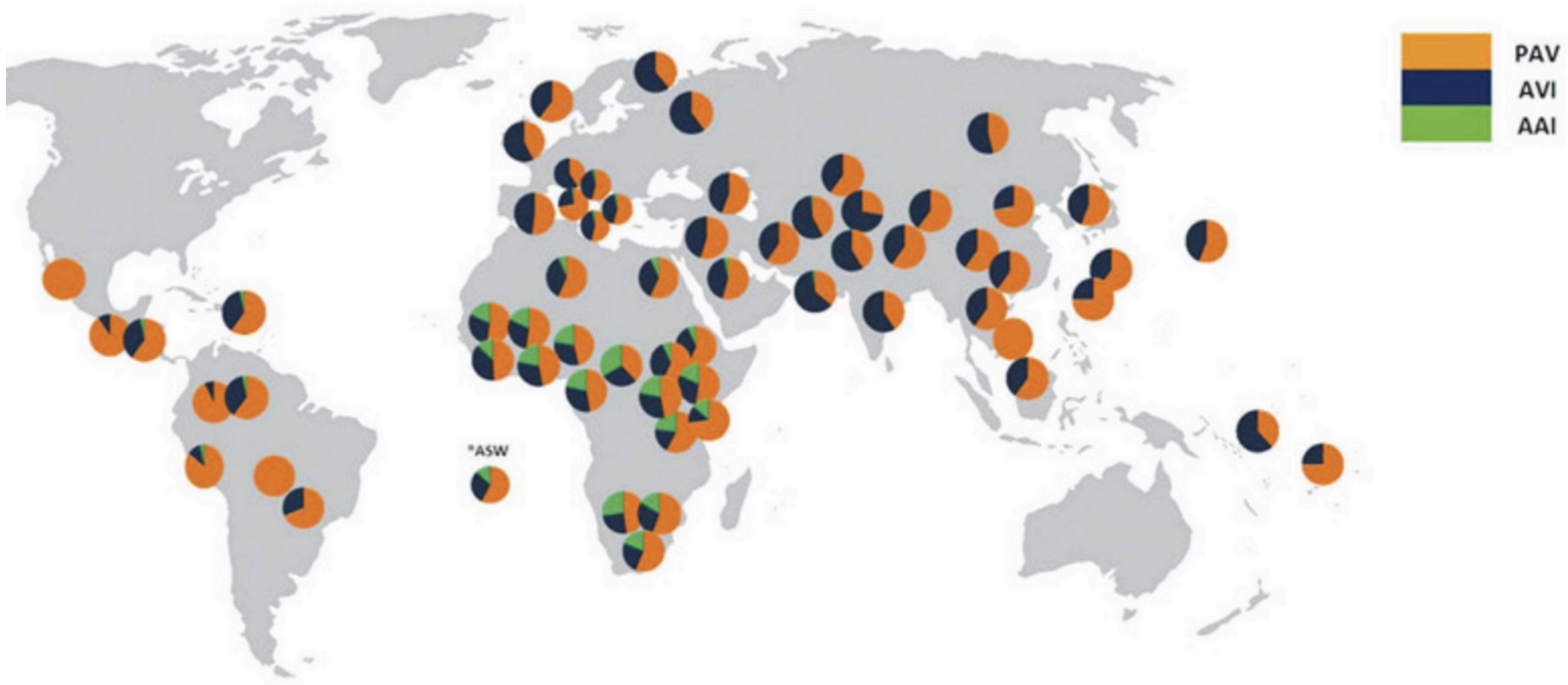
Récepteur PTC, allèle AVI ARN m

Récepteur PTC, allèle PAV Protéine

Récepteur PTC, allèle AVI Protéine

	* * * * * * * * * * * * . * *																																													
	110				115				120				125				130				135				140				145				150													
	T	T	T	C	T	T	G	G	T	G	A	A	T	T	T	T	T	G	G	G	A	T	G	T	A	G	T	G	A	A	G	A	G	G	C	A	G	C	C	A	C	T	G	A	G	C
▲	T	T	T	C	T	T	G	G	T	G	A	A	T	T	T	T	T	G	G	G	A	T	G	T	A	G	T	G	A	A	G	A	G	G	C	A	G	C	C	A	C	T	G	A	G	C
▲	U	U	U	C	U	U	G	G	U	G	A	A	U	U	U	U	U	G	G	G	A	U	G	U	A	G	U	G	A	A	G	A	G	G	C	A	G	C	C	A	C	U	G	A	G	C
▲	U	U	U	C	U	U	G	G	U	G	A	A	U	U	U	U	U	G	G	G	A	U	G	U	A	G	U	G	A	A	G	A	G	G	C	A	G	C	C	A	C	U	G	A	G	C
▲	a1	Phe	Leu	Val	Asn	Phe	Trp	Asp	Val	Val	Lys	Arg	Gln	Pro	Leu	Ser																														
▲	a1	Phe	Leu	Val	Asn	Phe	Trp	Asp	Val	Val	Lys	Arg	Gln	Ala	Leu	Ser																														

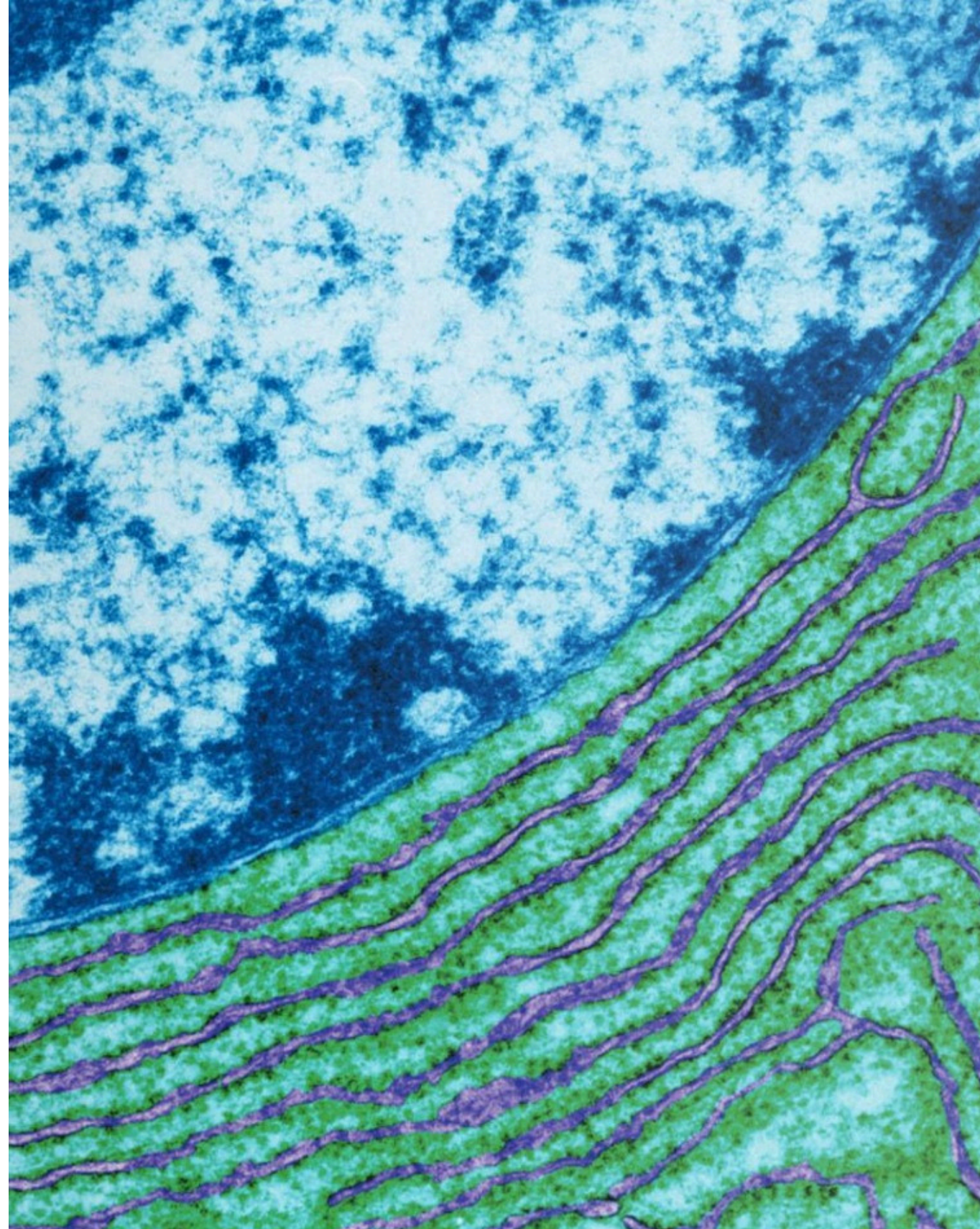




III. La régulation de l'expression des gènes

A) Les différentes échelles d'observation des phénotypes

→ B) L'environnement peut intervenir sur l'expression du patrimoine génétique





▲ Une drosophile femelle **a** et mâle **b**.

Gène concerné	Femelle (présence de la paire XX)	Mâle (présence de la paire XY)
<p>Gène <i>Double sex (Dsx)</i></p> <p>Épissage si femelle</p> <p>Épissage si mâle</p>	<p>ARNm</p> <p>Protéine Dsx type femelle</p>	<p>ARNm</p> <p>Protéine Dsx type mâle</p>

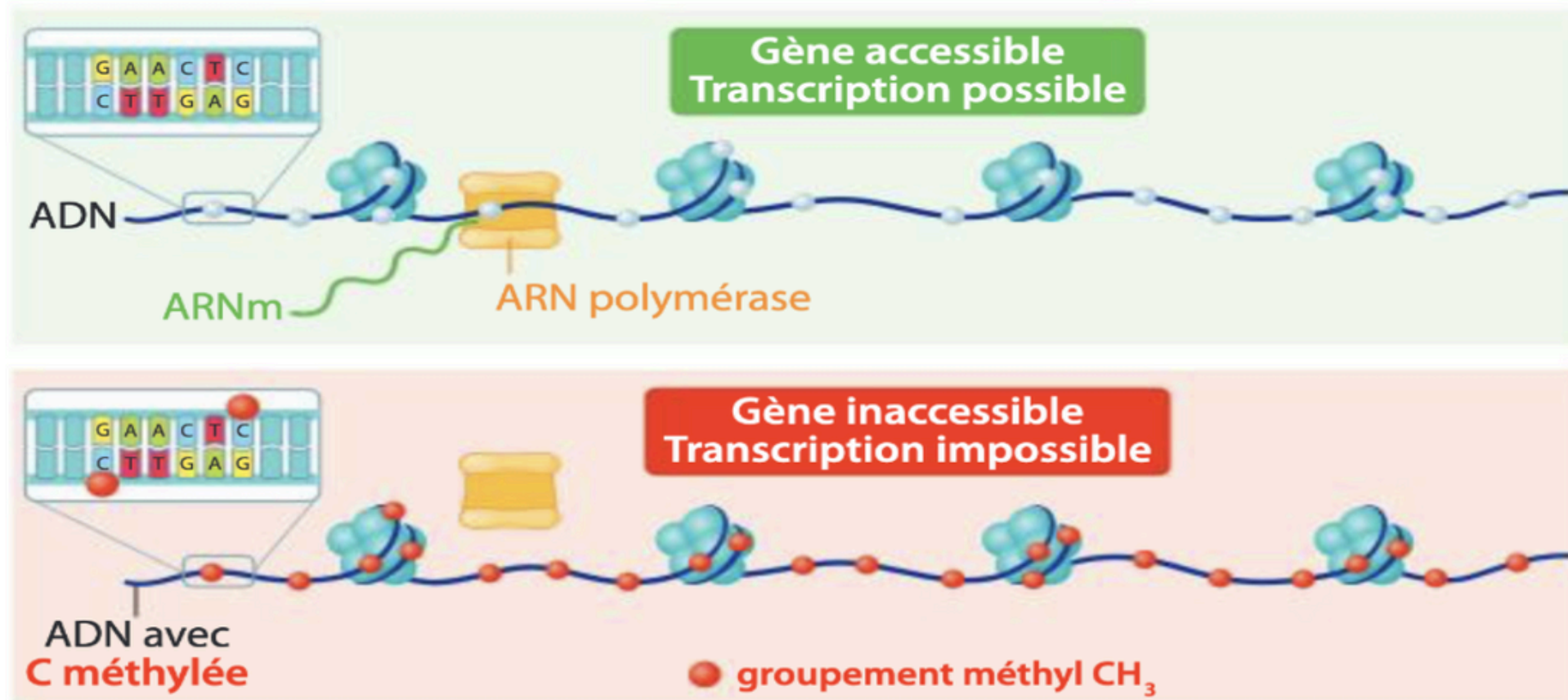


A *Arabidopsis thaliana* : un organisme modèle pour les chercheurs.

■ Expression de 5 gènes en réponse aux conditions environnementales

	Gène At1g14140	Gène At5g17400	Gène At5g14040	Gène At3g08580	Gène At5g19760
Conditions normales	Green	Red	Black	Black	Black
Carence en fer	Light Green	Red	Light Green	Black	Black
Haute teneur en CO ₂	Red	Red	Black	Black	Dark Red
Froid	Red	Red	Green	Black	Red
+ cadmium*	Red	Red	Black	Black	Red
+ auxine*	Red	Red	Black	Black	Red
+ antibiotique	Black	Red	Dark Red	Red	Red





Document 5 : La méthylation de l'ADN modifie la transcription des gènes.



Bilan : L'activité des gènes de la cellule est régulée, c'est-à-dire que l'expression d'un gène peut être activée ou réprimée, sous l'influence de facteurs internes ou externes. Le phénotype résulte de l'ensemble des produits de l'ADN (protéines et ARN) présents dans la cellule.