

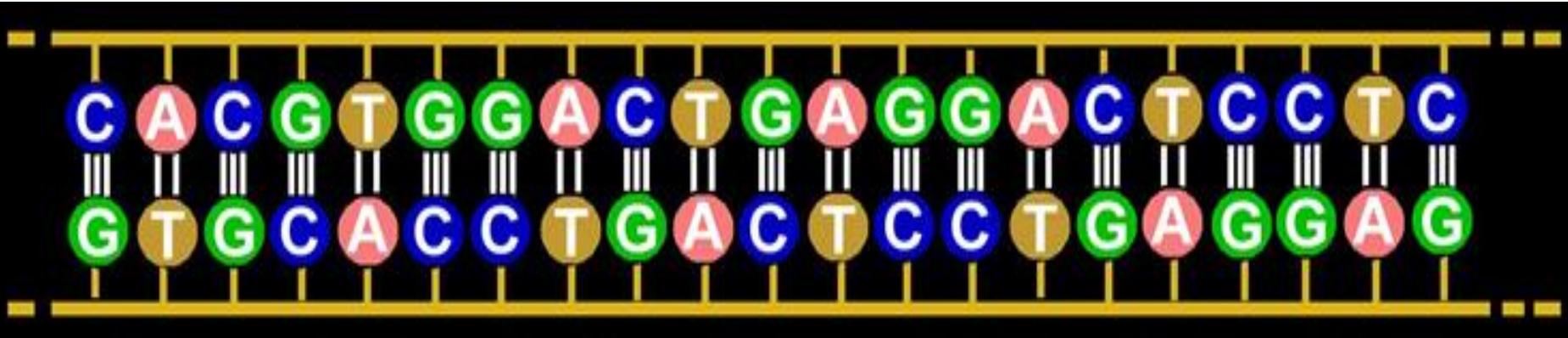
# **Thème 1. Transmission, variation et expression du patrimoine génétique.**

## **Chapitre 4 : Du génome au protéome : l'expression du patrimoine génétique**

**Génome**

**Protéome**

**Un gène = une séquence de nucléotides**



**Un gène détient une information codée par une séquence de nucléotides**

**Cette information permet de produire une ou plusieurs protéines**

## **Chapitre 4 : Du génome au protéome : l'expression du patrimoine génétique**

**Comment les protéines sont-elles produites à partir de l'information portée par des gènes ?**

# Chapitre 4 : L'expression du patrimoine génétique

## I. La relation gènes/protéines

*Cf activité 7*

### A. Localisation des gènes et des protéines dans la cellule.

# Localisation des gènes dans la cellule



**Cellules colorées au réactif de Feulgen**

# Les protéines : un assemblage d'acides aminés

**Liaisons peptidiques**



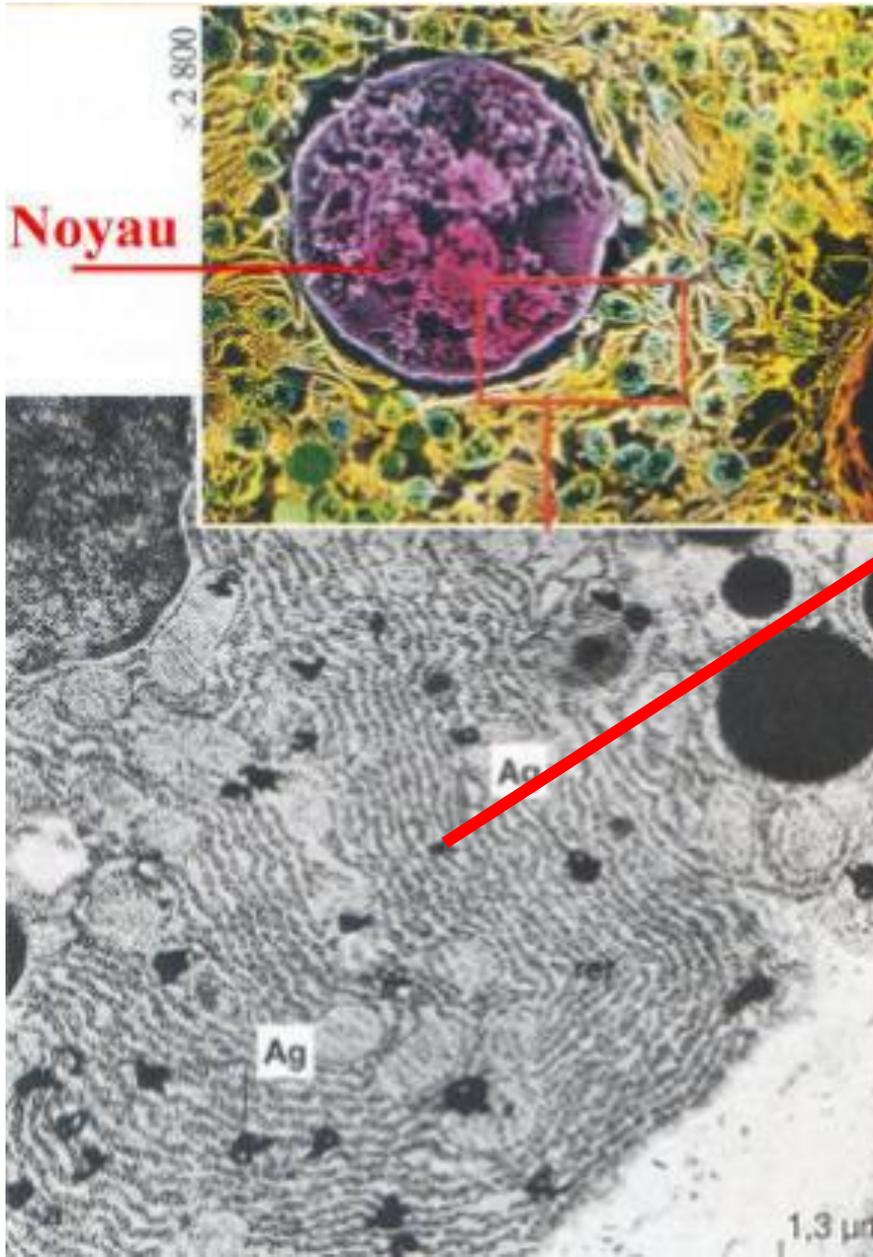
## Liste des 20 acides aminés

acide aspartique	ASP	D
acide glutamique	GLU	E
alanine	ALA	A
arginine	ARG	R
asparagine	ASN	N
cystéine	CYS	C
glutamine	GLN	Q
glycine	GLY	G
histidine	HIS	H
isoleucine	ILE	I

**Une protéine est constituée d'une succession d'Acides Aminés**

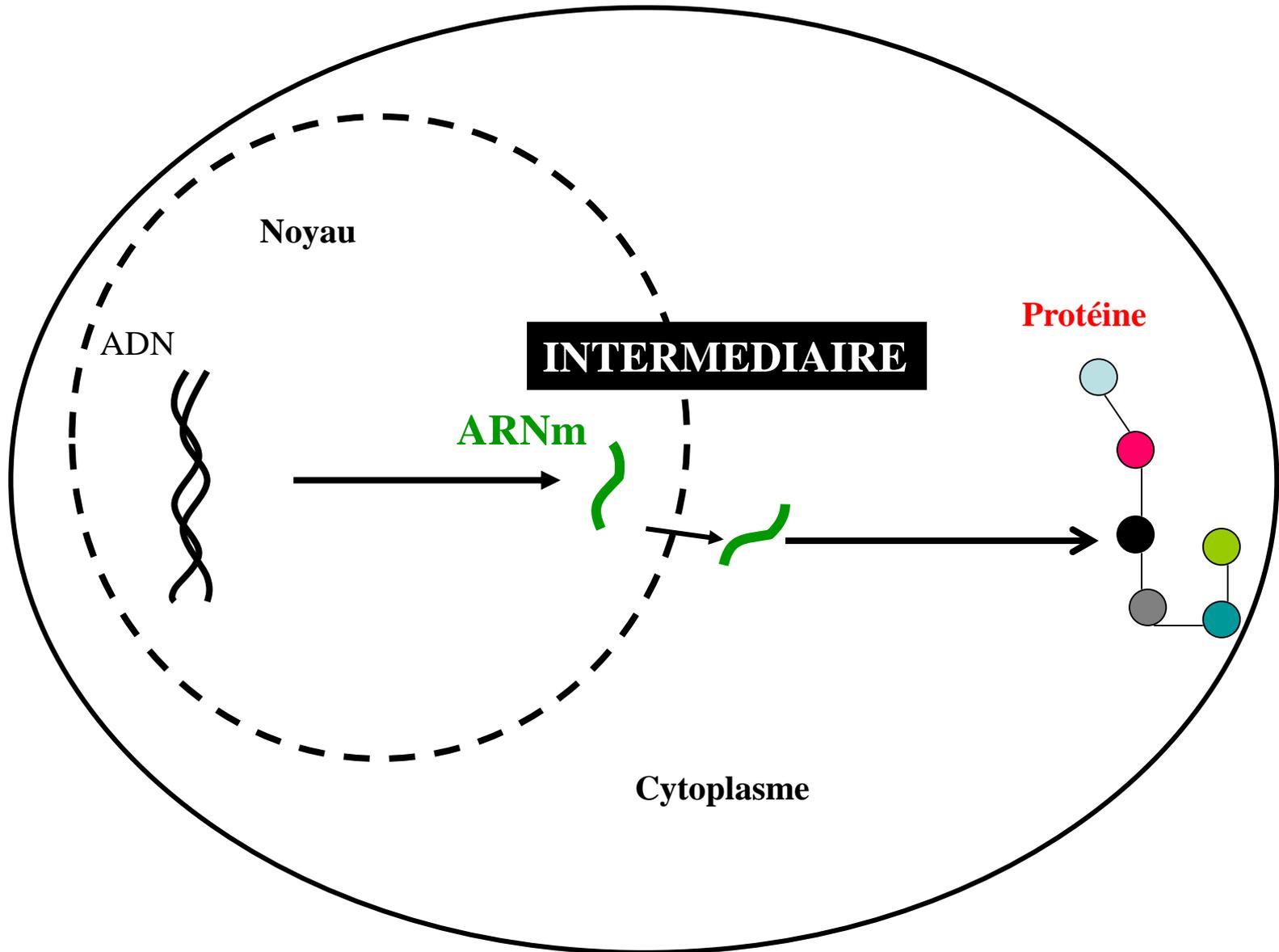
proline	PRO	P
sérine	SER	S
thréonine	THR	T
tryptophane	TRY	W
tyrosine	TYR	Y
valine	VAL	V

# Localisation de la synthèse des protéines



**Protéine  
produite dans le  
cytoplasme**

# Un intermédiaire : l'ARNm



# Chapitre 4 : L'expression du patrimoine génétique

## I. La relation gènes/protéines

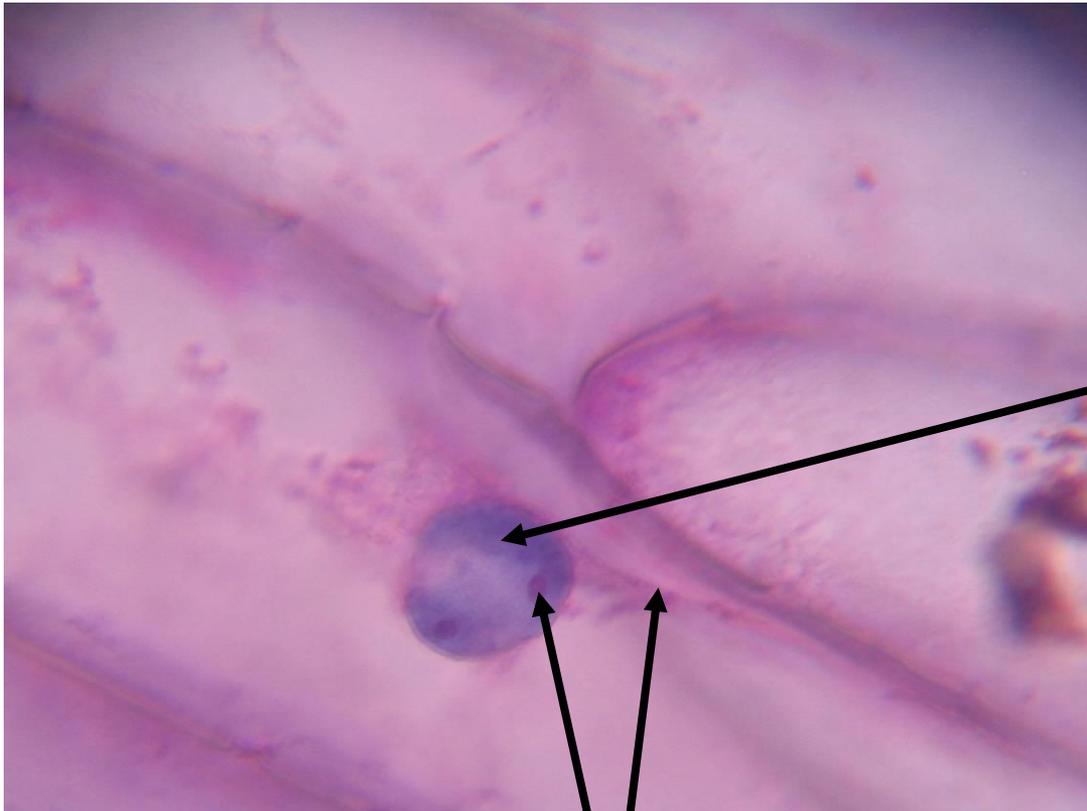
A. Localisation des gènes et des protéines dans la cellule.

B) L'ARNm, un intermédiaire entre le noyau et le cytoplasme

# Les caractéristiques qui font de l'ARNm un messenger intermédiaire

- Il est **mobile** : capable de sortir du noyau et de se déplacer jusque dans le cytoplasme

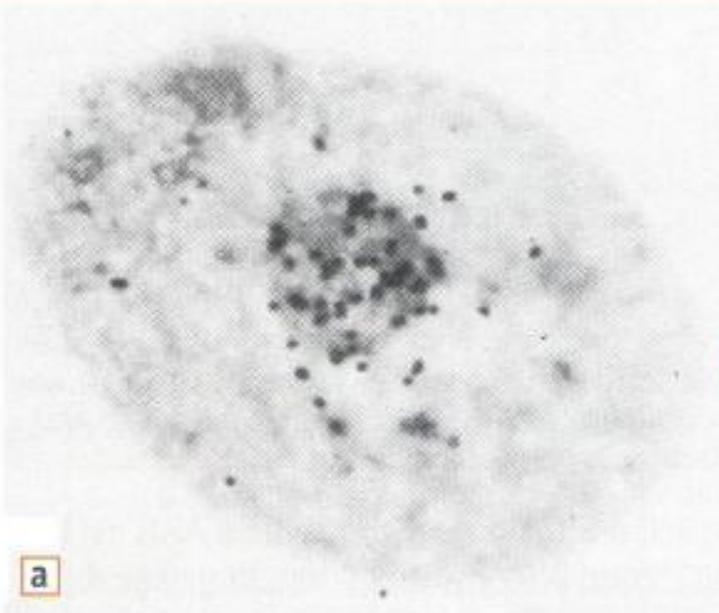
# Localisation des acides nucléiques dans la cellule



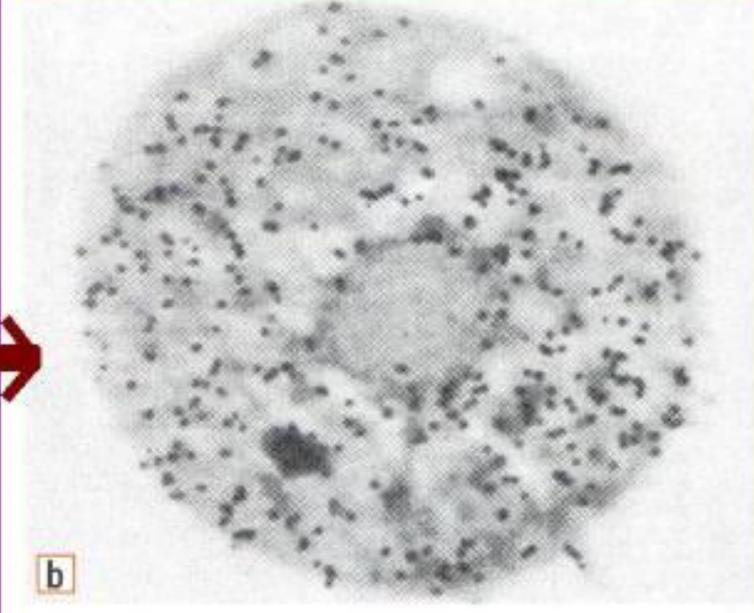
**ADN**

**ARN**

# Une expérience d'autoradiographie

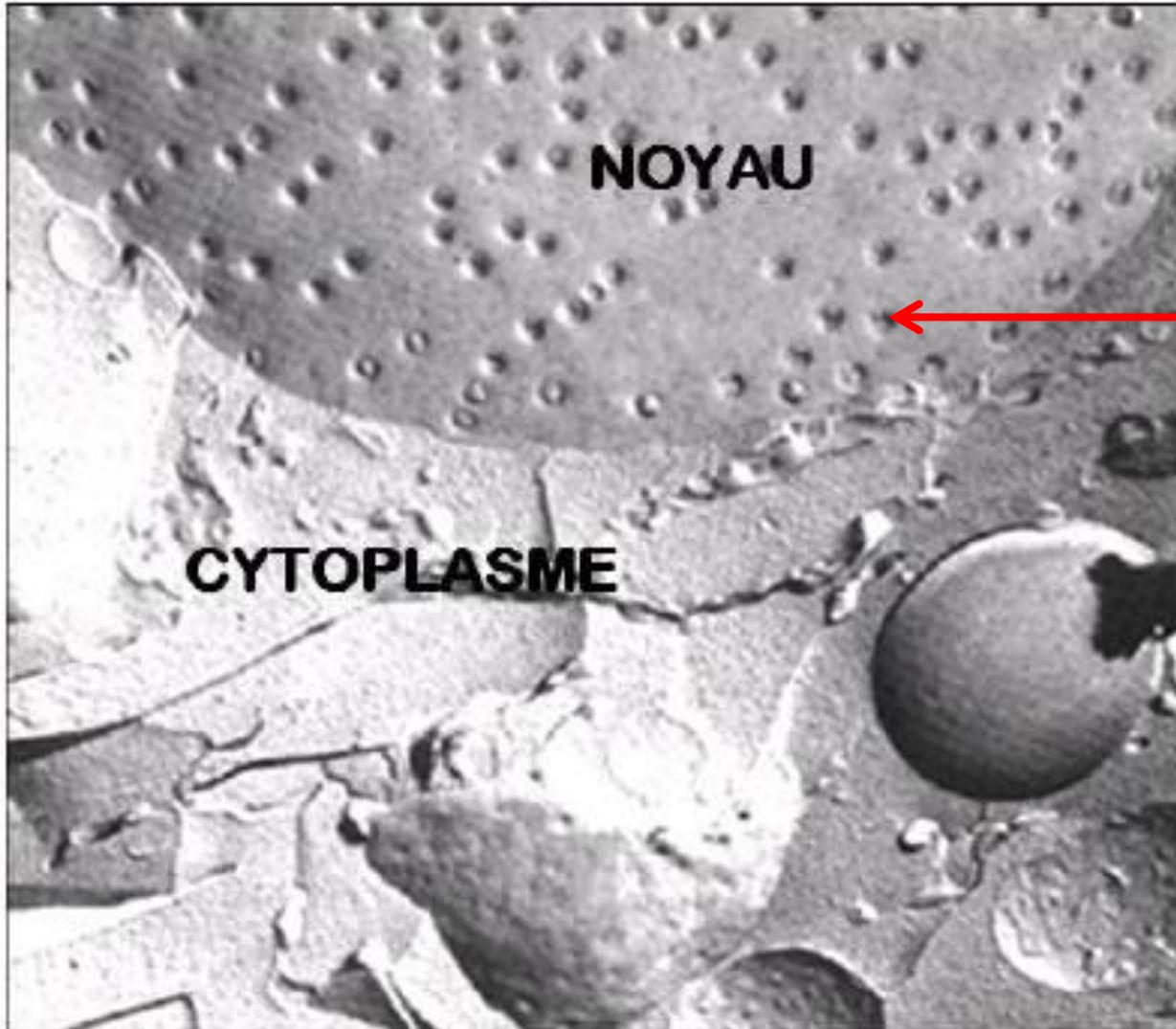


**a**  
Cellule cultivée pendant 15 min sur un milieu contenant le précurseur radioactif de l'ARN.



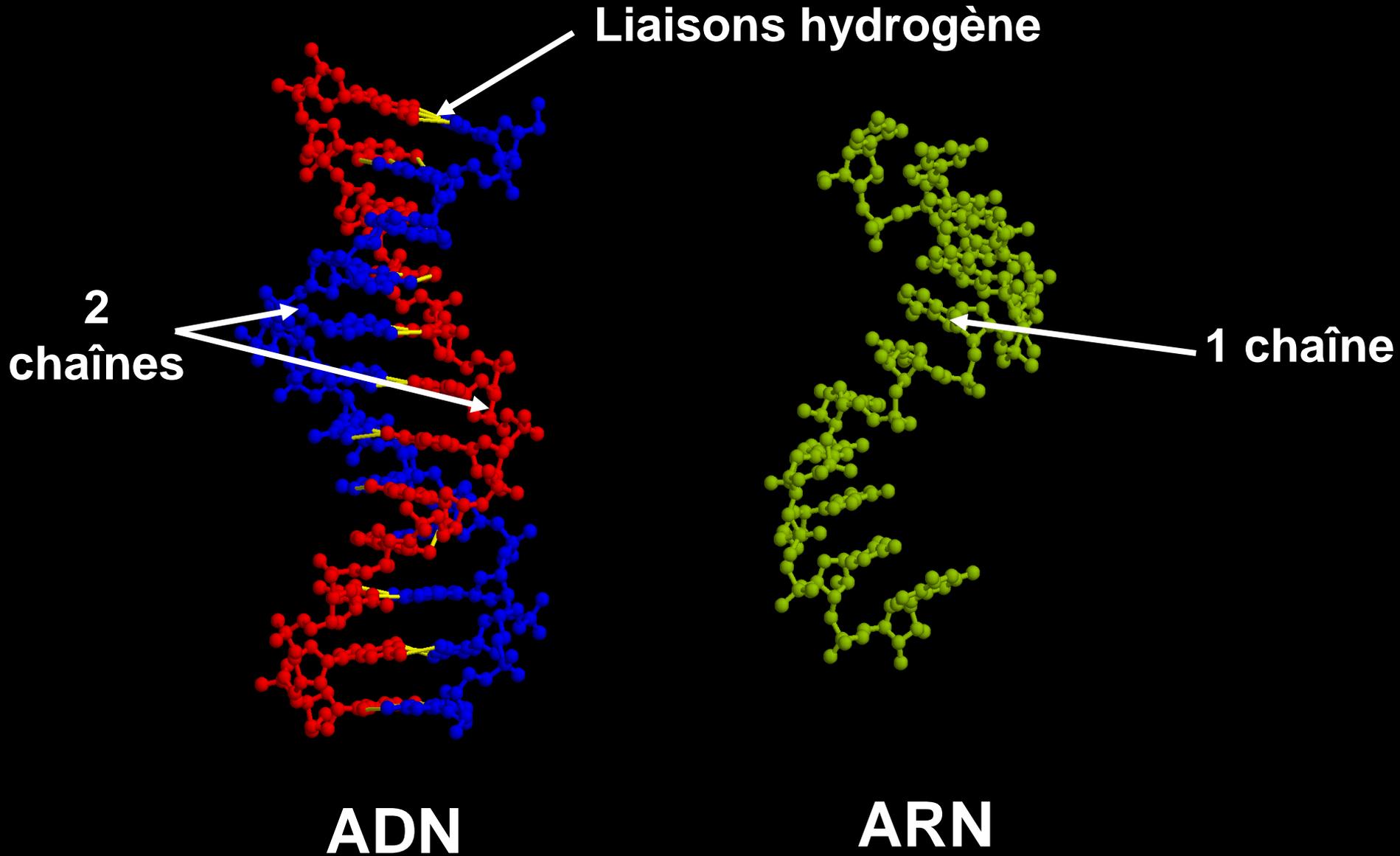
**b**  
Cellule cultivée pendant 15 min sur un milieu contenant le précurseur radioactif de l'ARN, puis une heure et demie sur un milieu contenant des précurseurs non radioactifs.

# Electronographie du noyau

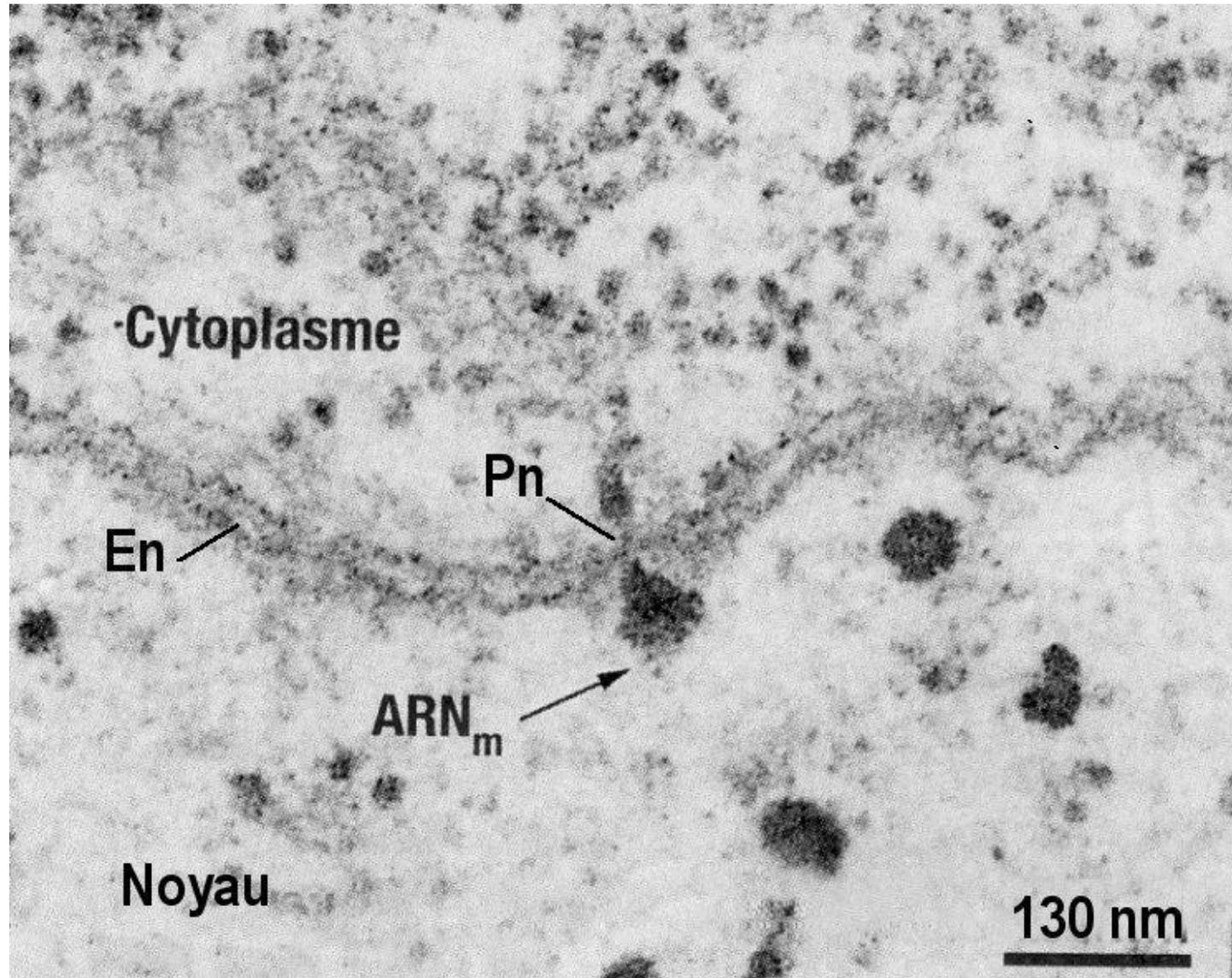


**Pore nucléaire**

# Comparaison ADN ARN

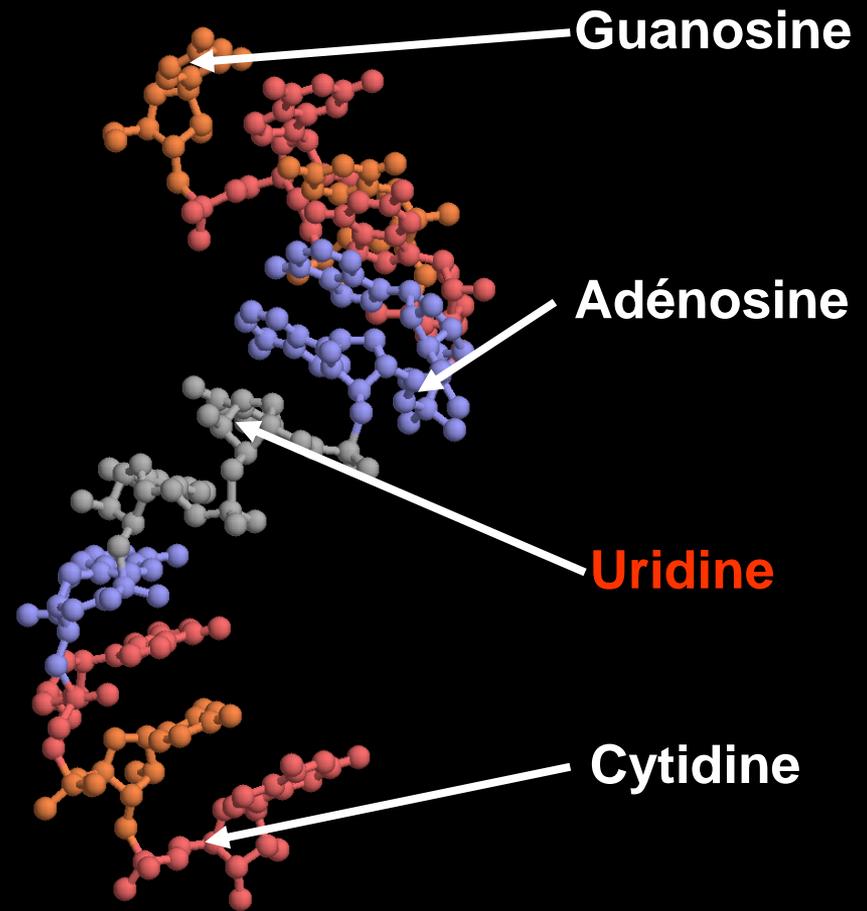
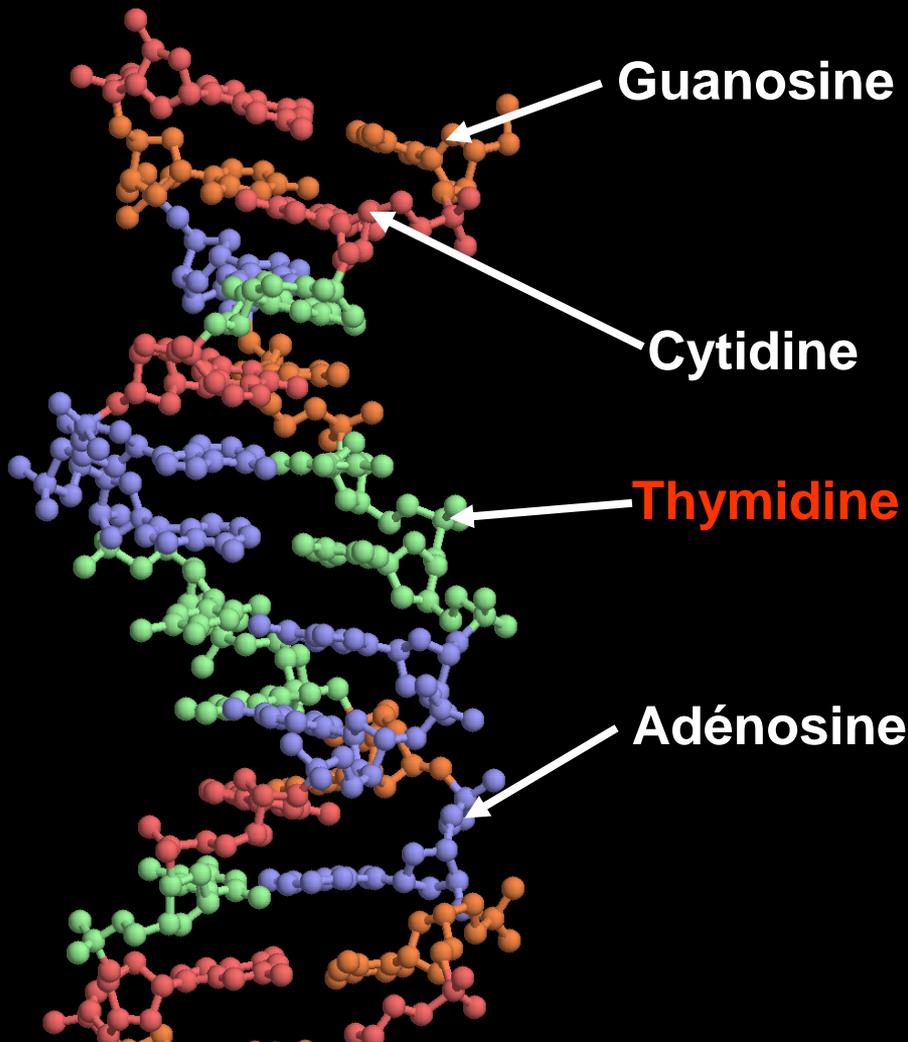


# Electronographie du noyau



# Les caractéristiques qui font de l'ARNm un messenger intermédiaire

- Il est **mobile** : capable de sortir du noyau et de se déplacer jusque dans le cytoplasme
- Il porte un **message** : la même information que le gène



**Même système de codage de l'information**

**ADN**

**ARN**

# Comparaison des séquences des 2 brins de la molécule d'ADN

		0	10	20	30	40	50
Traitement		0	Comparaison simple de séquences d'ADN				
Alpha brin1		0	ATGGTGCTGTCTCCTGCCGACAAGACCAACGTC AAGGCCGCCCTGGGGCAAGGTTGGCG				
Alpha brin2		0	TACCACGACAGAGGACGGCTGTTCTGGTTGCAGTTCCGGCCGGACCCCGTTCCAACCCG				

## Comparaison des séquences du brin 1 de l'ADN et de l'ARN

**L'ARNm est identique (sf U/T) à l'un des brins de l'ADN = brin non transcrit de l'ADN**

Alpha ARNm code  

## Comparaison des séquences du brin 2 de l'ADN et de l'ARN

**L'ARNm est complémentaire à l'autre brin de l'ADN = brin transcrit de l'ADN**

Alpha ARNm code  

# Chapitre 4 : L'expression du patrimoine génétique

## I. La relation gènes/protéines

A. Localisation des gènes et des protéines dans la cellule.

B) L'ARNm, un intermédiaire entre le noyau et le cytoplasme

C) Le code génétique, un système de correspondance ARN/protéines

# Correspondance ARN/Protéine

ADN / ARN :

Séquence de nucléotides  
(4 types)



Protéine :

Séquences d'acides aminés  
(20 acides aminés différents)

**1 triplet de nucléotides (codon)  
correspond à 1 acide aminé**

~~Si 2 nucléotides → 1 Acide Aminé~~ => **4x4=16 possibilités**

Si 3 nucléotides → 1 Acide Aminé => **4x4x4=64 possibilités**

# Systeme de correspondance entre codons et acides aminés : le code génétique.

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

**phénylalanine** (UUU, UUC)

**leucine** (UUA, UUG)

**sérine** (UCU, UCC, UCA, UCG)

**tyrosine** (UAU, UAC)

**cystéine** (UGU, UGC)

**codon(s) stop** (UAA, UAG, UGA)

**leucine** (CUU, CUC, CUA, CUG)

**proline** (CCU, CCC, CCA, CCG)

**univoque** (CCA)

**codons-stop** (UAA, UAG, UGA)

**isoleucine** (AUU, AUC)

**thréonine** (ACU, ACC, ACA, ACG)

**lysine** (AAA, AAG)

**valine** (GUU, GUC, GUA, GUG)

**acide aspartique** (GAU, GAC)

**acide glutamique** (GAA, GAG)

**arginine** (CGU, CGC, CGA, CGG)

**sérine** (AGU, AGC)

**arginine** (AGA, AGG)

**glycine** (GGU, GGC, GGA, GGG)

**redondant** (UUA, UUG, CUA, CUG)

**universel** (GUA, GUG)

# Chapitre 4 : L'expression du patrimoine génétique

## I. La relation gènes/protéines

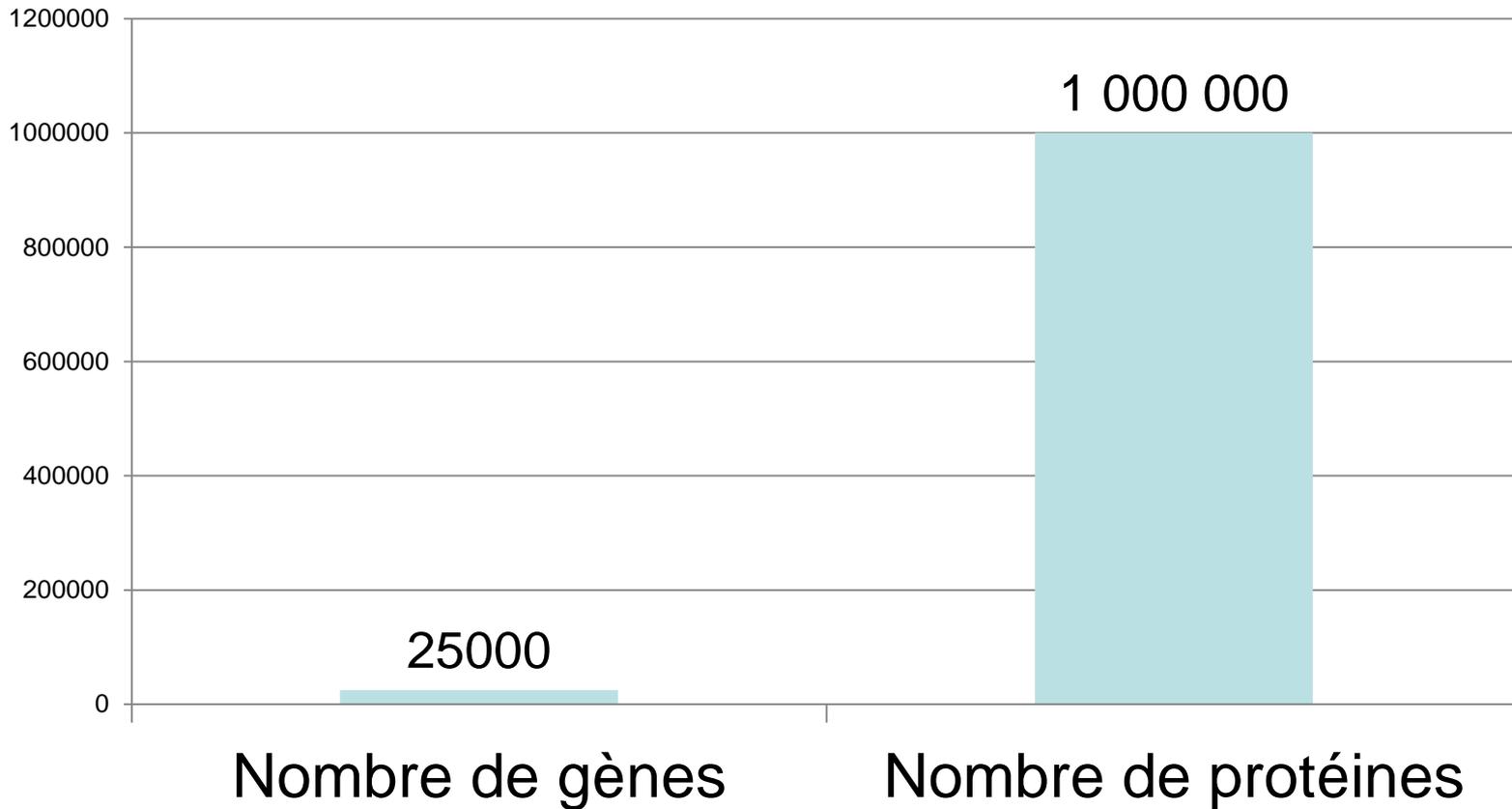
A. Localisation des gènes et des protéines dans la cellule.

B) L'ARNm, un intermédiaire entre le noyau et le cytoplasme

C) Le code génétique, un système de correspondance ARN/protéines

## II. La synthèse des protéines

*Cf activité 8*



Graphique présentant le nombre moyen de gènes et de protéines chez l'Homme

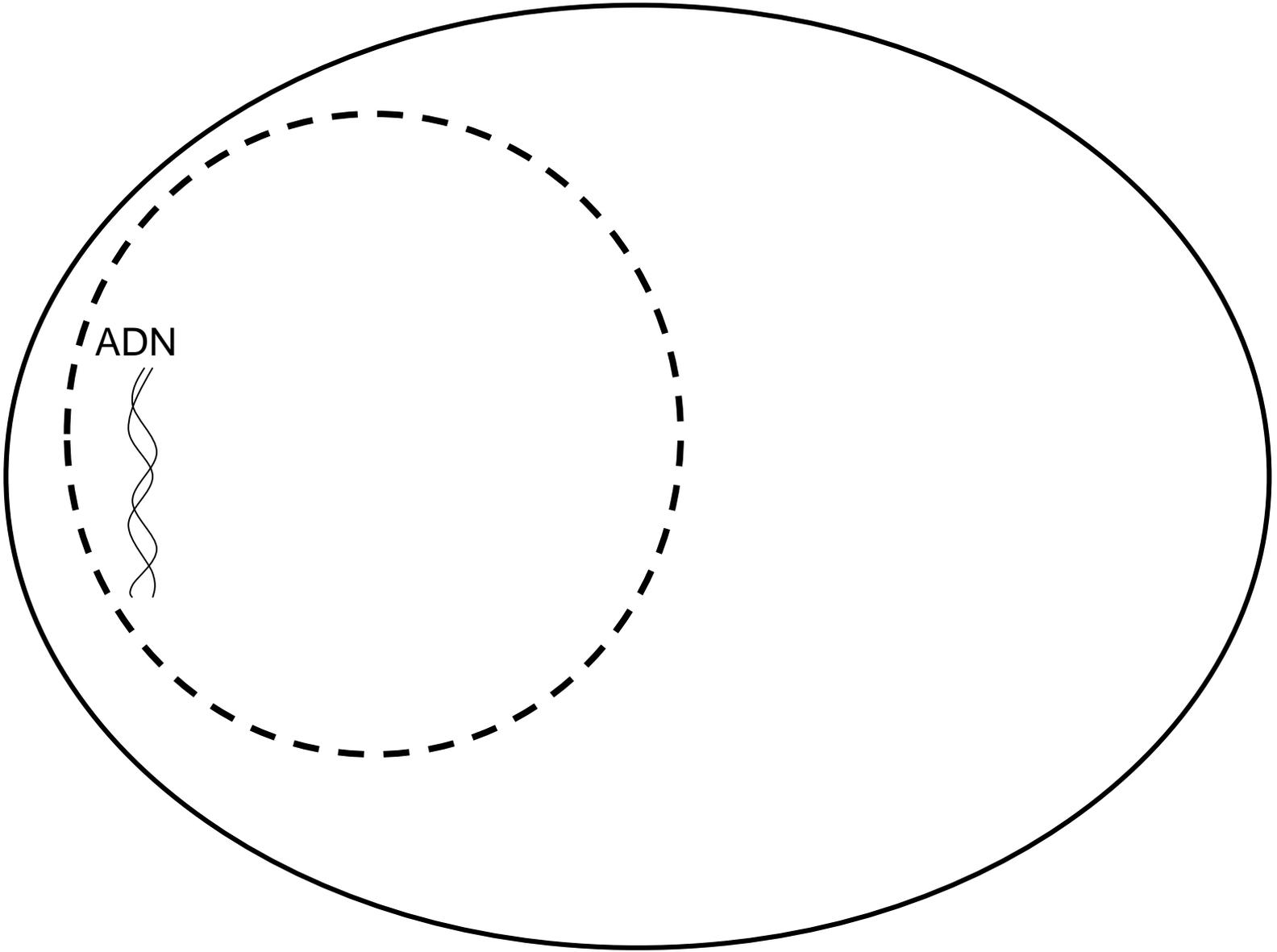
## **Activité 8 : Un gène, des protéines**

A l'aide des trois vidéos (*dossier commun de la classe*), construire un schéma expliquant comment plusieurs protéines peuvent être synthétisées à partir de l'information portée par un gène.

# Activité 8 : Un gène, des protéines

1. Bien comprendre les mécanismes (3) à partir des 3 vidéos
2. Réfléchir à la manière de représenter ces mécanismes. Choisir un niveau de simplification et utiliser des zooms pour montrer les détails
3. Réaliser le schéma
4. Titrer et légender votre schéma

<b>Schéma pertinent</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Il permet de montrer comment DES protéines peuvent être synthétisées à partir de l'information portée par UN gène</li></ul>
<b>Schéma complet</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Une cellule eucaryote est représentée.</li><li>- Dans cette cellule les étapes de transcription, épissage et traduction sont correctement localisées et schématisées (des zooms peuvent être utilisés, choisissez le niveau de simplification de votre schéma).</li><li>- Le gène, les intermédiaires de la synthèse des protéines et les protéines sont représentées.</li></ul>
<b>Schéma cohérent</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Les étapes de synthèse des protéines s'enchainent dans un ordre logique</li></ul>
<b>Schéma correctement mis en forme</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Le schéma est correctement légendé</li><li>- Les légendes sont disposées de façon judicieuse</li><li>- Le schéma comporte des couleurs</li><li>- Le schéma est soigné, clair et lisible et suffisamment gros</li><li>- Le schéma comporte un titre</li></ul>



ADN



# Chapitre 4 : L'expression du patrimoine génétique

## I. La relation gènes/protéines

A. Localisation des gènes et des protéines dans la cellule.

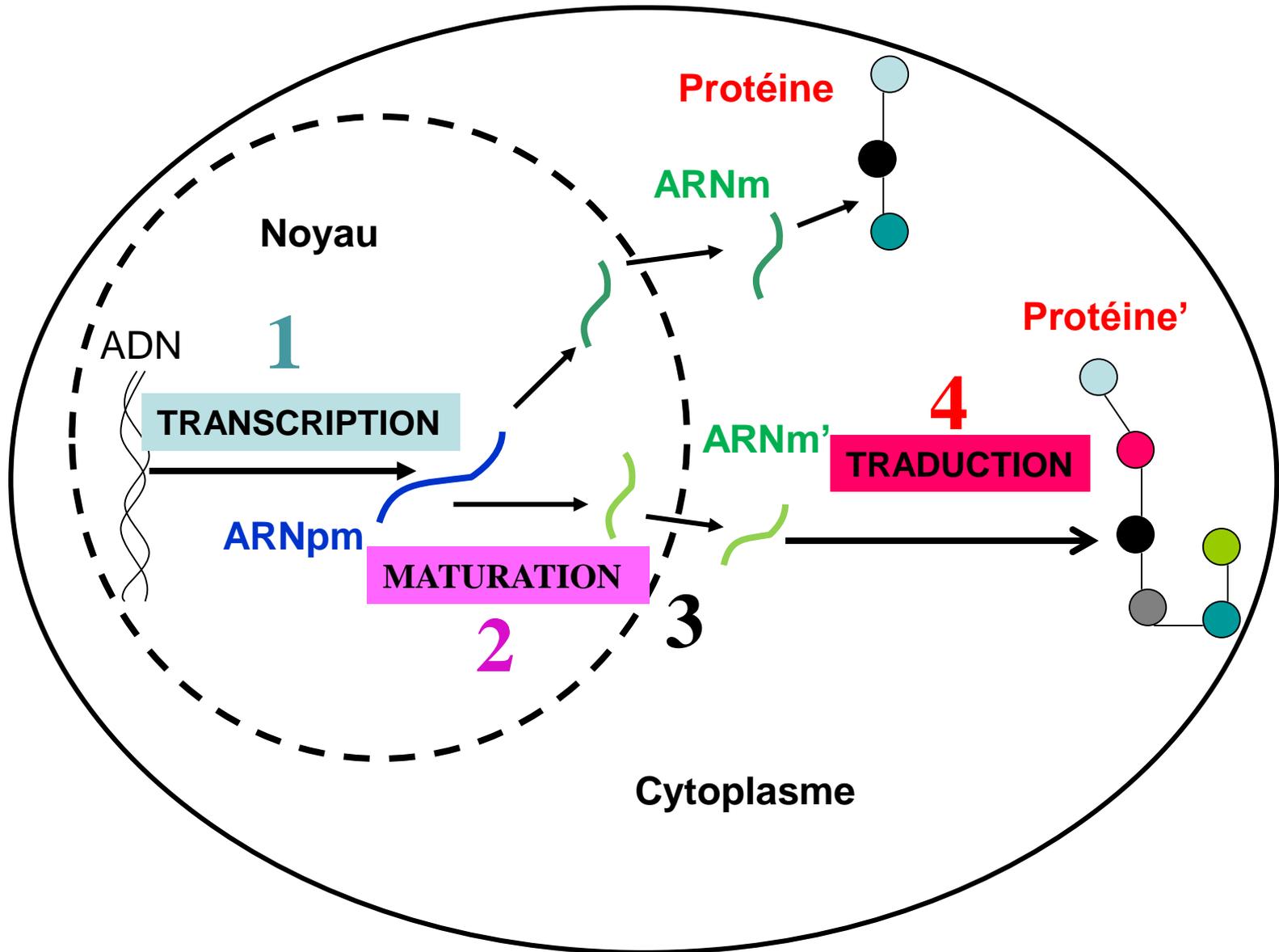
B) L'ARNm, un intermédiaire entre le noyau et le cytoplasme

C) Le code génétique, un système de correspondance ARN/protéines

## II. La synthèse des protéines

*Cf activité 8*

# Du génome au protéome



# Chapitre 4 : L'expression du patrimoine génétique

## I. La relation gènes/protéines

A. Localisation des gènes et des protéines dans la cellule.

B) L'ARNm, un intermédiaire entre le noyau et le cytoplasme

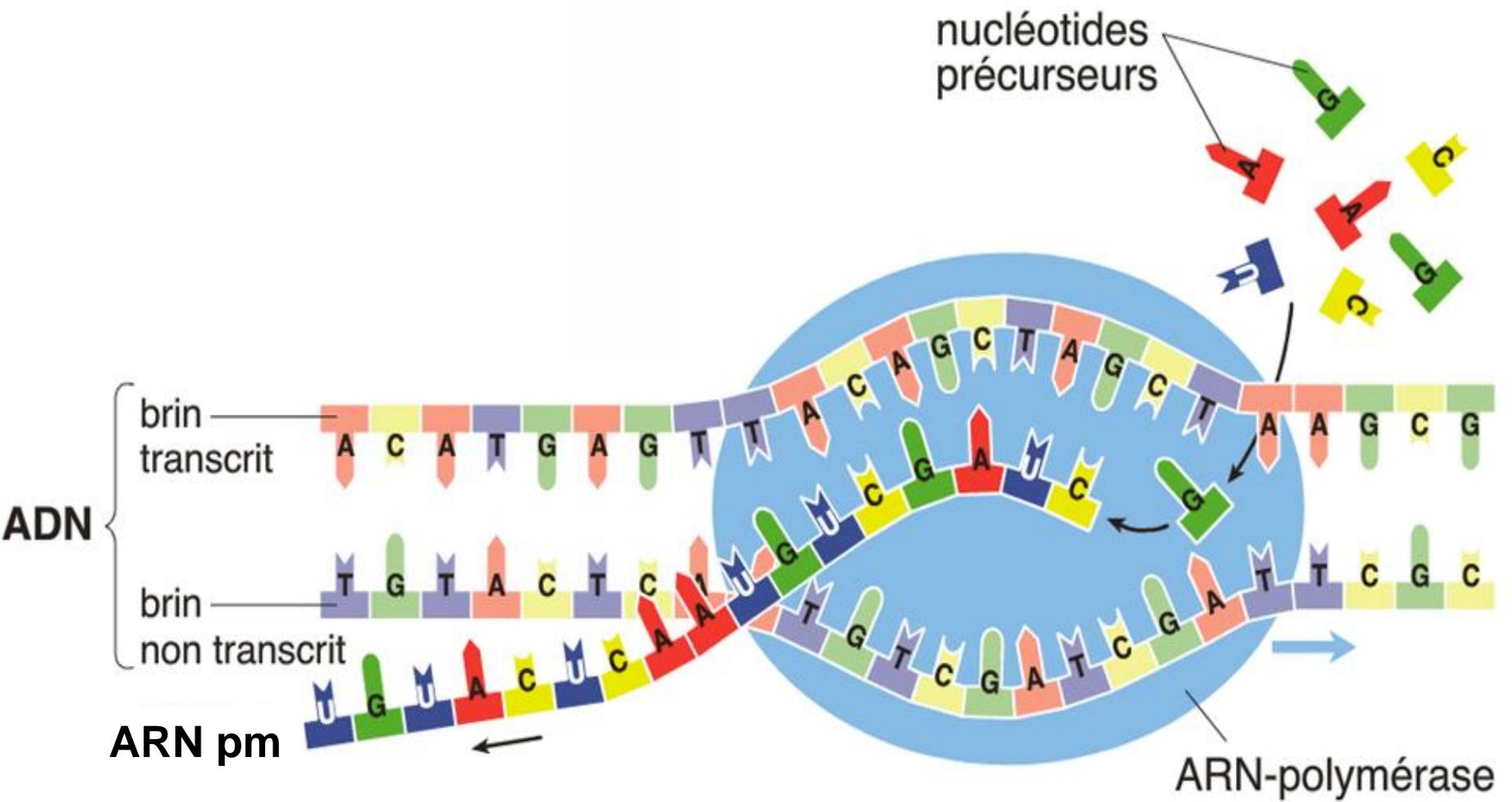
C) Le code génétique, un système de correspondance ARN/protéines

## II. La synthèse des protéines

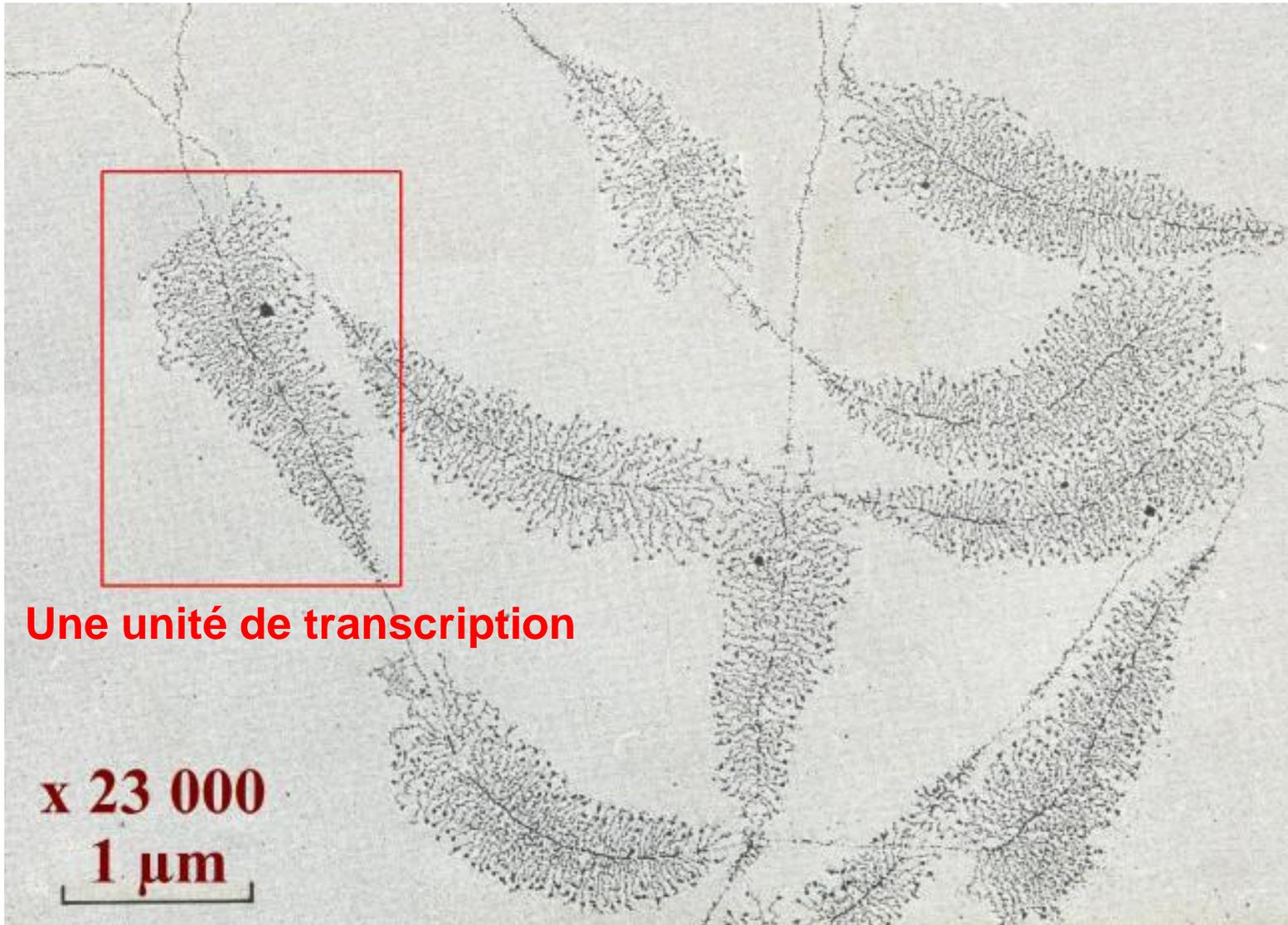
**A. La transcription : fabrication de l'ARN pré-messager.**



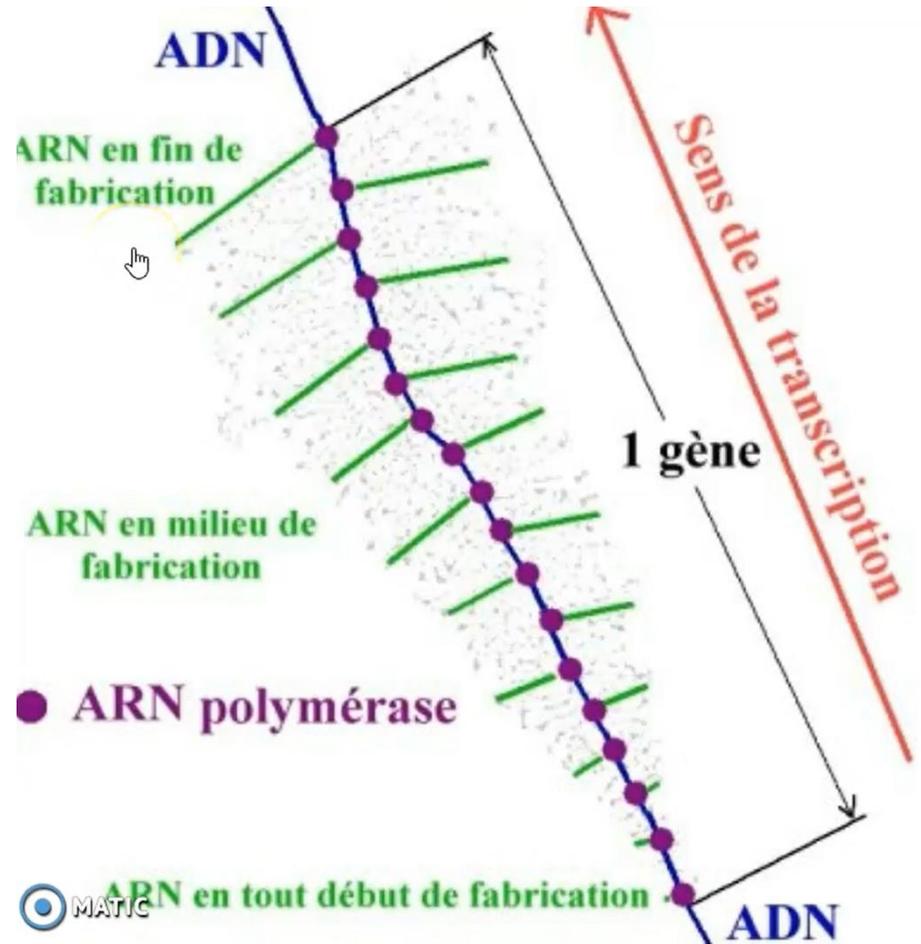
# La transcription



# La transcription, électronographie



# Une unité de transcription



# Chapitre 4 : L'expression du patrimoine génétique

## I. La relation gènes/protéines

A. Localisation des gènes et des protéines dans la cellule.

B) L'ARNm, un intermédiaire entre le noyau et le cytoplasme

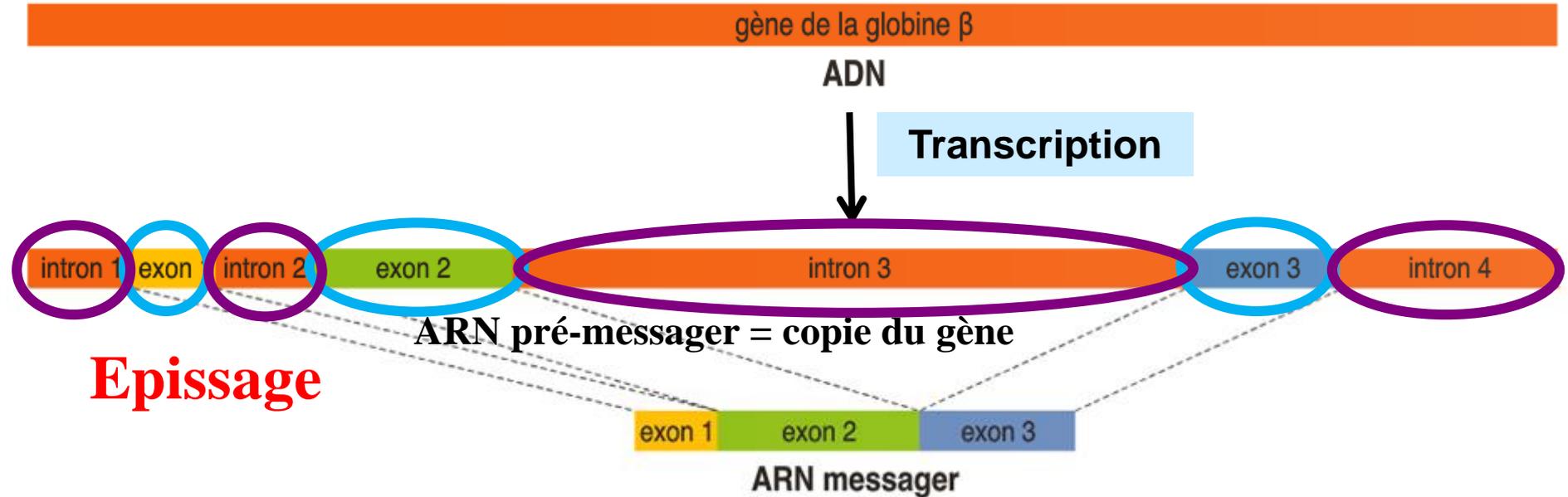
C) Le code génétique, un système de correspondance ARN/protéines

## II. La synthèse des protéines

A. La transcription : fabrication de l'ARN prémessager.

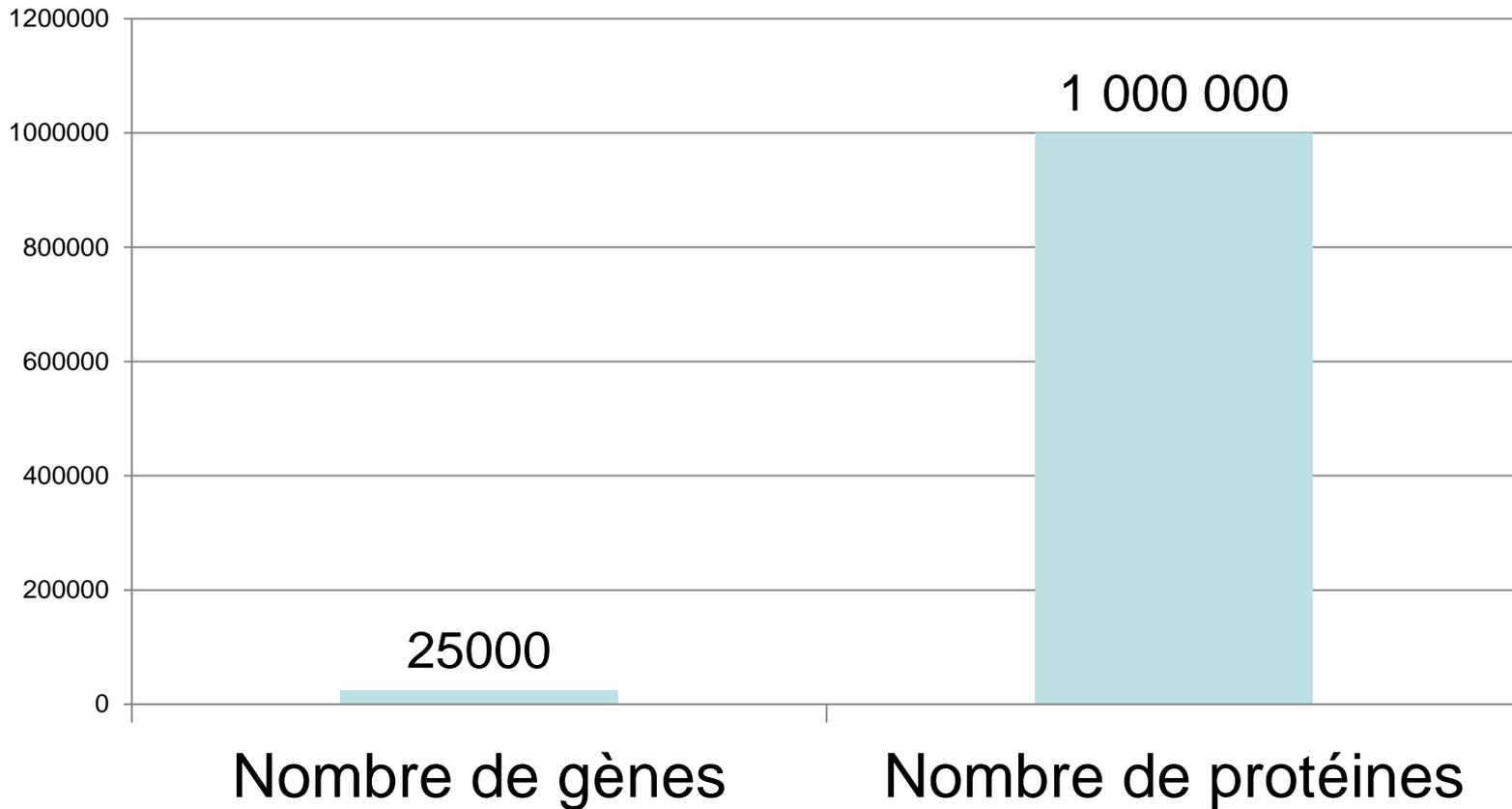
**B. Maturation de l'ARN pré-messager en ARN messenger(s).**

# 1. Le gène morcelé des eucaryotes



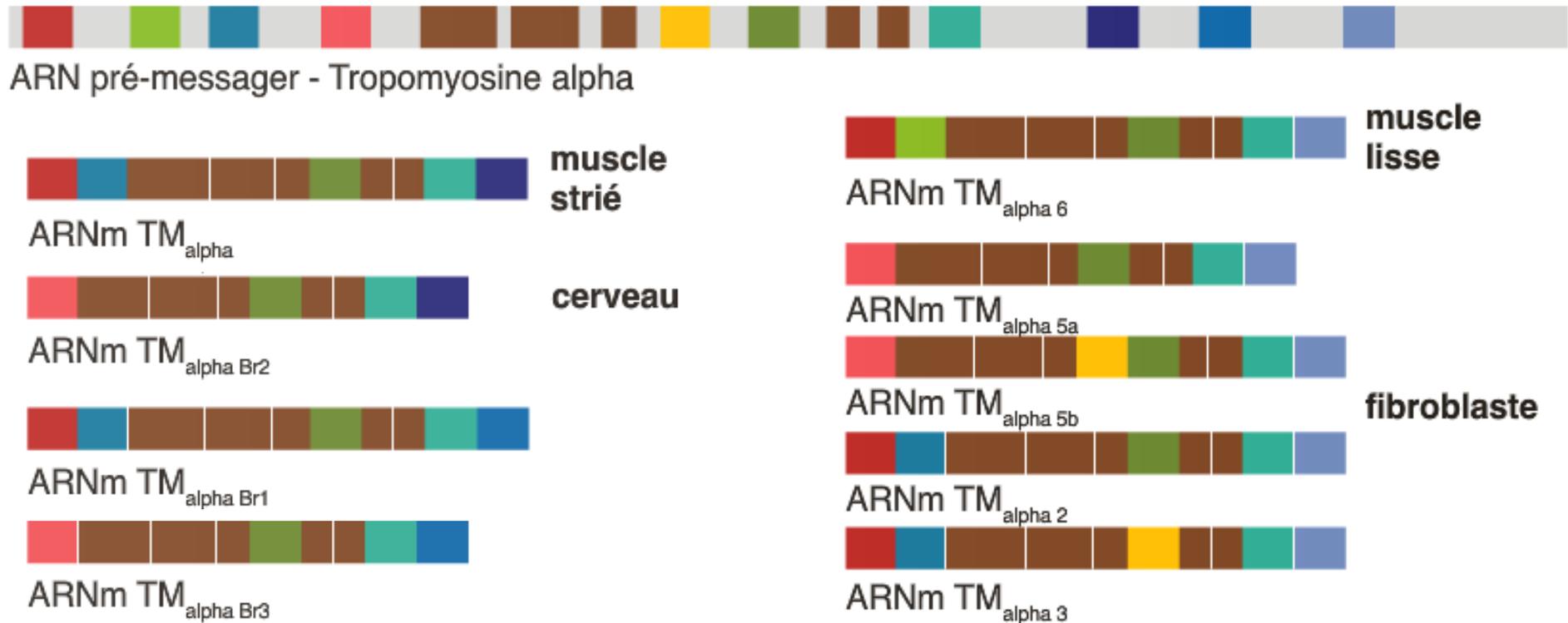
Parties non codantes = introns

Parties codantes = exons



Graphique présentant le nombre moyen de gènes et de protéines chez l'Homme

## 2. L'épissage alternatif : 1 gène → plusieurs protéines



Epissage **alternatif** =>

9 ARN m produits à partir d'un même ARN pm

Un gène → 9 protéines

# Grâce à l'épissage alternatif, chez l'homme :

(génomome)

20 000 à 25 000 gènes



(transcriptome)

500 000 à 5 000 000 ARNm



(protéome)

500 000 à 5 000 000 protéines

# Chapitre 4 : L'expression du patrimoine génétique

## I. La relation gènes/protéines

A. Localisation des gènes et des protéines dans la cellule.

B) L'ARNm, un intermédiaire entre le noyau et le cytoplasme

C) Le code génétique, un système de correspondance ARN/protéines

## II. La synthèse des protéines

A. La transcription : fabrication de l'ARN prémessager.

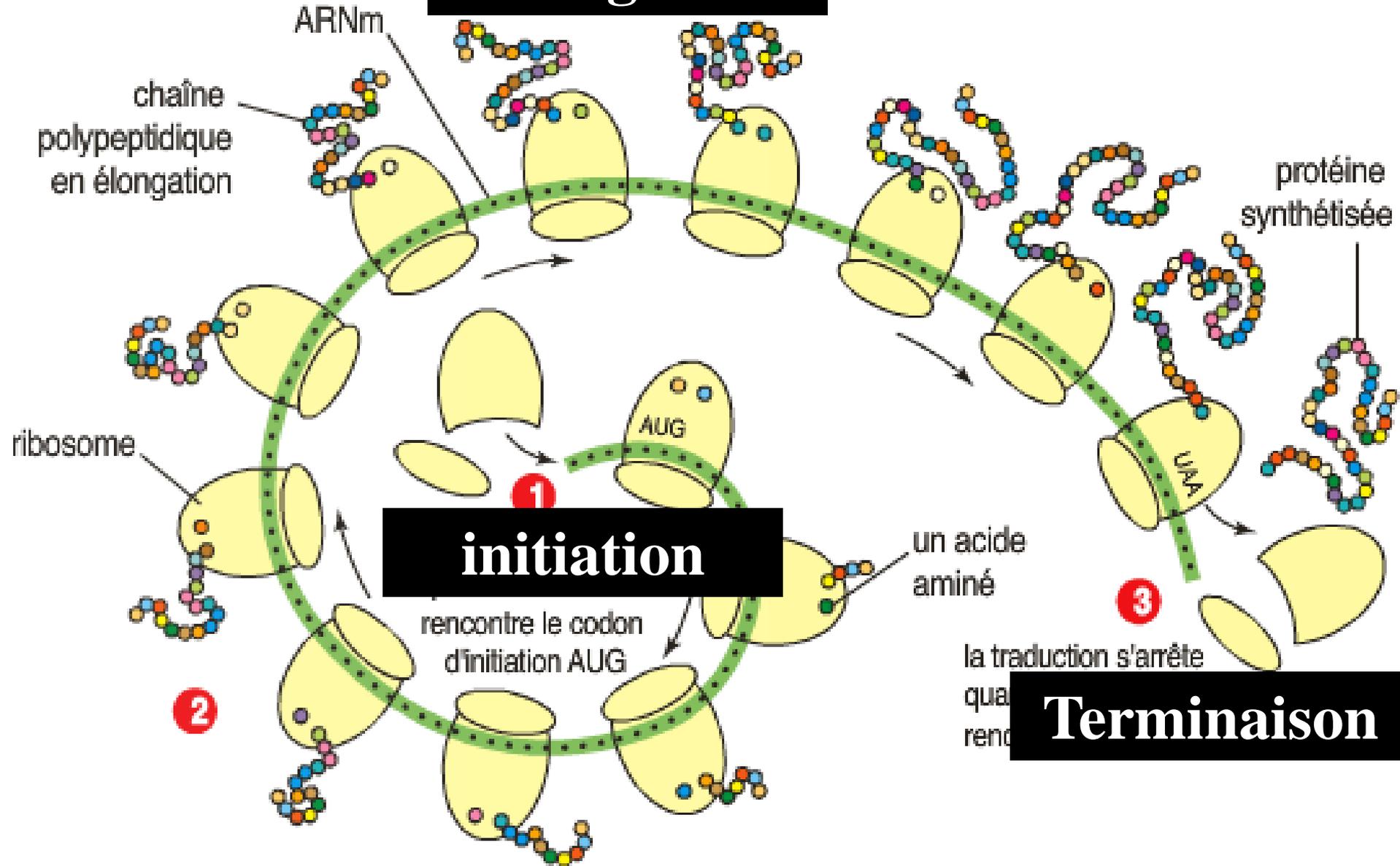
B. Maturation de l'ARN pré-messager en ARN messenger(s).

C. Traduction des ARN messagers en protéines.

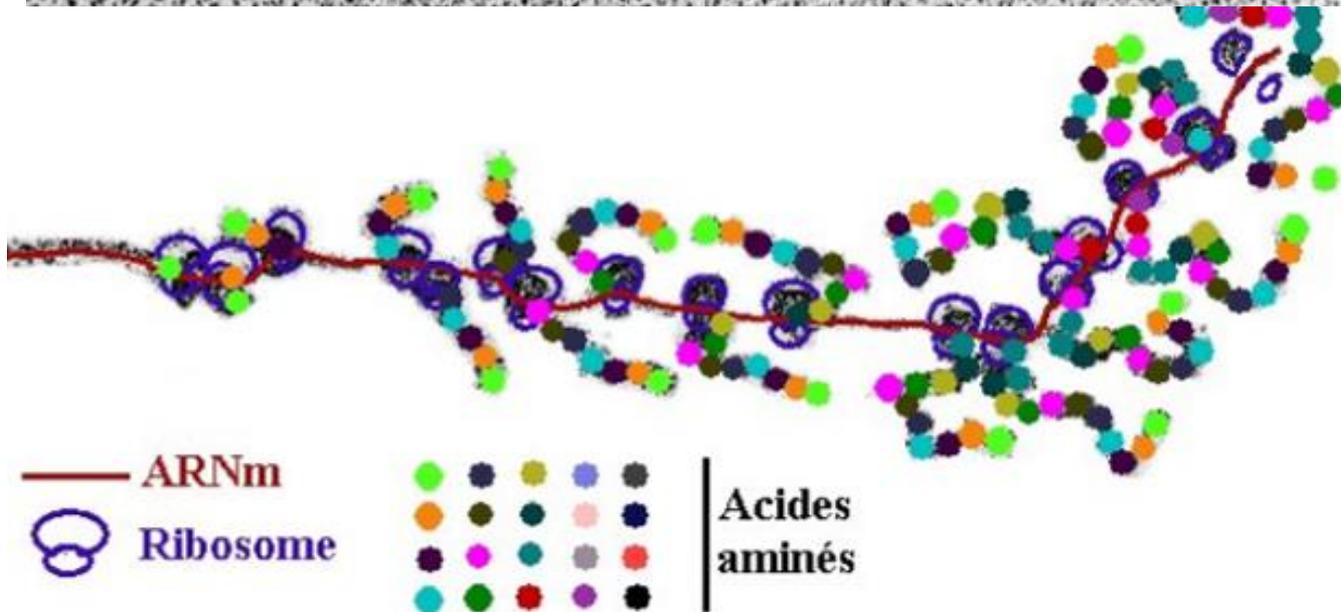
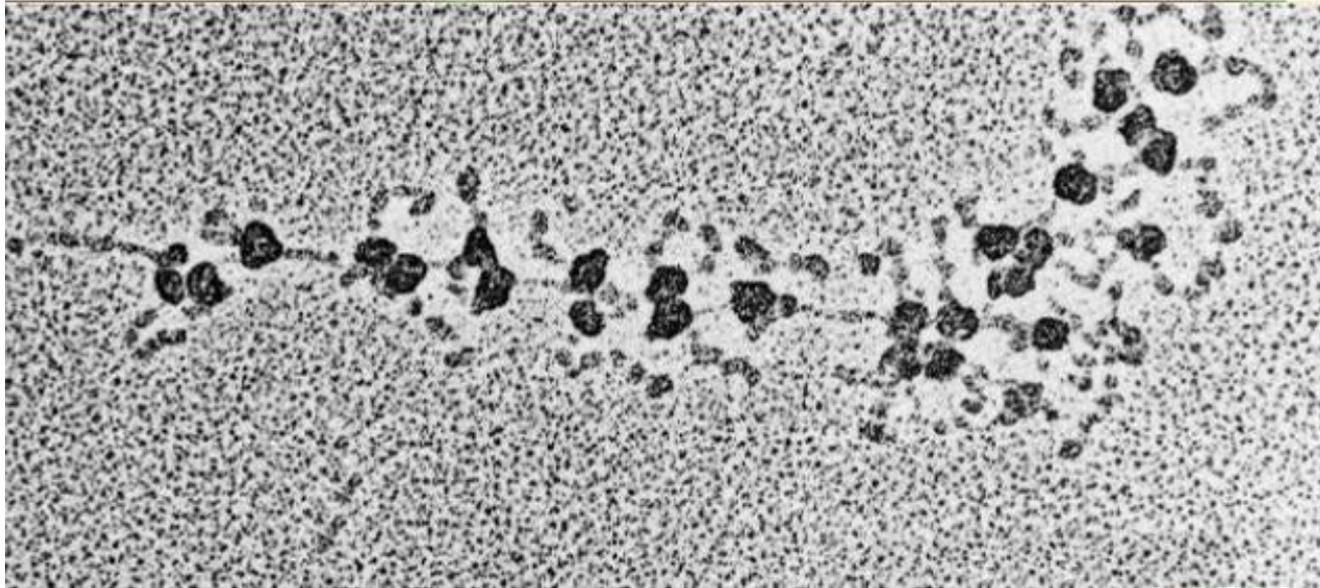


# Les étapes de la traduction

## Elongation



# Les ribosomes : des organites spécialisés dans la traduction de l'ARN m en protéine



# Chapitre 4 : L'expression du patrimoine génétique

## I. La relation gènes/protéines

A. Localisation des gènes et des protéines dans la cellule.

B) L'ARNm, un intermédiaire entre le noyau et le cytoplasme

C) Le code génétique, un système de correspondance ARN/protéines

## II. La synthèse des protéines

A. La transcription : fabrication de l'ARN prémessager.

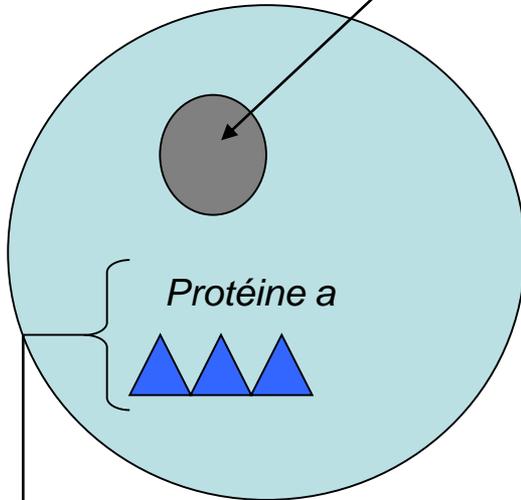
B. Maturation de l'ARN pré-messager en ARN messenger(s).

C. Traduction des ARN messagers en protéines.

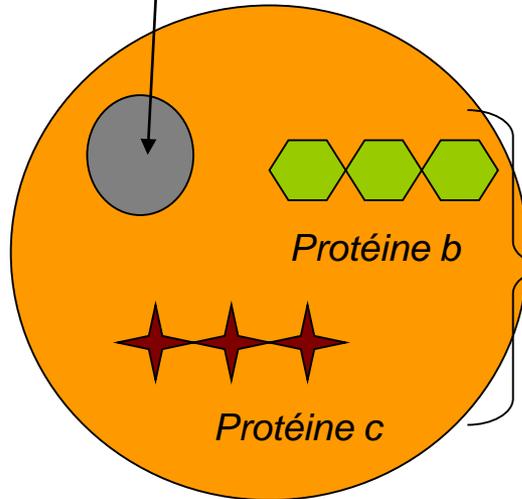
## III. La régulation de l'expression des gènes

**Même patrimoine génétique = même génome**

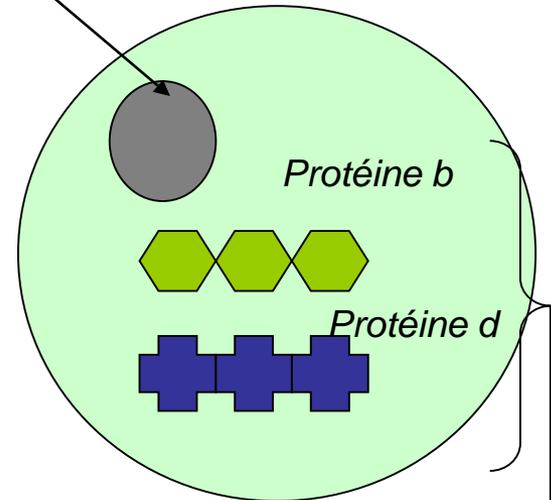
Cellule A



Cellule B



Cellule C



**Ne produisent pas les mêmes protéines = des protéomes différents**

# Chapitre 4 : L'expression du patrimoine génétique

## I. La relation gènes/protéines

- A. Localisation des gènes et des protéines dans la cellule.
- B) L'ARNm, un intermédiaire entre le noyau et le cytoplasme
- C) Le code génétique, un système de correspondance ARN/protéines

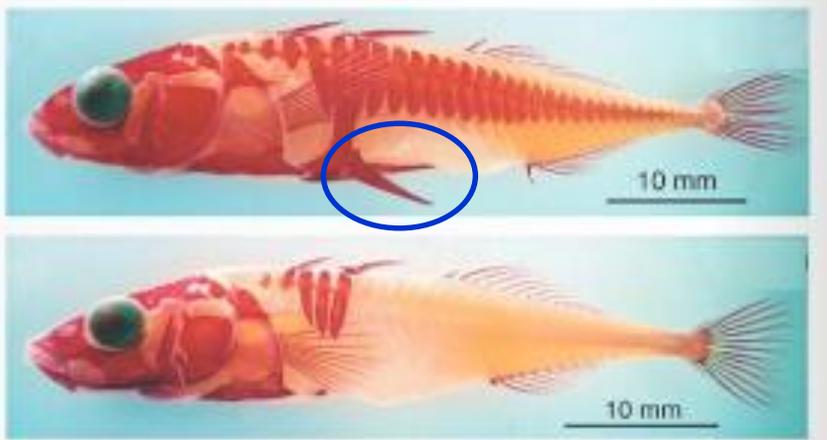
## II. La synthèse des protéines

- A. La transcription : fabrication de l'ARN prémessager.
- B. Maturation de l'ARN pré-messager en ARN messenger(s).
- C. Traduction des ARN messagers en protéines.

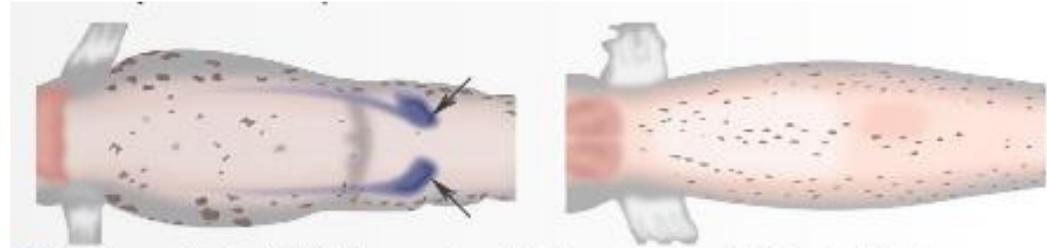
## III. La régulation de l'expression des gènes

- A. Régulation de l'expression des gènes par des facteurs internes

# Des facteurs internes contrôlent l'expression des gènes



**A** Deux phénotypes différents (en haut : forme marine ; en bas : forme lacustre).



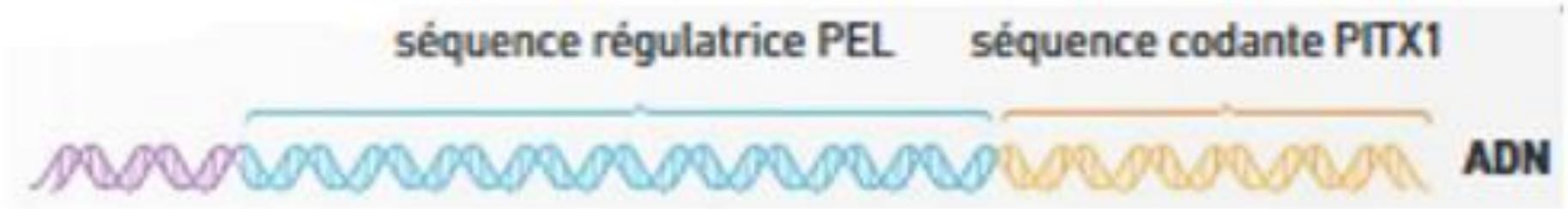
**B** Zone d'expression du gène PITX1 chez un embryon d'épinoche marine (à gauche) et lacustre (à droite). Les flèches indiquent la zone d'expression du gène PITX1 observée sur la face ventrale des embryons.

Comparaison simple

	1	10	20	30	40	820	830	840	850
▲	..... ..... ..... ..... .....				..... ..... ..... ..... .....				
▶ Traitement	Comparaison simple de séquences d'ADN								
PITX1 Epinoche marine	ATGAATTCGGACCGGGGGCGTTCGAGGGCGGGCGGGCGGGCGGGC				CACGAGCCTGAACCGGTGCCAGTACAACAGCTGA				
PITX1 Epinoche lacustre	-----								
▼	◀     ▶				◀     ▶				

**C** Comparaison des séquences codantes du gène chez les deux formes d'épinoches. Les deux portions du gène affichées sont représentatives des résultats obtenus sur l'ensemble du gène.

# Des facteurs internes contrôlent l'expression des gènes

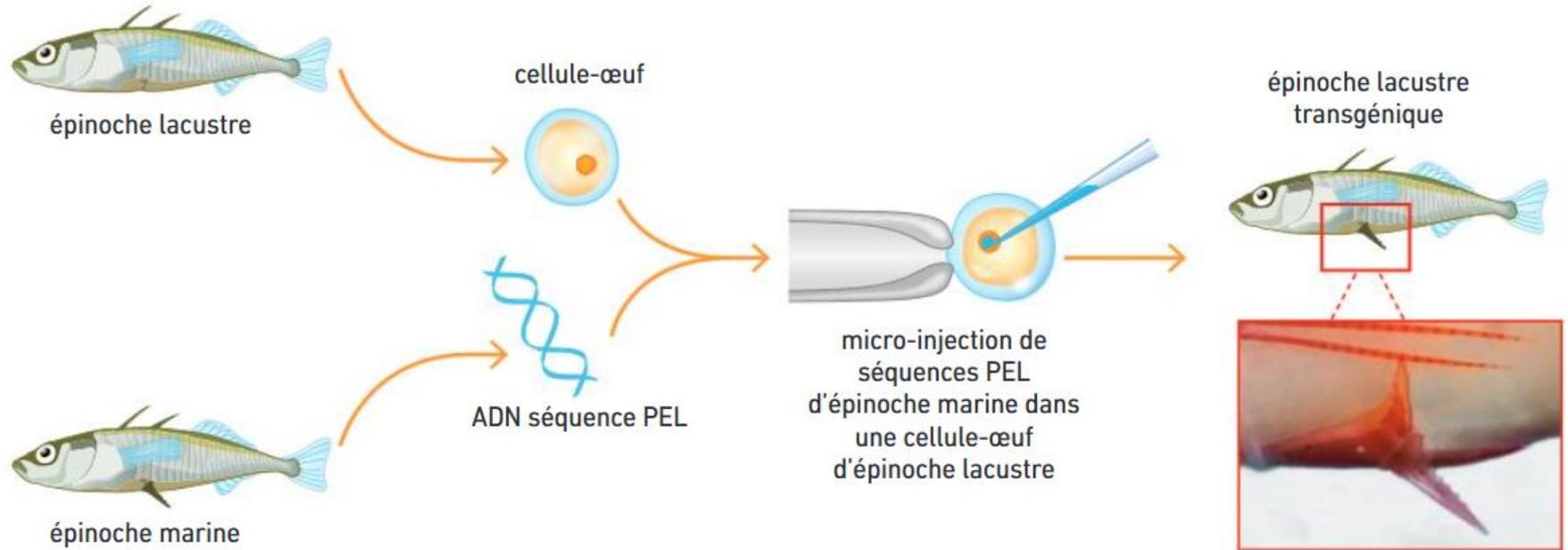


**Délétion de 488 nucléotides  
chez la forme lacustre**

# Des facteurs internes contrôlent l'expression des gènes

En analysant et comparant le génome des deux variétés, les chercheurs ont identifié un segment d'ADN appelé séquence PEL présent à côté du gène PITX1 (en amont). La séquence PEL est longue de 2500 paires de nucléotides. Chez les épinoches lacustres, une portion de 488 paires

de nucléotides de la région PEL a disparu par délétion\*. Les chercheurs ont réalisé une expérience de transgénèse\* en insérant à l'intérieur d'un œuf d'épinoche lacustre une construction génétique comportant la séquence PEL des épinoches marines.



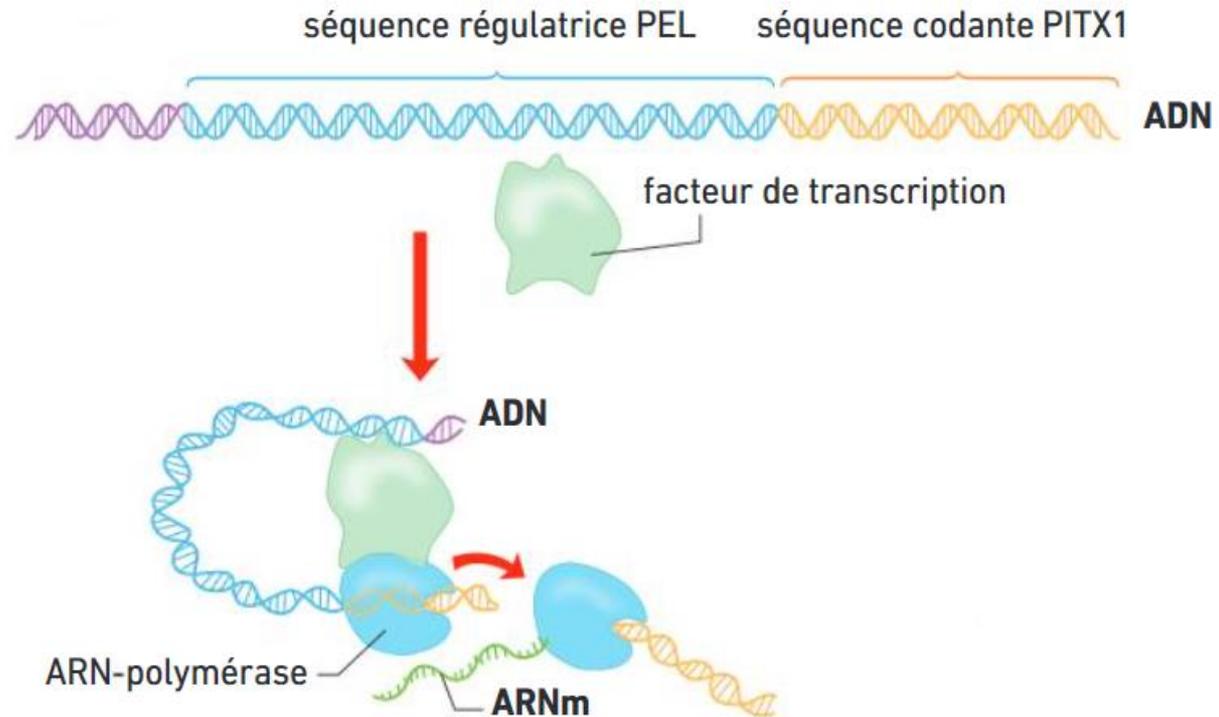
■ L'expérience réalisée et ses résultats.

# Des facteurs internes contrôlent l'expression des gènes

La séquence PEL est une séquence d'ADN sur laquelle peuvent normalement se fixer un ou des **facteurs de transcription\***.

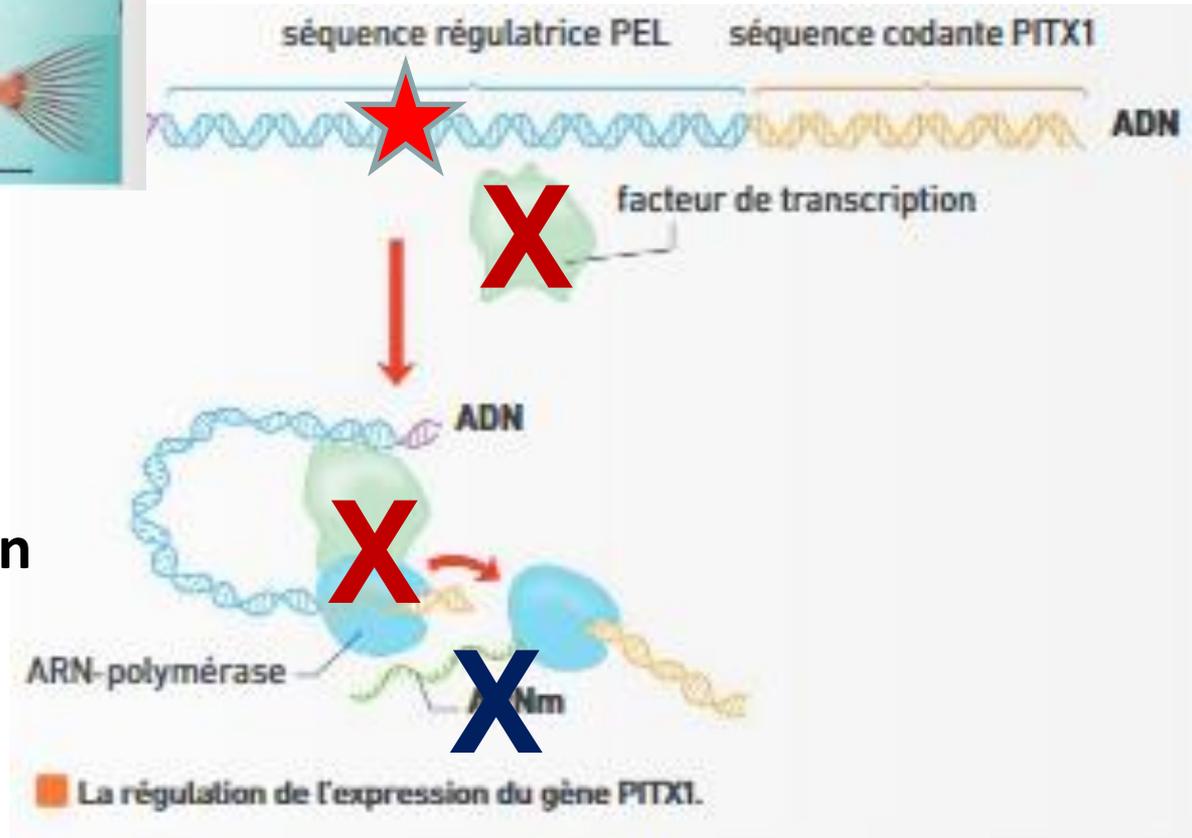
La formation du complexe [facteur de transcription-ADN] déclenche l'entrée en action de l'ARN-polymérase et active donc l'expression du gène situé en aval.

Pour cette raison, la séquence PEL est qualifiée de **séquence régulatrice\*** du gène PITX1.



■ La régulation de l'expression du gène PITX1.

# Des facteurs internes contrôlent l'expression des gènes



Mutation dans la zone  
régulatrice PEL



Le facteur de transcription  
ne se lie plus à l'ADN

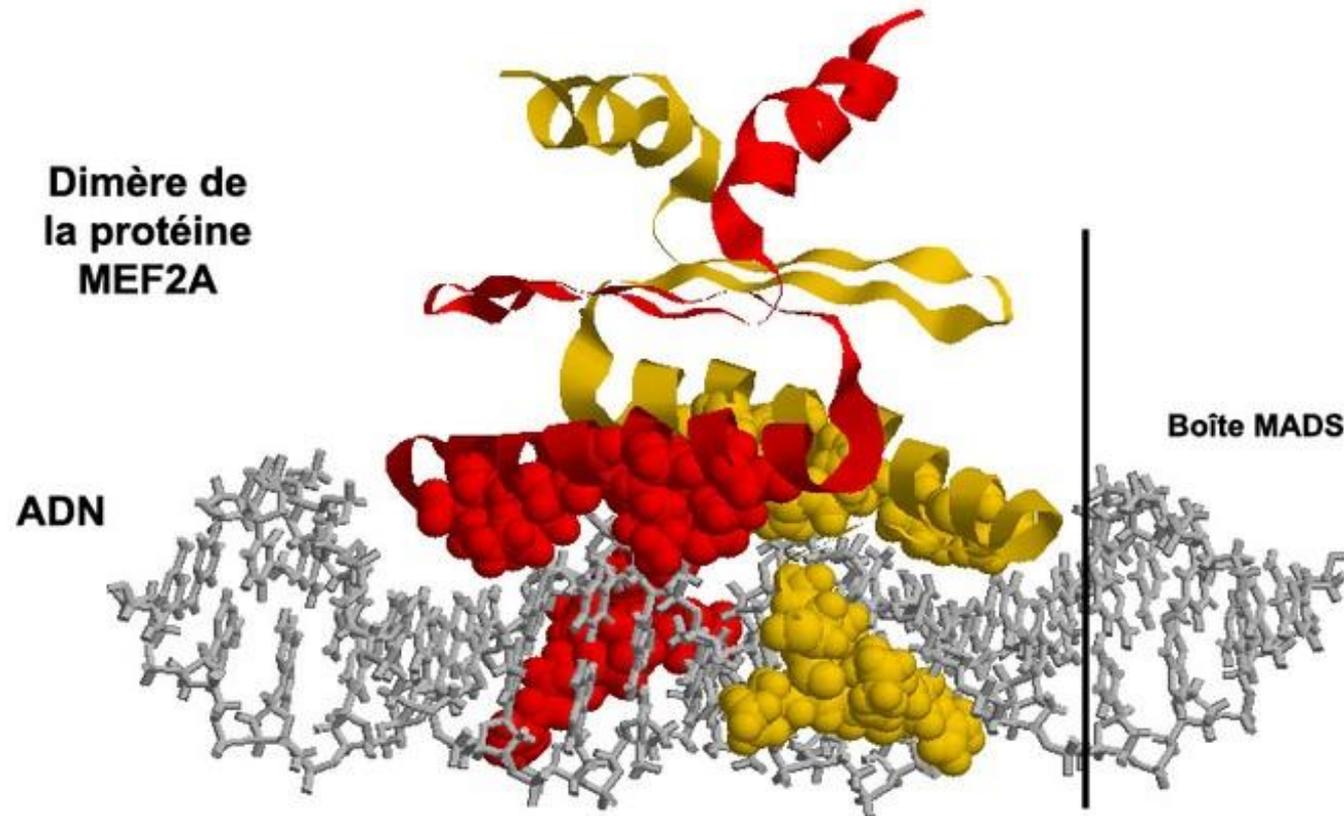


Plus d'expression  
du gène PITX1



Plus de nageoire pelvienne

# Facteurs de transcription



## Interaction entre le facteur de transcription à boîte MADS MEF2A et l'ADN

Les AA qui interagissent directement avec l'ADN sont représentés en sphères  
Ce modèle est obtenu à l'aide du logiciel RASTOP d'après le modèle PDB ID: 1C7U  
MEF2A (Myocyte-specific Enhancer Factor 2A) ; protéine humaine

# Chapitre 4 : L'expression du patrimoine génétique

## I. La relation gènes/protéines

- A. Localisation des gènes et des protéines dans la cellule.
- B) L'ARNm, un intermédiaire entre le noyau et le cytoplasme
- C) Le code génétique, un système de correspondance ARN/protéines

## II. La synthèse des protéines

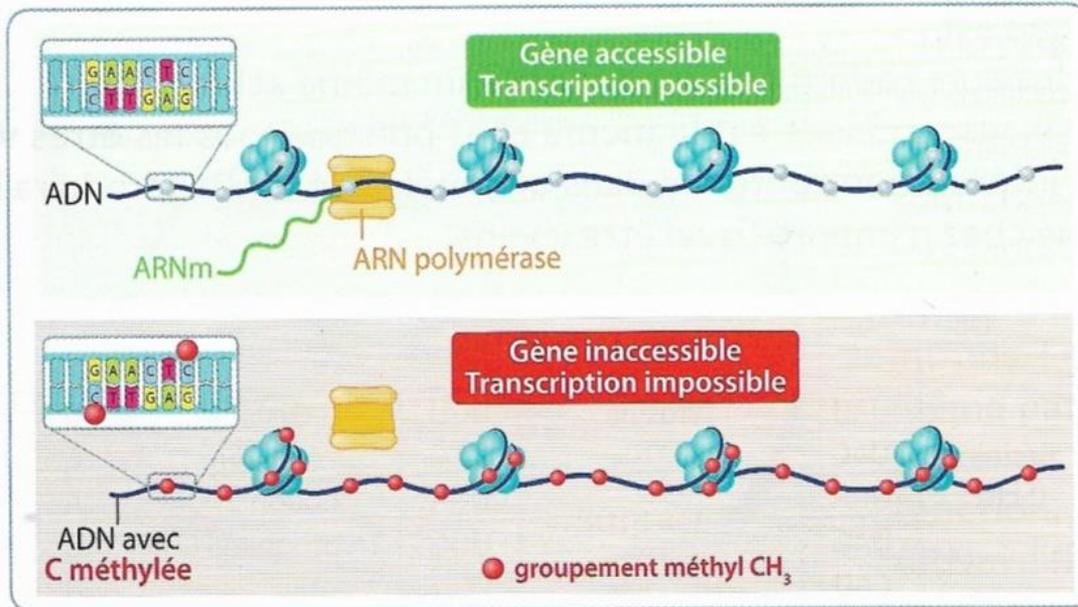
- A. La transcription : fabrication de l'ARN prémessager.
- B. Maturation de l'ARN pré-messager en ARN messenger(s).
- C. Traduction des ARN messagers en protéines.

## III. La régulation de l'expression des gènes

- A. Régulation de l'expression des gènes par des facteurs internes
- B. Régulation de l'expression des gènes par des facteurs externes

# La **nourriture** peut modifier l'expression des gènes

Chez les abeilles, la reine et l'ouvrière sont des femelles ayant le même génome. Pourtant, la première va donner naissance à toutes les abeilles de la colonie, la seconde restera stérile. Les chercheurs ont montré que les larves nourries avec de la gelée royale deviennent des reines, alors que celles nourries avec un mélange de miel et de pollen deviennent des ouvrières.

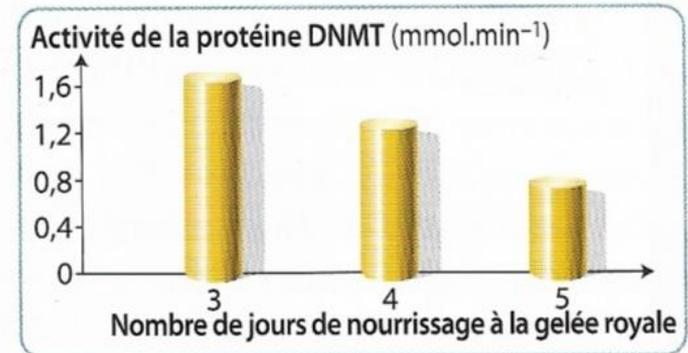


b. Un cas de perturbation de la transcription



a. Une reine entourée de deux ouvrières

La protéine DNMT permet l'ajout d'un groupement  $\text{CH}_3$  sur l'ADN au niveau des nucléotides : on dit qu'ils sont méthylés.



c. Activité de la protéine DNMT, quantifiée chez des larves de 6 jours, nourries pendant 3, 4 ou 5 jours à la gelée royale

# Influence de la température sur l'expression des gènes



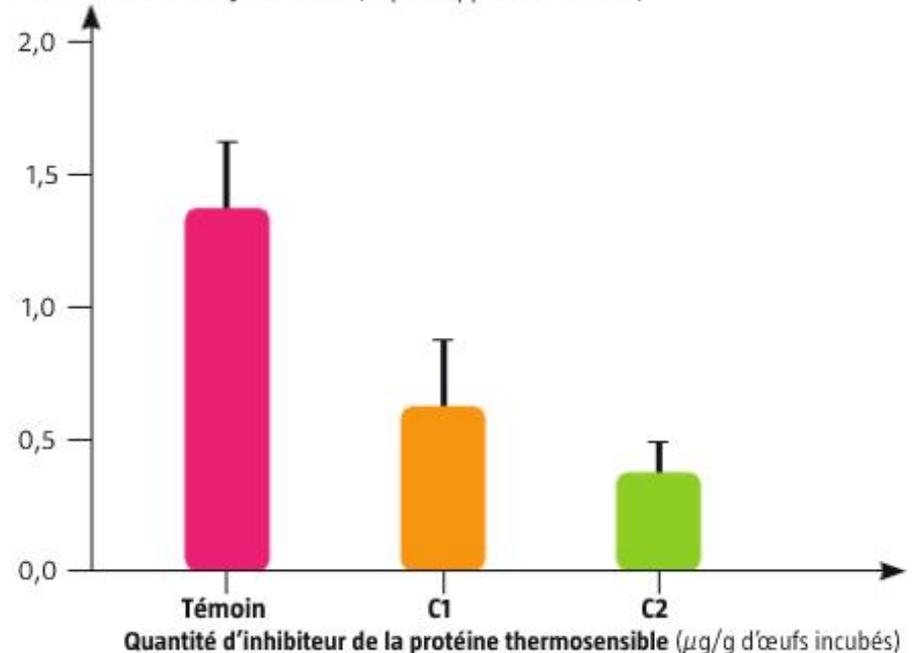
- ▶ Chez l'alligator du Mississippi, la différenciation sexuelle des gonades dépend de la température d'incubation des œufs. Une température d'incubation inférieure ou égale à 30 °C engendre une production de femelles alors qu'une température de 33 °C donne principalement des mâles.
- ▶ Une protéine thermosensible est présente dans la gonade de l'alligator en développement et elle est sensible aux températures élevées. Cette protéine influence significativement la voie de détermination du sexe gonadique masculin selon la température d'incubation.

▶ Afin de comprendre l'action de cette protéine thermosensible et l'action de la chaleur, on l'inhibe chez des embryons en développement grâce à un agent chimique dosé selon deux concentrations C1 et C2 ( $C2 > C1$ ).

On mesure ensuite la quantité d'ARNm synthétisée dans des cellules produisant une hormone induisant la différenciation des voies génitales indifférenciées en voies génitales mâles.

Résultats de l'expérience. ▶

Quantité d'ARNm synthétisée (% par rapport au témoin)



# Modification de l'expression des gènes chez l'arabette des dames

## ■ Expression de 5 gènes en réponse aux conditions environnementales



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

Faible



Fort



Niveau d'expression du gène

# Le protéome d'une cellule dépend ...

