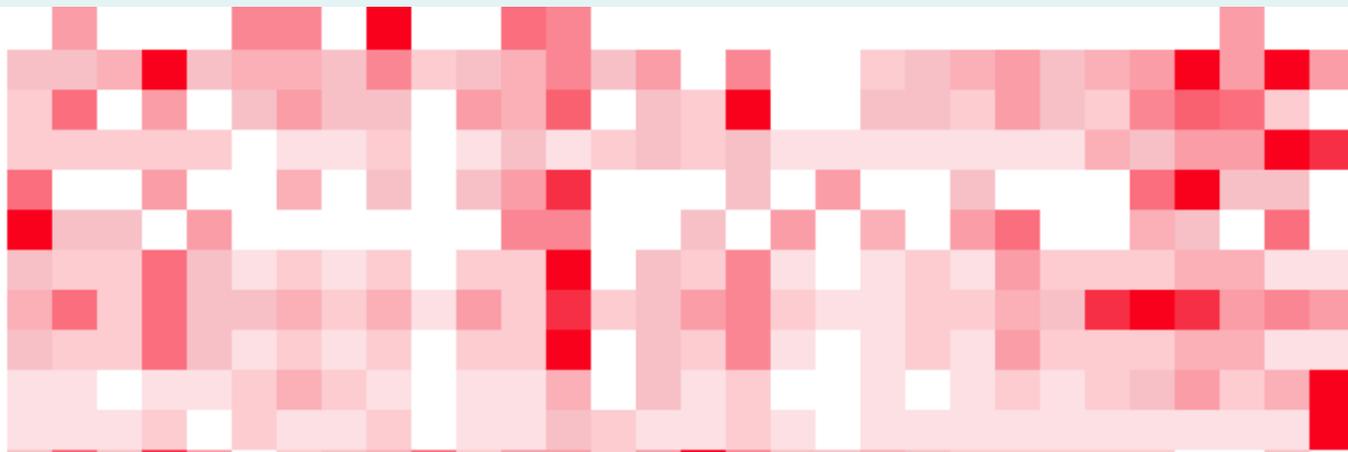






# Chapitre 4 : Du génome au protéome : l'expression du patrimoine génétique

[AGAP9](#)  
[AGFG1](#)  
[AGFG2](#)  
[ARAP1](#)  
[ARAP2](#)  
[ARAP3](#)  
[ARFGAP3](#)  
[ARFGAP2](#)  
[ARFGAP3](#)  
[ASAP1](#)  
[ASAP2](#)



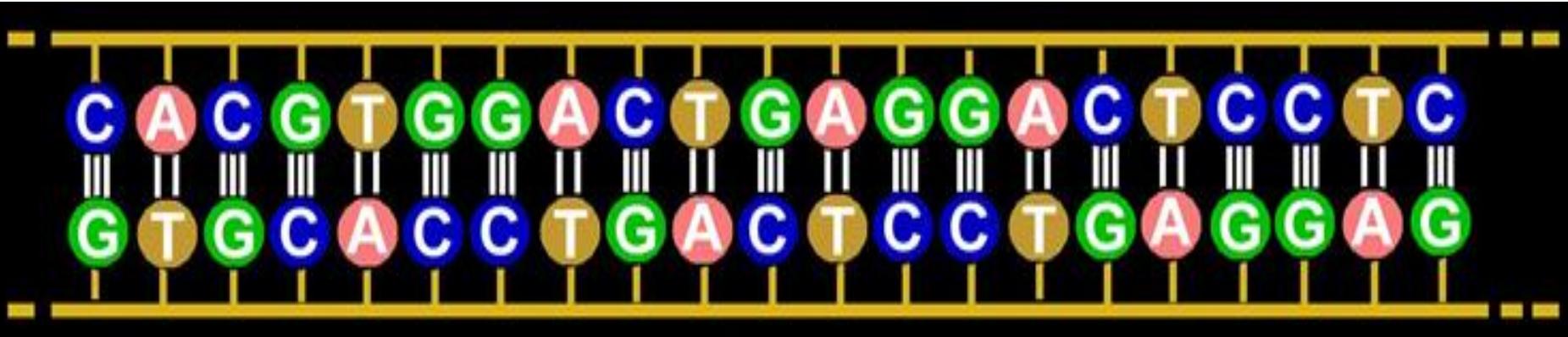
**Comment les protéines sont-elles produites à partir de l'information portée par des gènes ?**

# I. La relation entre les gènes et les protéines

*Cf activité 7*

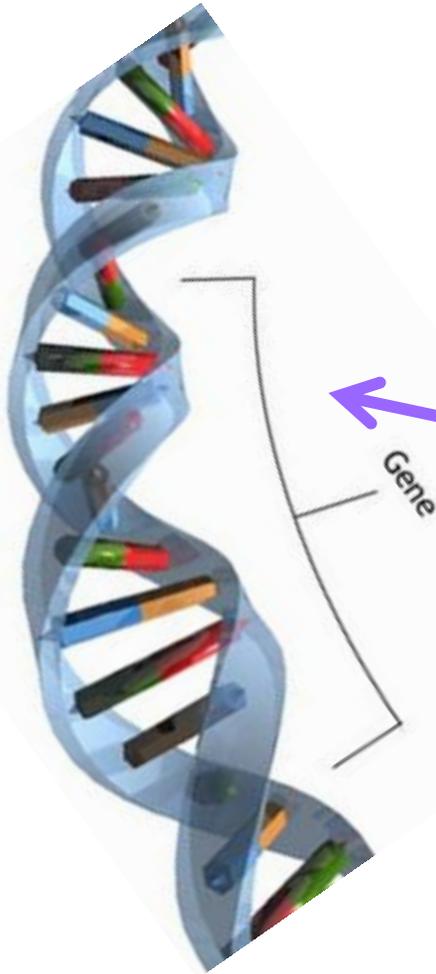
## A Localisation des gènes et des protéines dans la cellule

**Un gène** = une séquence de nucléotides



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

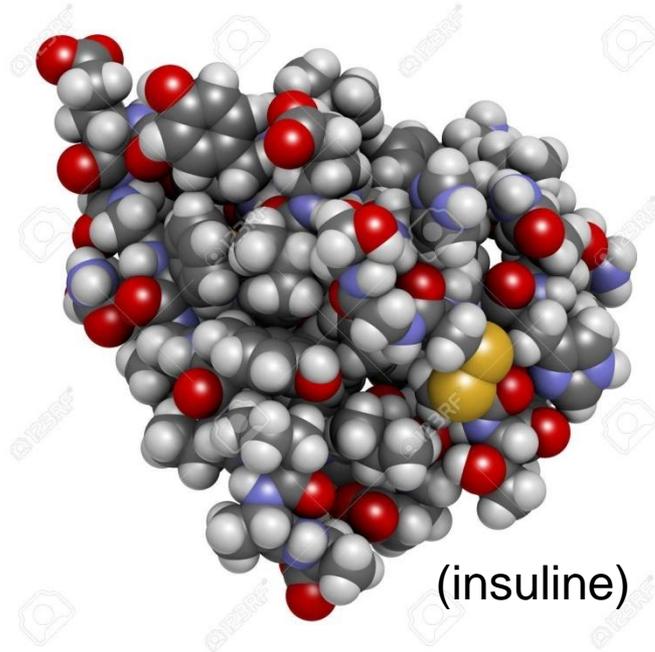
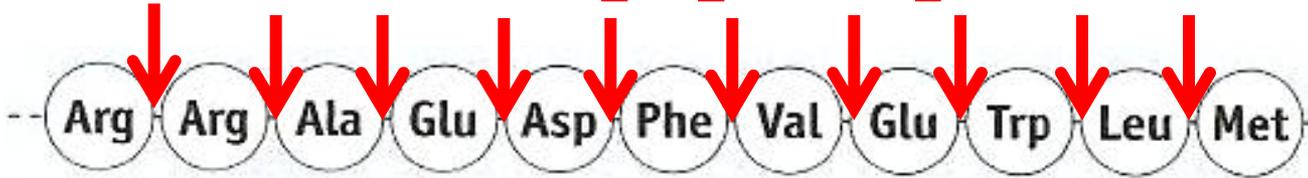
# Localisation des gènes dans la cellule



**Cellules colorées au réactif de Feulgen**

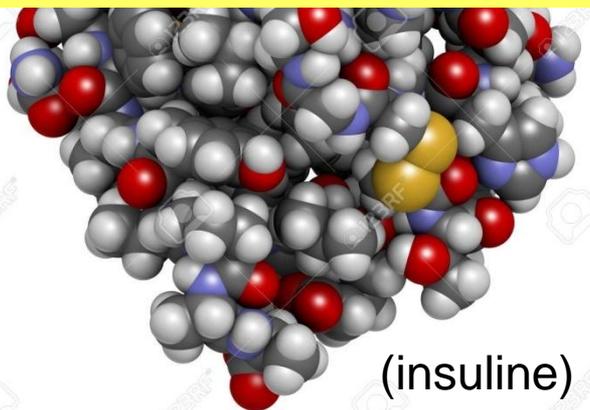
# Les **protéines** : un assemblage d'acides aminés

## Liaisons peptidiques



# Les **protéines** : un assemblage d'acides aminés

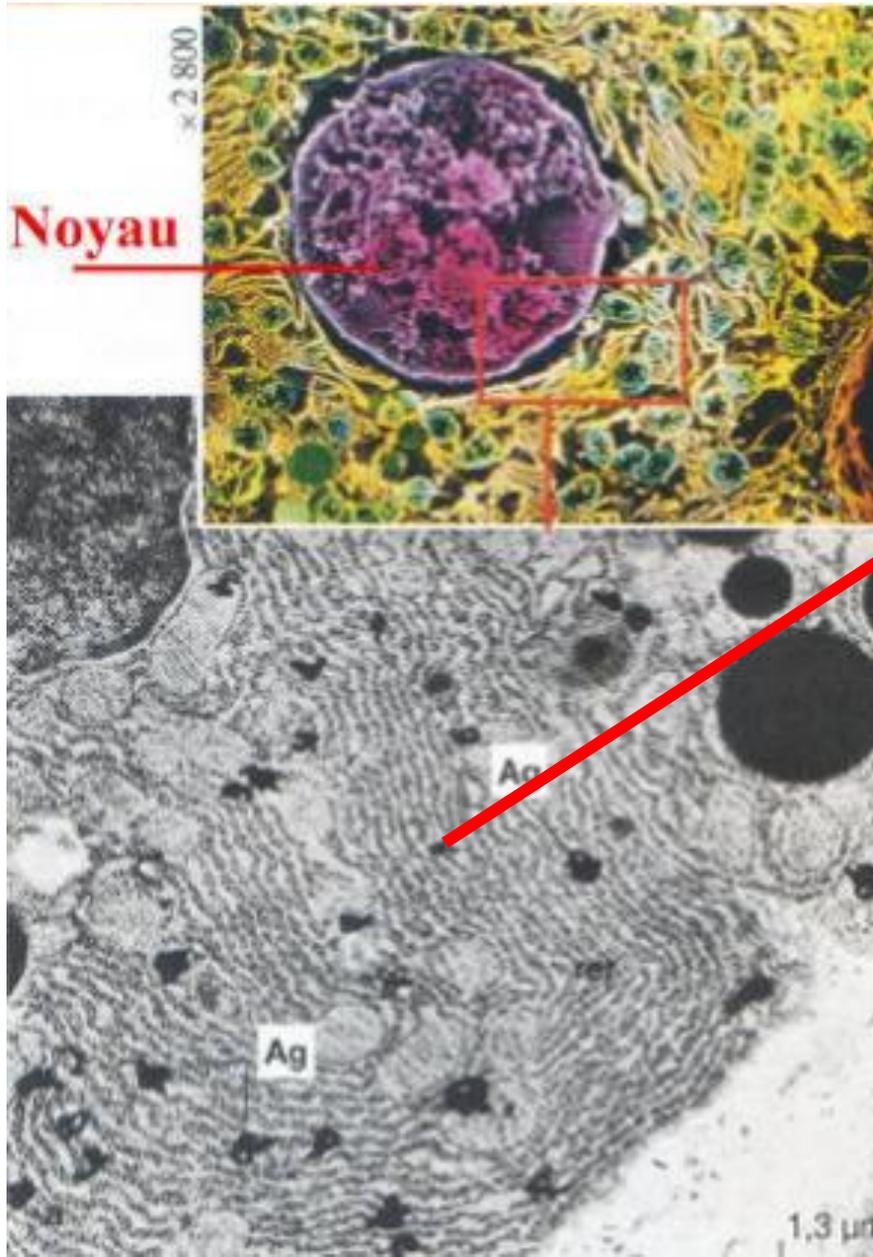
Une protéine est constituée d'une succession d'Acides Aminés



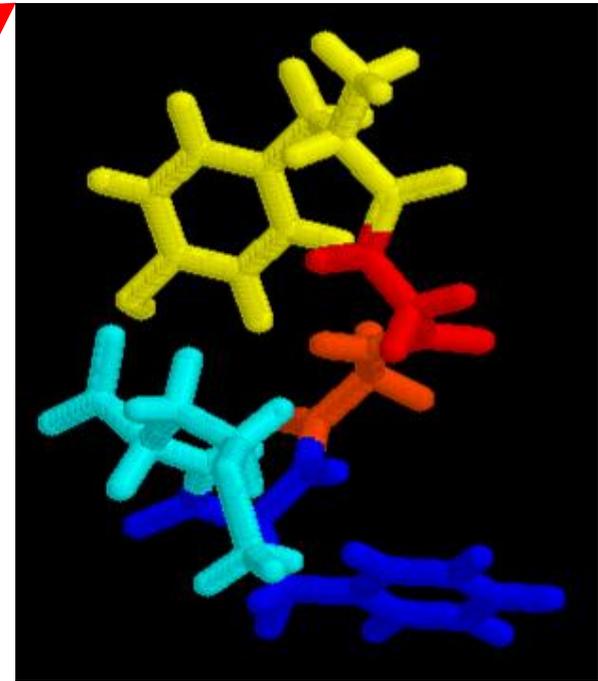
## Liste des 20 acides aminés

acide aspartique	ASP	D
acide glutamique	GLU	E
alanine	ALA	A
arginine	ARG	R
asparagine	ASN	N
cystéine	CYS	C
glutamine	GLN	Q
<b>glycine</b>	<b>GLY</b>	<b>G</b>
histidine	HIS	H
isoleucine	ILE	I
leucine	LEU	L
lysine	LYS	K
<b>méthionine</b>	<b>MET</b>	<b>M</b>
<b>phénylalanine</b>	<b>PHE</b>	<b>F</b>
proline	PRO	P
sérine	SER	S
thréonine	THR	T
tryptophane	TRY	W
<b>tyrosine</b>	<b>TYR</b>	<b>Y</b>
valine	VAL	V

# Localisation de la synthèse des protéines



**Protéine**



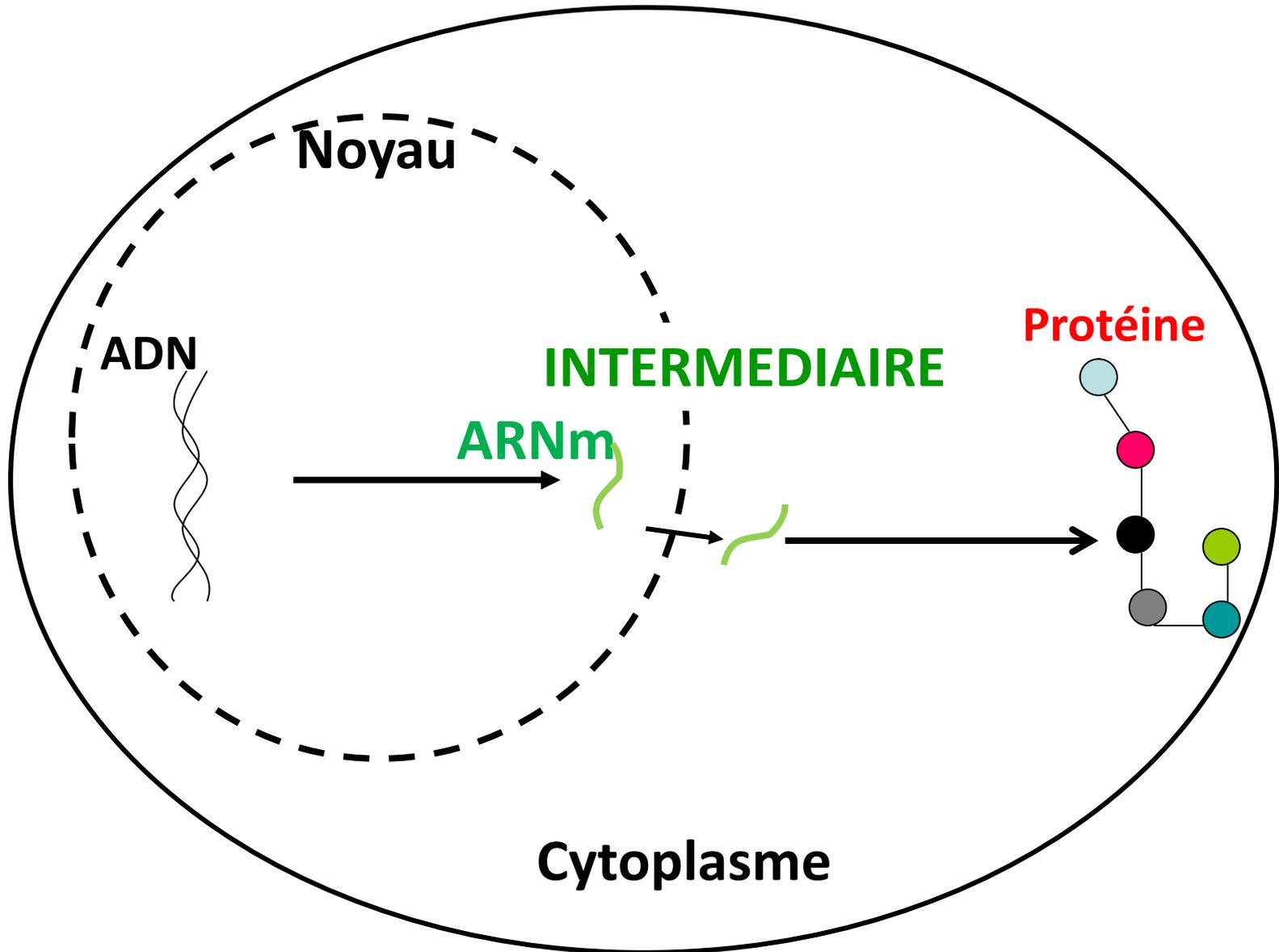
# I. La relation entre les gènes et les protéines

*Cf activité 7*

A Localisation des gènes et des protéines dans la cellule

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

# Un intermédiaire : l'ARNm



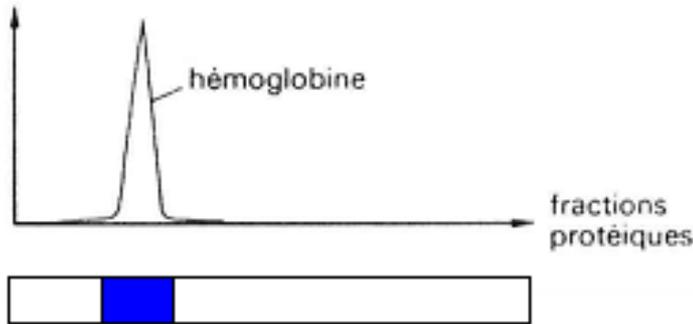
# Confirmation du rôle des ARNm

- Cellules placées en présence d'acides aminés radiomarqués
- Chromatographie et suivi de la radioactivité

Expérience A

érythroblaste

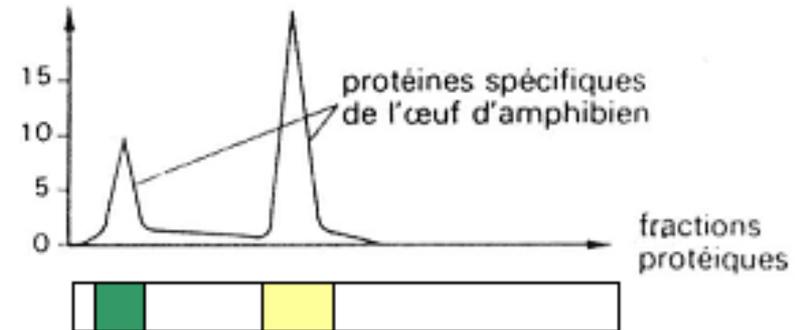
radioactivité  
(en coups par min  $\times 10^{-3}$ )



Expérience B

œuf sans ARN injecté

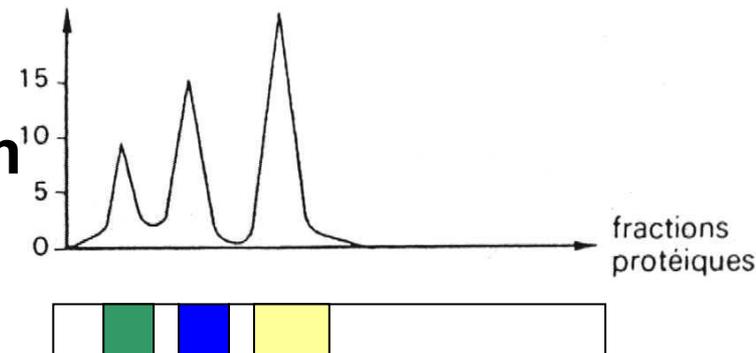
radioactivité  
(en coups par min  $\times 10^{-3}$ )



Expérience C

œuf avec ARN injecté

radioactivité  
(en coups par min  $\times 10^{-3}$ )

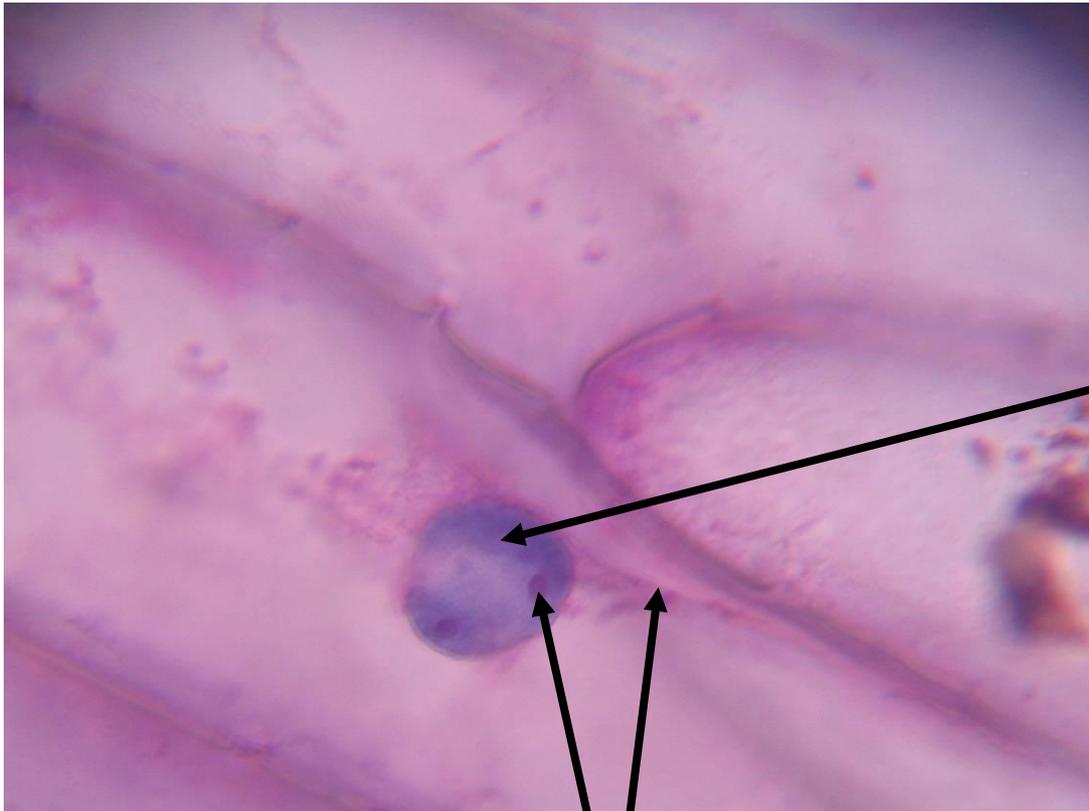


Injection d'ARNm  
extraits  
d'érythroblastes

## 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



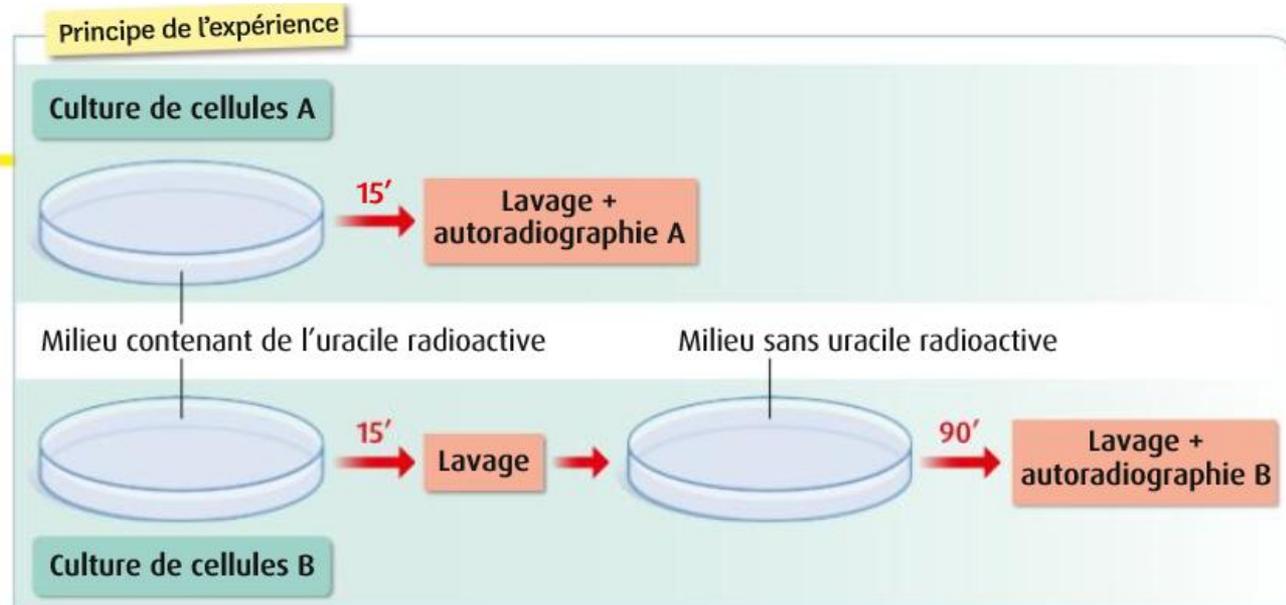
**ADN**

**ARN**

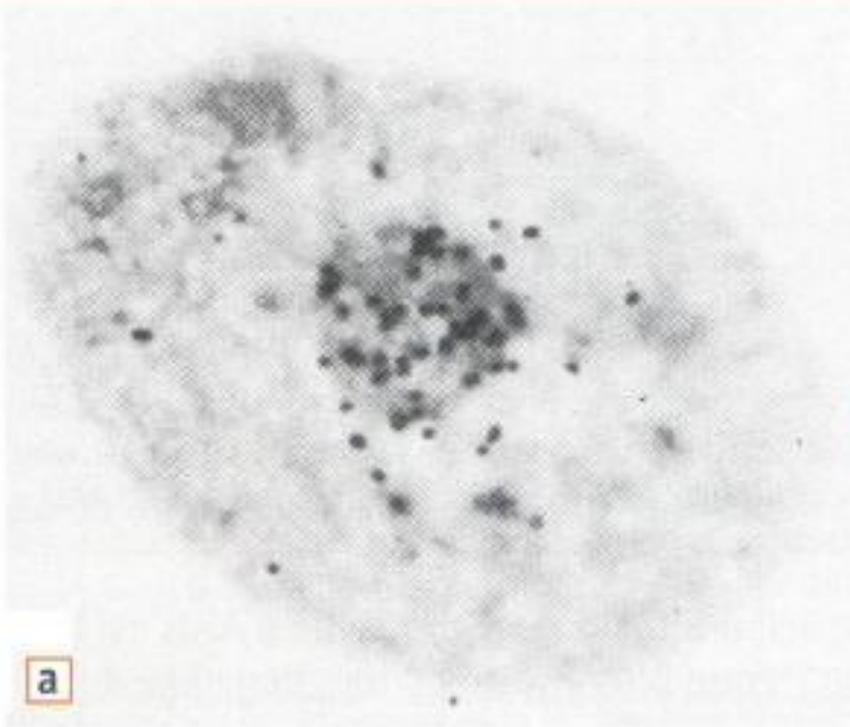
# Une expérience d'autoradiographie (1)

## Une expérience de pulse-chase 4 suivie d'autoradiographie.

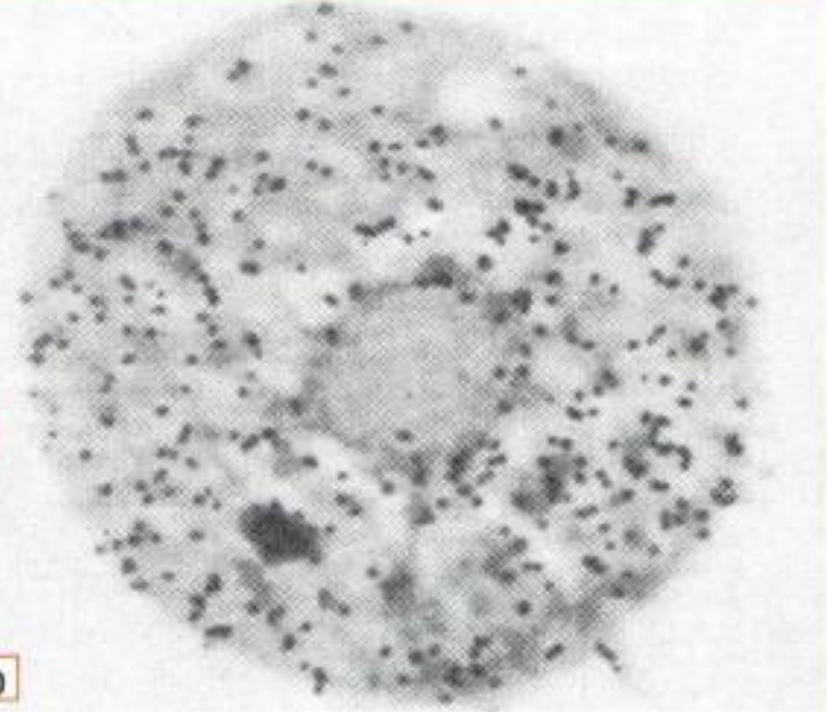
Ce type d'expérience a été effectué dans les années 1960. En fin d'expérience, chaque culture est photographiée à l'aide d'une plaque sensible à la radioactivité (autoradiographie). Là où l'uracile radioactive a été incorporée dans des molécules, on observe des grains noirs sur la photographie.



# Une expérience d'autoradiographie (2)

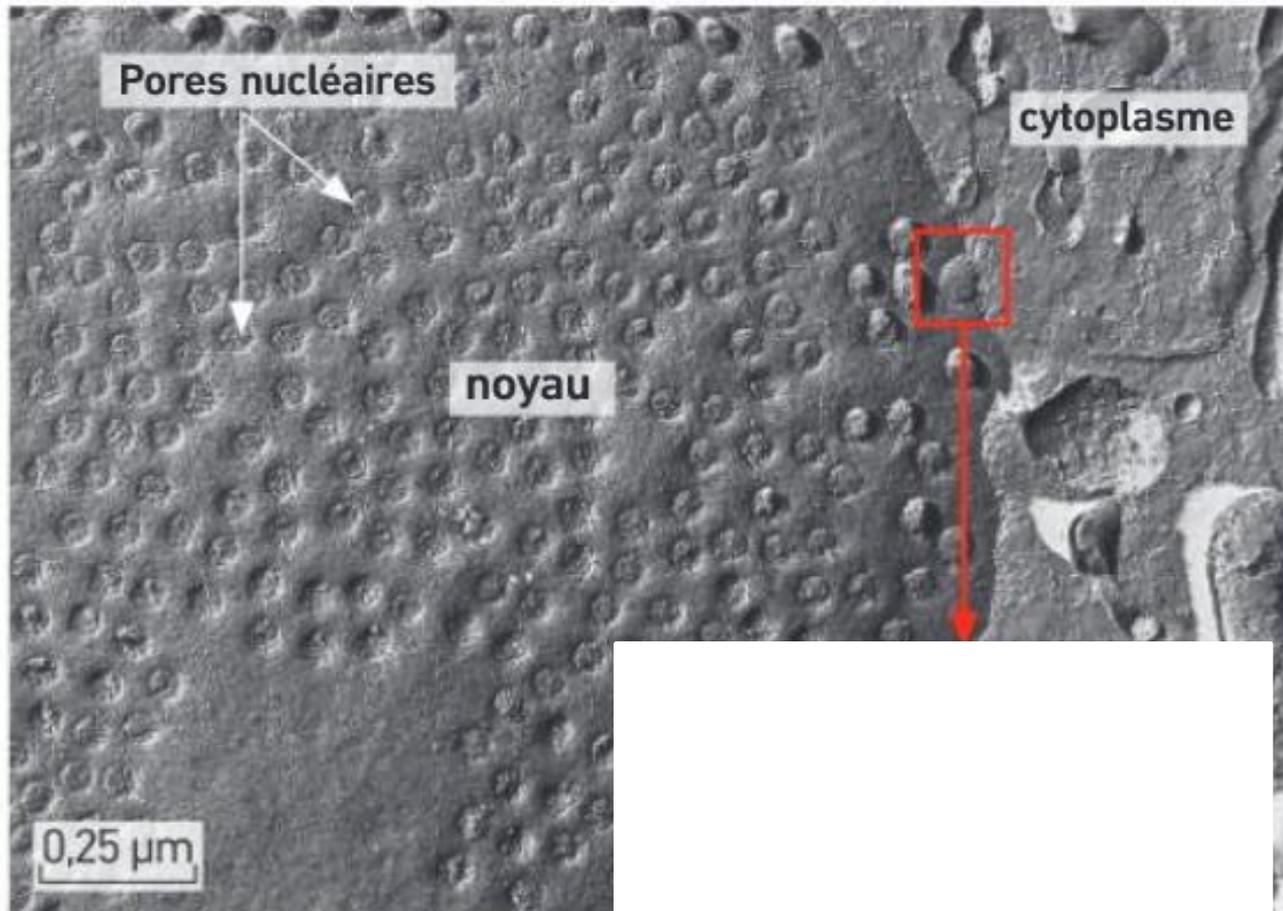


Cellule cultivée pendant 15 min sur un milieu contenant le précurseur radioactif de l'ARN.



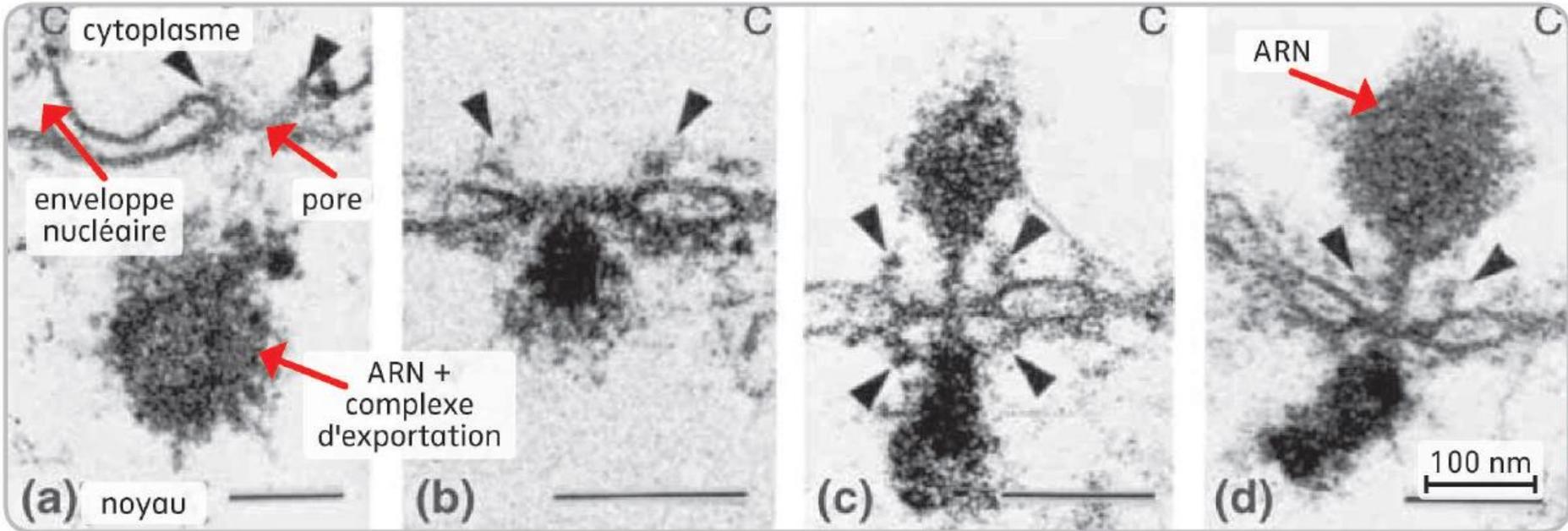
Cellule cultivée pendant 15 min sur un milieu contenant le précurseur radioactif de l'ARN, puis une heure et demie sur un milieu contenant des précurseurs non radioactifs.

# Enveloppe nucléaire (MEB)

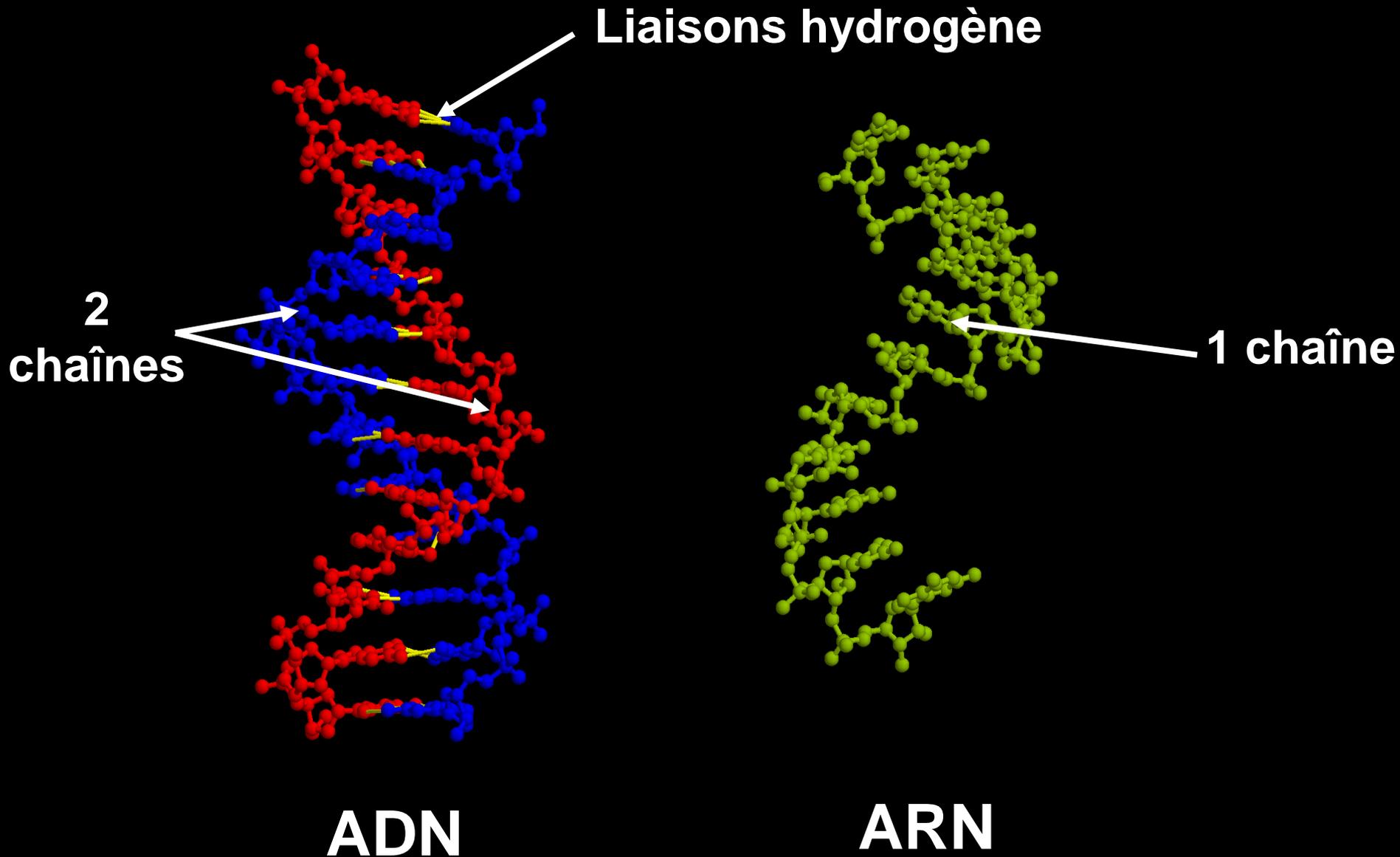


**D** Détail de l'enveloppe nucléaire (observation au MEB après cryodécapage\*) et détail observé au MET\*.

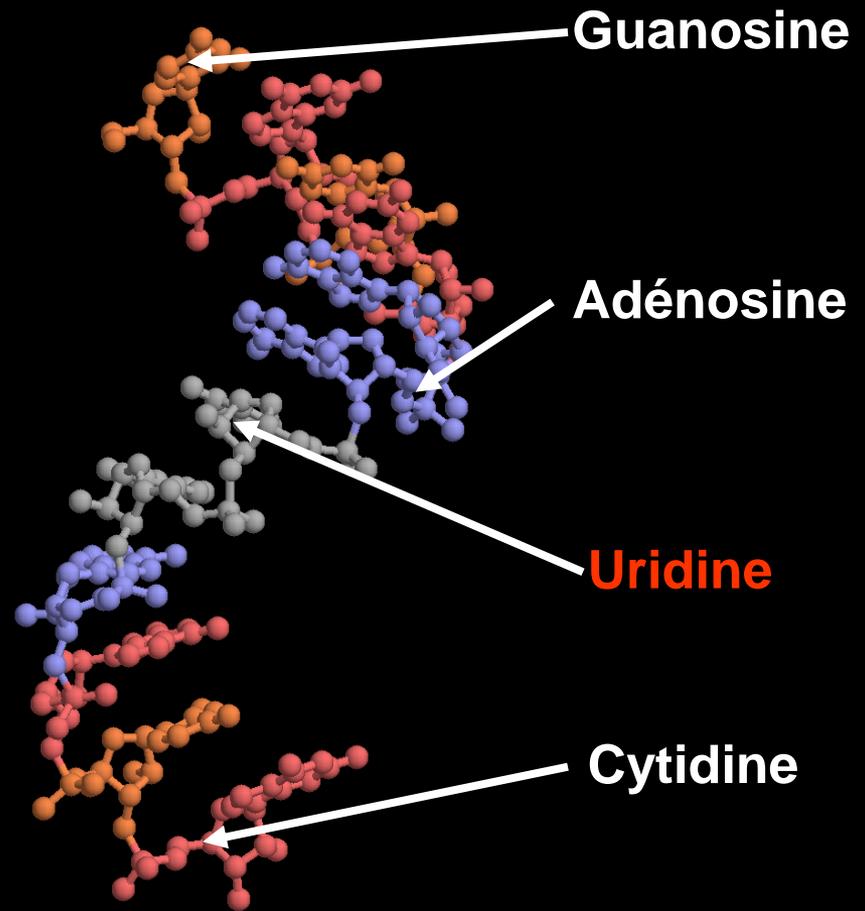
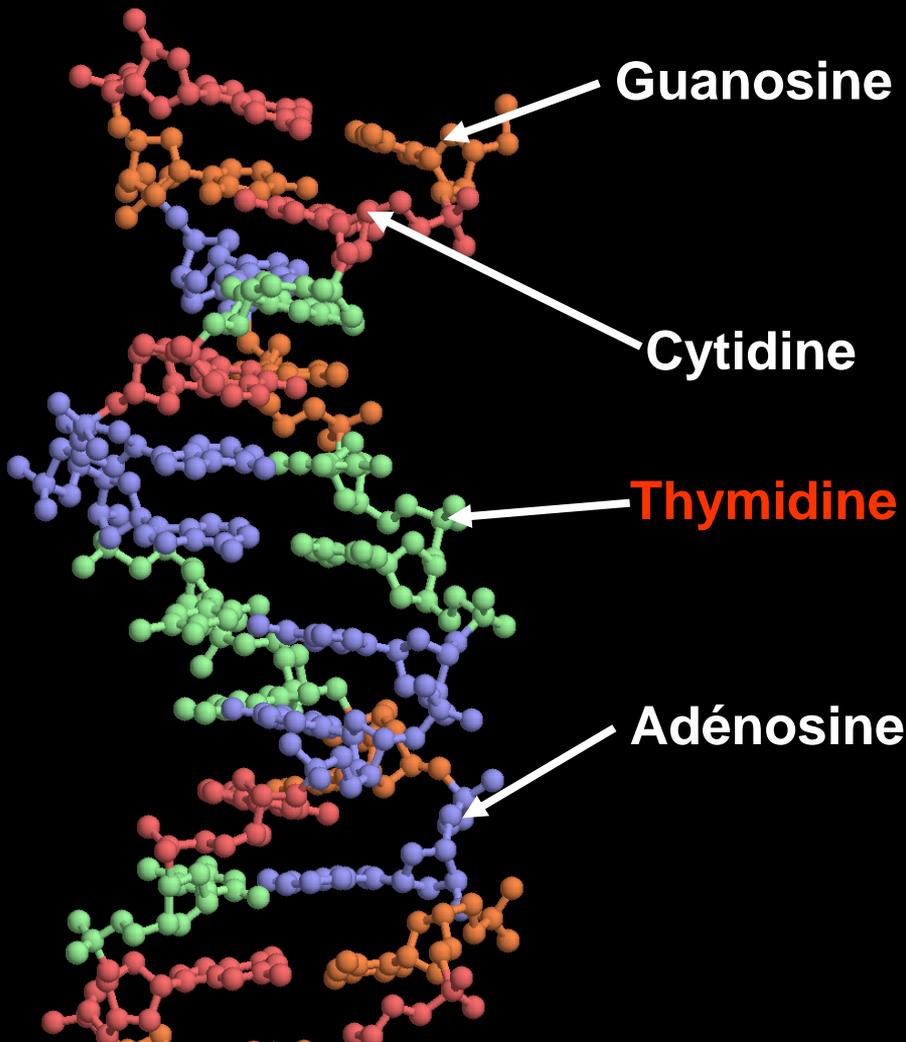
# Electronographies du transfert de l'ARN (MET)



# Comparaison ADN / ARN



- 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

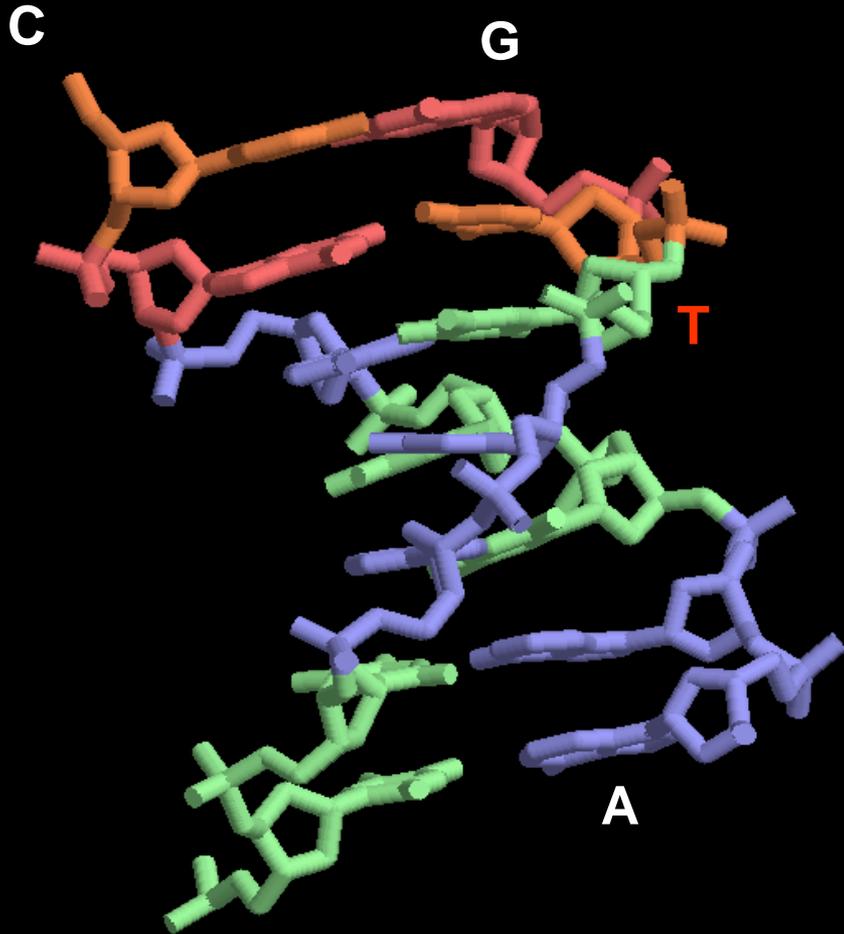


Même système de codage de l'information

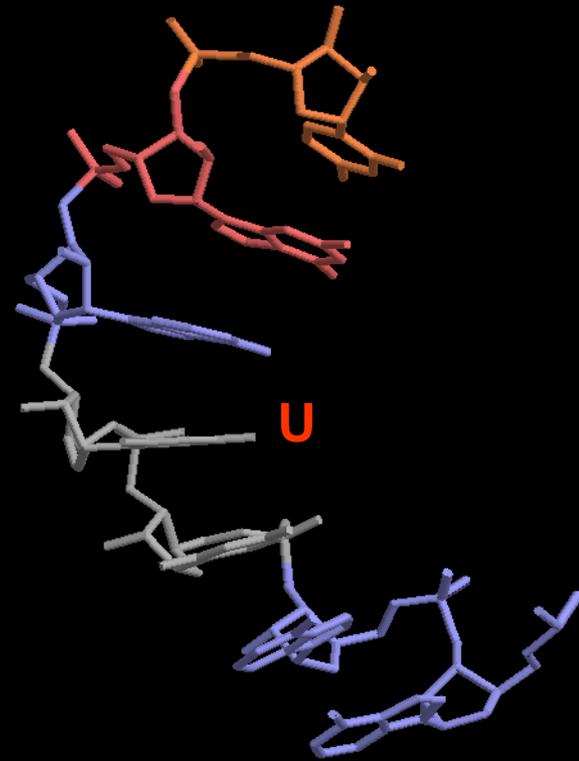
**ADN**

**ARN**

# Comparaison ADN / ARN

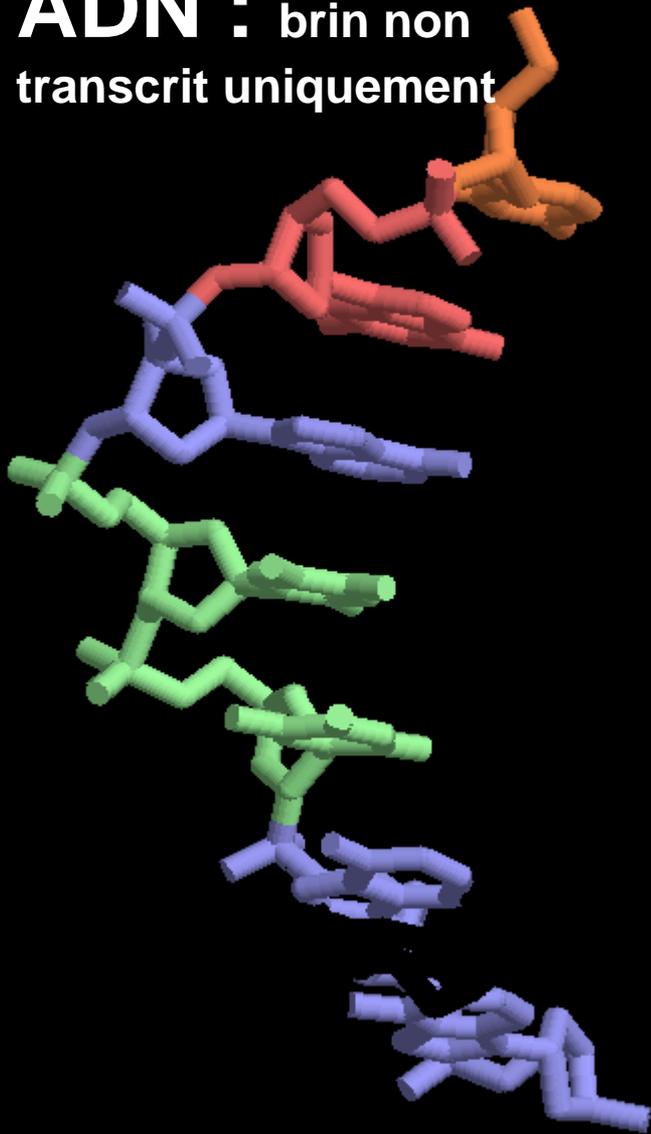


**ADN**



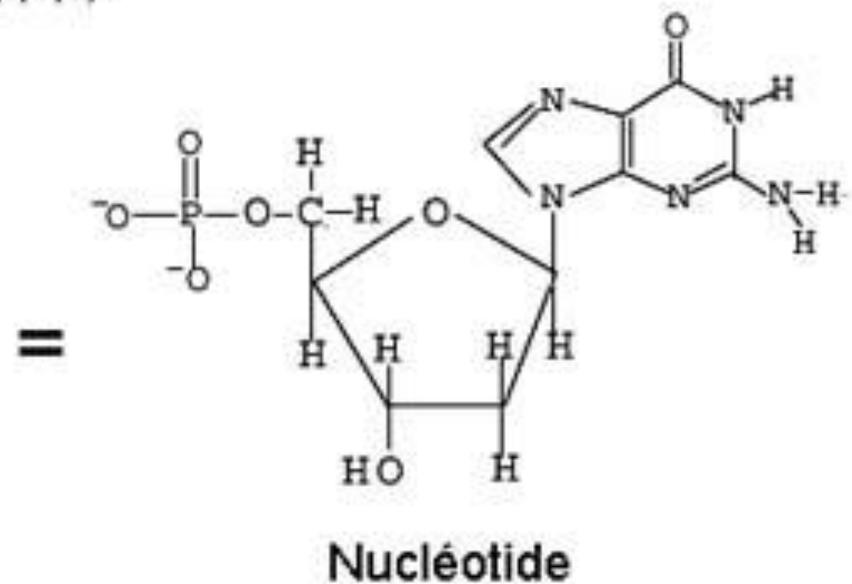
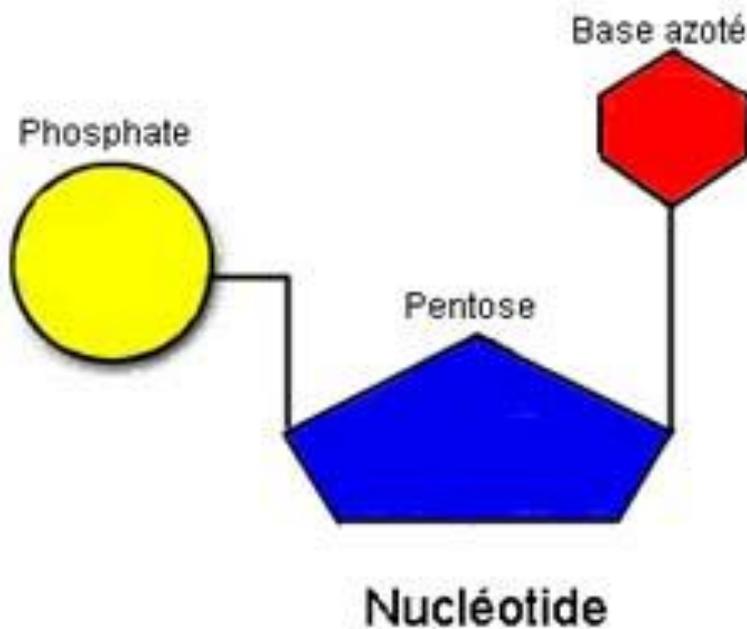
**ARN**

**ADN** : brin non  
transcrit uniquement



**ARN**





Nom du nucléotide	Nom de la base azotée
Adénosine	Adénine
Thymidine	Thymine
Uridine	Uracile
Guanosine	Guanine
Cytidine	Cytosine

# 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 AAGGCCGCCCTGGGGCAAGGTTGGCC				
Alpha brin2		0	TACCACGACAGAGGACGGCTGTTCTGGTTGCAGTTC CGGGCGGACCCCGTTCCAACCGC				

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

		0	10	20	30	40	50
Traitement		0	Comparaison simple de séquences d'ARN				
Alpha brin1		0	ATGGTGCTGTCTCCTGCCGACAAGACCAACGTC AAGGCCGCCCTGGGGCAAGGTTGGCC				
Alpha ARNm codé		0	U - U - U - U - U - - - - - U - - - - - U - - - - - UU				

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

# 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 AAGGCCGCCCTGGGGCAAGGTTGGCC				
Alpha brin2		0	TACCACGACAGAGGACGGCTGTTCTGGTTGCAGTTC CGGGCGGACCCCGTTCCAACCGC				

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

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

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

		0	10	20	30	40	50
Traitement		0	Comparaison simple de séquences d'ARN				
Alpha brin2		0	TACCACGACAGAGGACGGCTGTTCTGGTTGCAGTTC CGGGCGGACCCCGTTCCAACC				
Alpha ARNm codé		0	AUGGUGCUGUCUCCUGCCGACAAGACCAACGUC AAGGCCGCCCUGGGGCAAGGUUGG				

# 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

Gène (ADN)



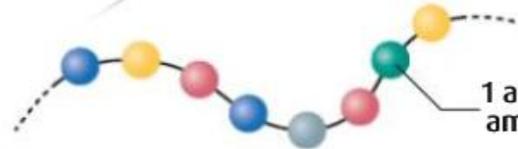
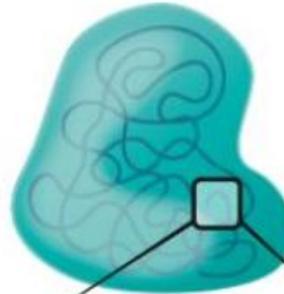
ARNm



- Succession ordonnée de nucléotides = SÉQUENCE
- 4 nucléotides possibles

CODE GÉNÉTIQUE

▶ protéine



1 acide aminé

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

**1** La notion de **code génétique**. À la fin des années 1950, les biologistes savent que les protéines sont faites d'un assemblage d'acides aminés. Ils cherchent à comprendre le code génétique, c'est-à-dire le système qui fait correspondre une succession ordonnée de nucléotides sur l'ARNm d'un gène et une succession ordonnée d'acides aminés sur la protéine qu'il code.

# Correspondance ADN / Protéine

## Comparaison simple

	1	10	20	30	40	50
Traitement	Comparaison simple de séquences d'ADN					
Allèle normal	ATGGTGCACCTGACTCCTGAGGAGAAGTCTGCCGTTACTGCCCTGTGGGGCAAGGTG					
Allèle Drep.	-----T-----					
Allèle Hem. C	-----A-----					
Traitement	Comparaison simple de séquences peptidiques					
Globine normale	MetValHisLeuThrProGluGluLysSerAlaValThrAlaLeuTrpGlyLysVal					
Globine Drep.	- - - - - Val- - - - -					
Globine Hem. C	- - - - - Lys- - - - -					

■ Comparaison de la séquence des nucléotides de trois allèles codant pour la globine  $\beta$  et des séquences d'acides aminés correspondantes.

# Correspondance ARN / Protéine

ADN / ARN :

Séquence de nucléotides  
(4 types)



Protéine :

Séquences d'acides aminés  
(20 acides aminés différents)

~~Si 1 nucléotide → 1 Acide Aminé~~

**=> 4 possibilités**

~~Si 2 nucléotides → 1 Acide Aminé~~

**=> 4x4=16 possibilités**

Si 3 nucléotides → 1 Acide Aminé

**=> 4x4x4=64 possibilités**

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

# 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	CGU	U	
		CUC	CCC	CAC	CGC	C	
		CUA	CCA	CAA	CGA	A	
		CUG	CCG	CAG	CGG	G	
	A	AUU	ACU	AAU	AGU	U	
		AUC	ACC	AAC	AGC	C	
		AUA	ACA	AAA	AGA	A	
		AUG	ACG	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

sérine

tyrosine

cystéine

leucine

codon(s) stop

codon(s) stop

tryptophane

leucine

proline

CCA

isoleucine

thréonine

asparagine

sérine

méthionine

lysine

arginine

valine

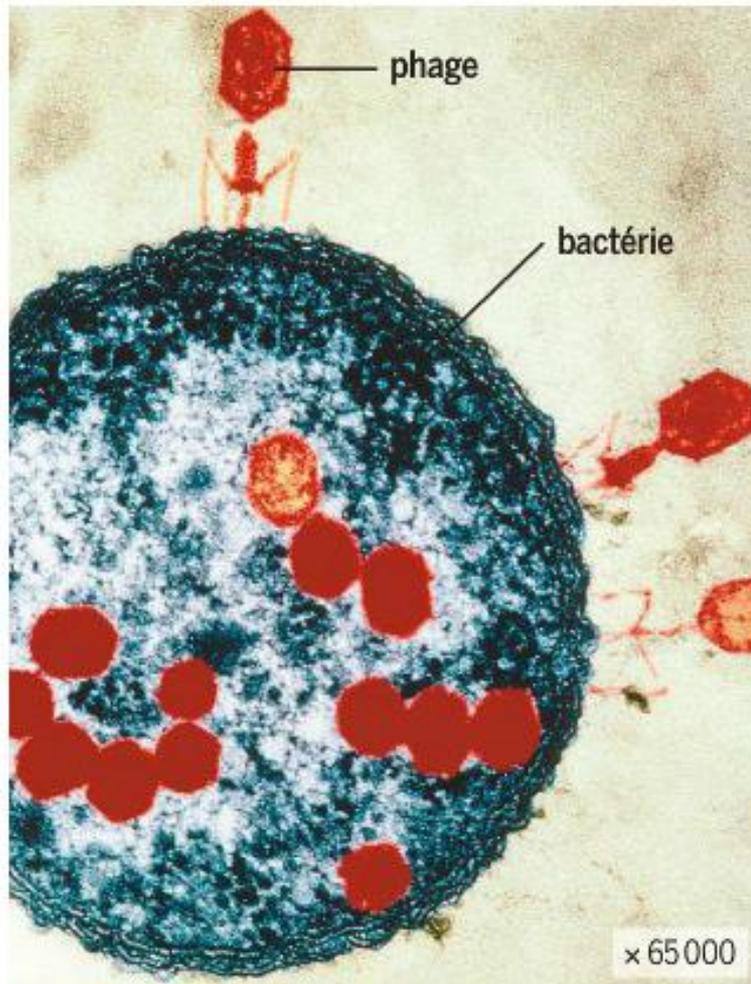
alanine

acide aspartique

glycine

acide glutamique

# Des expériences qui ont permis de casser le code génétique



Les phages sont des **virus** qui infectent des bactéries et s'y multiplient (*photographie ci-contre*), ce qui aboutit à la destruction de ces dernières.

En 1961, Crick et son équipe ont obtenu, en utilisant des **agents mutagènes**, divers phages portant des mutations par addition ou délétion sur un gène impliqué dans l'infection des bactéries. Ces phages ont été classés en fonction du nombre de nucléotides supprimés ou ajoutés dans le gène. Crick a alors recherché une relation avec le caractère infectieux du phage ainsi muté.

Mutations	Virulence
addition d'un nucléotide	non infectieux
addition de deux nucléotides	non infectieux
addition de trois nucléotides	infectieux
addition de quatre nucléotides	non infectieux
addition de six nucléotides	infectieux
délétion d'un nucléotide	non infectieux
addition et délétion d'un nucléotide	infectieux
délétion de trois nucléotides	infectieux

**Remarque :** Crick suppose que, si une mutation ne modifie qu'un ou deux acides aminés, la protéine impliquée dans l'infection reste fonctionnelle.

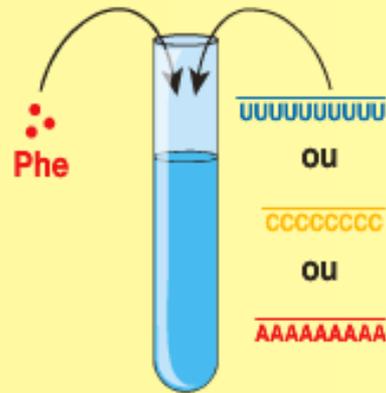
**Doc. 1** La taille des « mots » du langage génétique.

# Des expériences qui ont permis de casser le code génétique

En 1961, Nirenberg parvient à préparer un extrait de bactéries contenant les constituants indispensables à la synthèse de protéines. En utilisant ces extraits, il réalise une série d'expériences visant à déterminer la relation entre la séquence d'un ARN et la composition de la protéine formée.

## ■ PROTOCOLE A

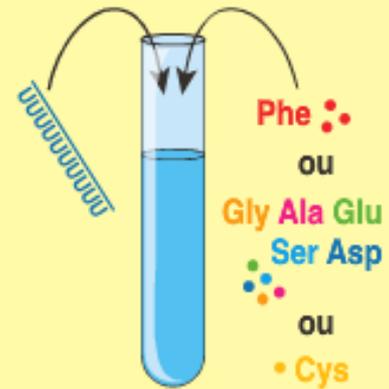
- La phénylalanine est le seul acide aminé ajouté au milieu de réaction.
- Un ARN de synthèse différent est testé dans chaque expérience : poly-U, poly-A ou poly-C.
- Au bout de 30 minutes, les protéines formées sont analysées.



ARN ajouté	Présence de Phe dans les protéines (unité relative)
Poly-U (UUUU...)	904
Poly-A (AAAA...)	1,1 (négligeable)
Poly-C (CCCC...)	0,9 (négligeable)

## ■ PROTOCOLE B

- Le seul ARN présent dans le milieu de réaction est un poly-U.
- Des acides aminés différents sont testés dans chaque expérience.
- Au bout de 30 minutes, les protéines formées sont analysées.



Acides aminés ajoutés	Présence de ces acides aminés dans les protéines (unité relative)
Phe	563
Gly, Ala, Ser, Asp, Glu	1,6 (négligeable)
Cys	1,2 (négligeable)

**Doc. 2** La signification des « mots » du langage génétique.

# Chapitre 4 : L'expression du patrimoine génétique

## I. La relation gènes/protéines

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

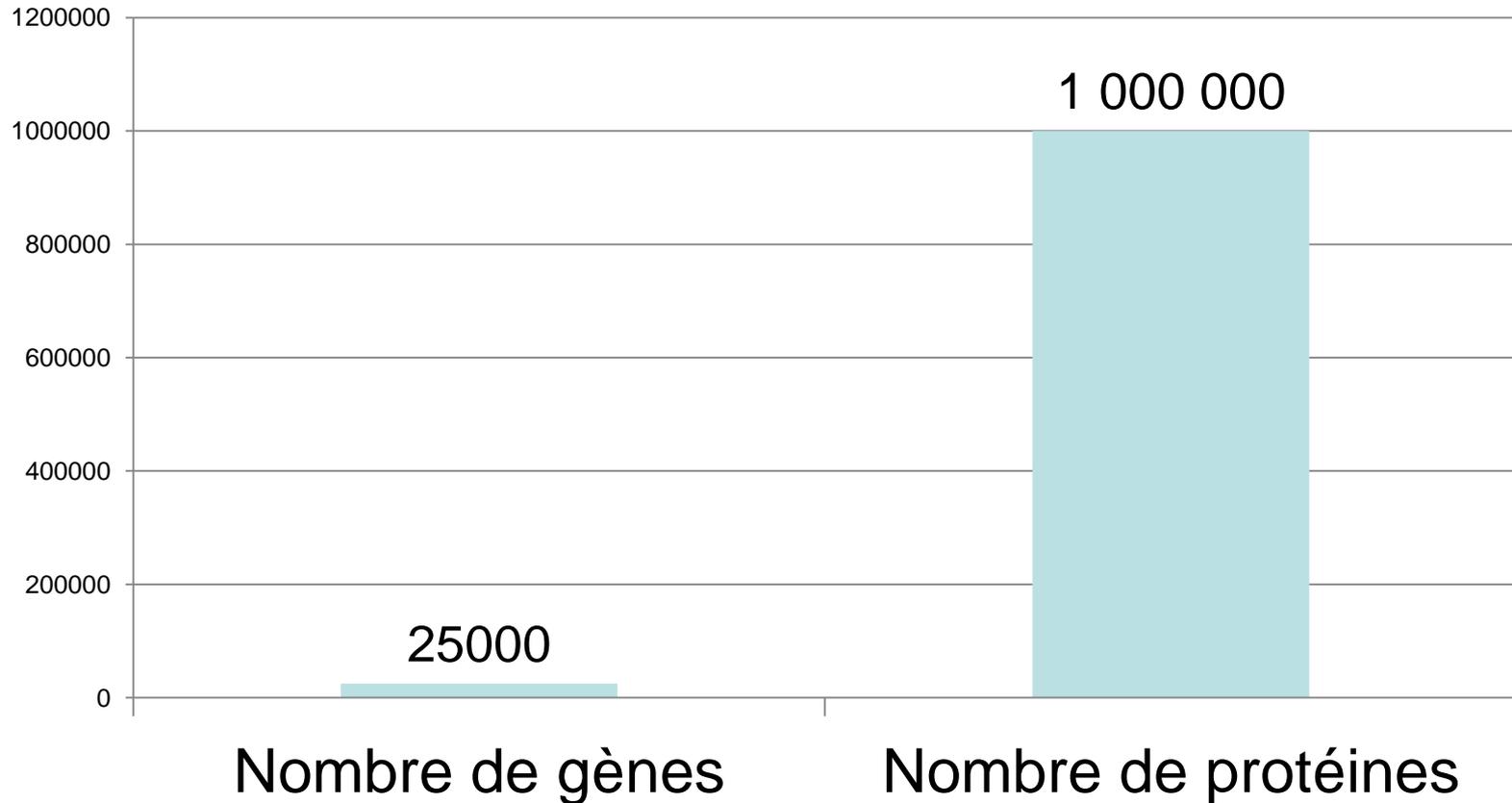
B) L'ARNm, un intermédiaire entre le noyau et le cytoplasme

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

## II. La synthèse des protéines

*Cf activité 8*

# Génome = protéome ???

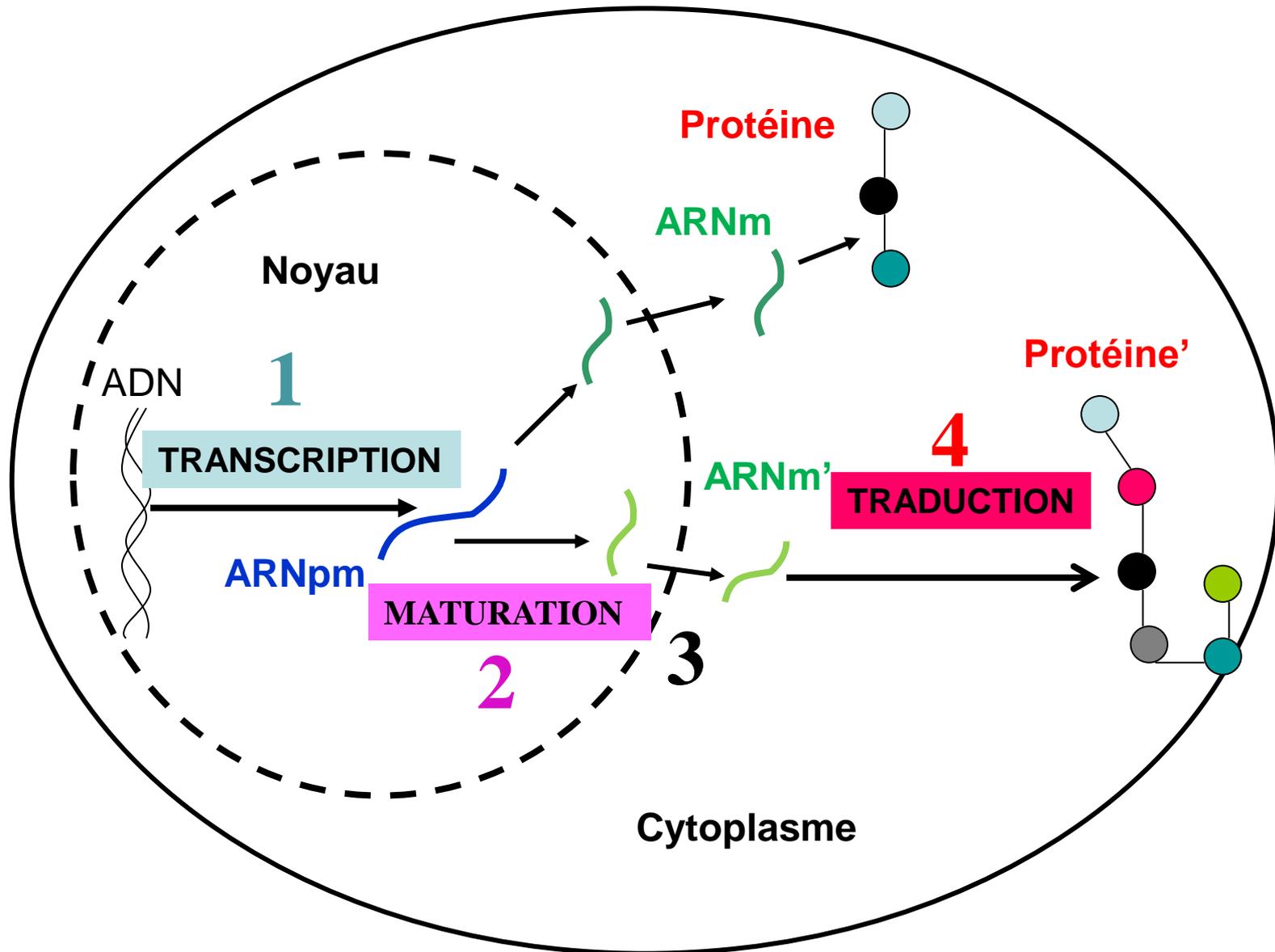


Graphique présentant le nombre moyen de gènes et de protéines chez l'Homme

## **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.

# 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.

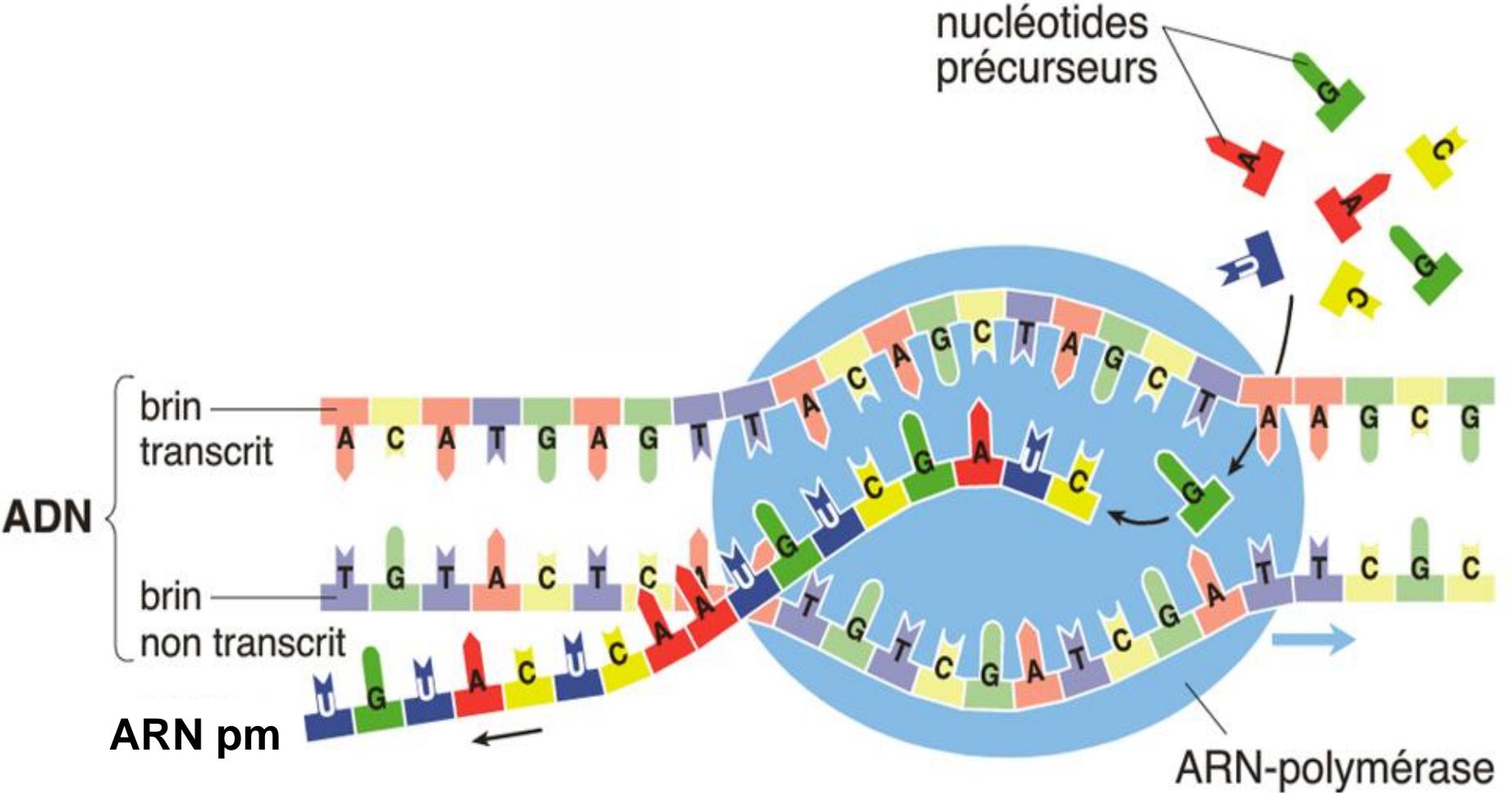
# La synthèse des protéines

Chargement en cours, veuillez patienter

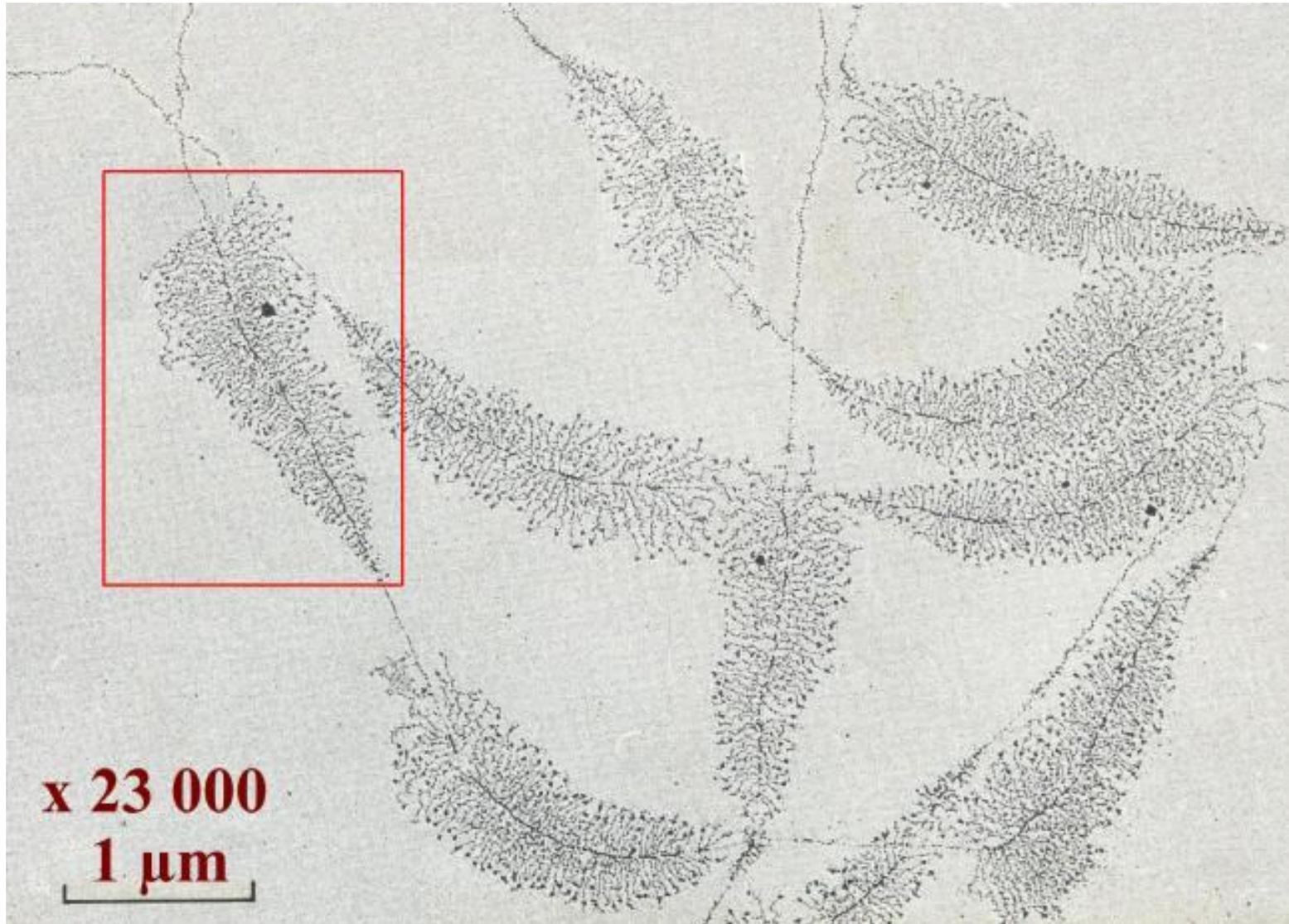
Chargement...



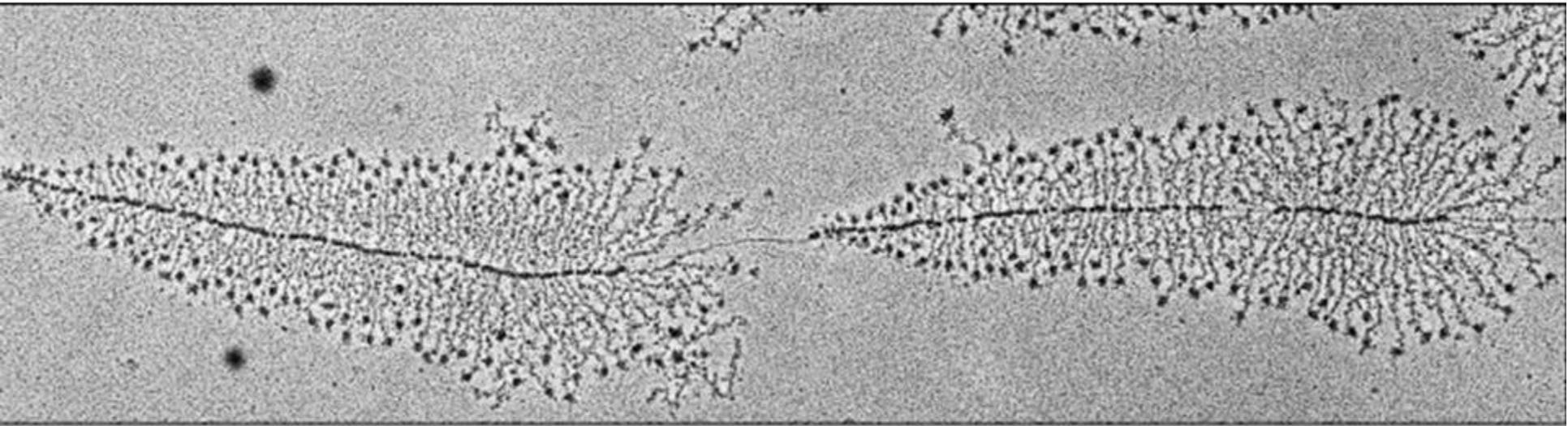
# La transcription



# La transcription, électronographie



# La transcription, électronographie



1  $\mu\text{m}$

# Chapitre 4 : L'expression du patrimoine génétique

## I. La relation gènes/protéines

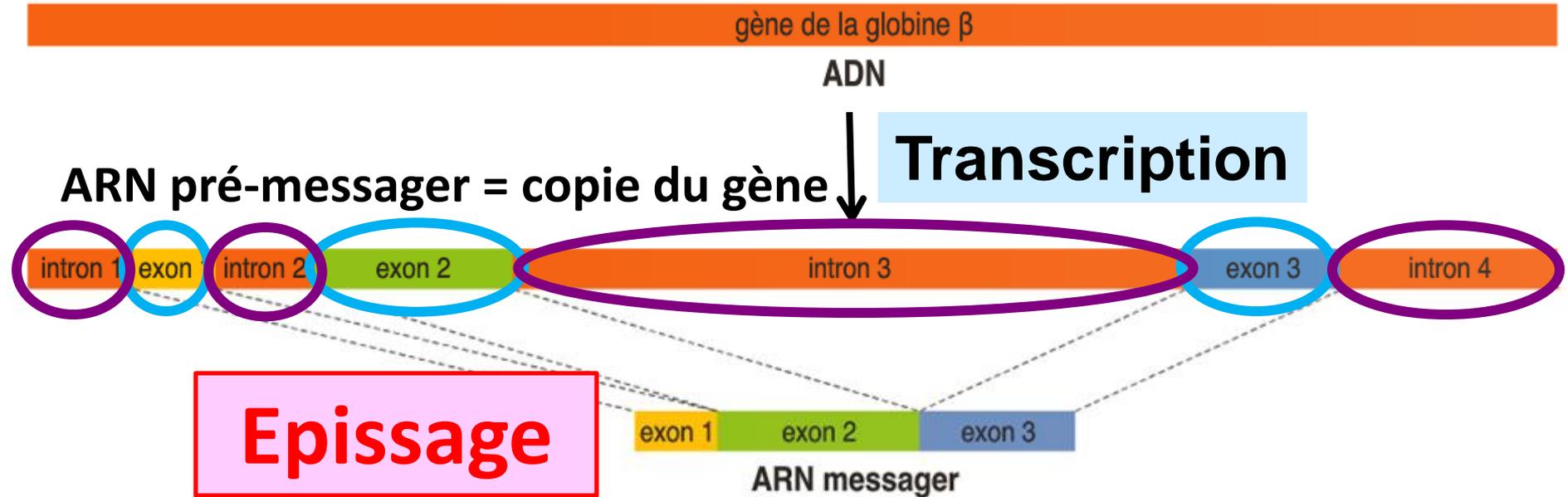
- A. Localisation des gènes et des protéines dans la cellule.
- B) L'ARNm, un intermédiaire entre le noyau et le cytoplasme
- C) Le code génétique, un système de correspondance ARN/protéines

## II. La synthèse des protéines

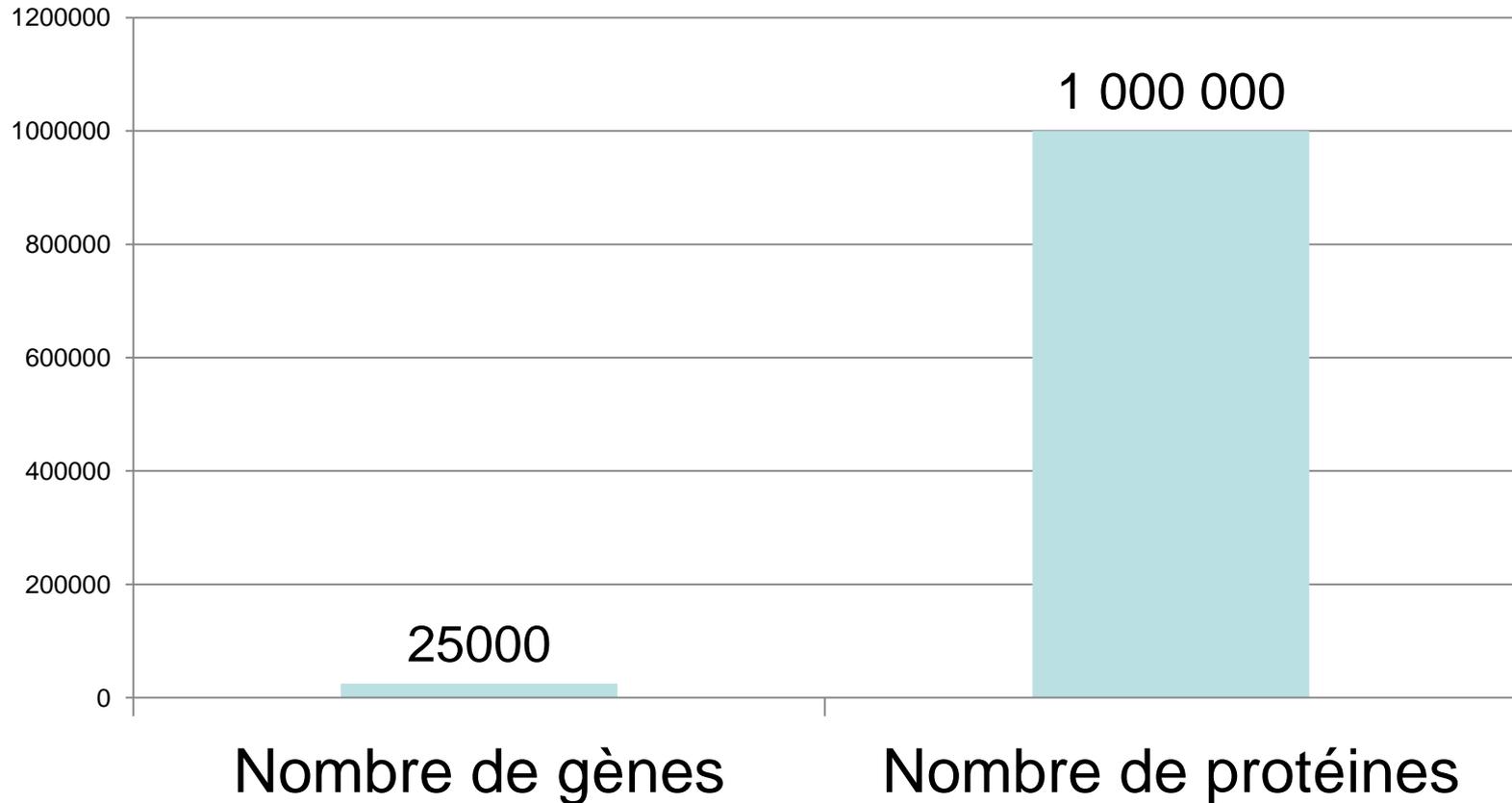
- A. La transcription : fabrication de l'ARN pré-messager.

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

# 1. Le gène **morcelé** des eucaryotes

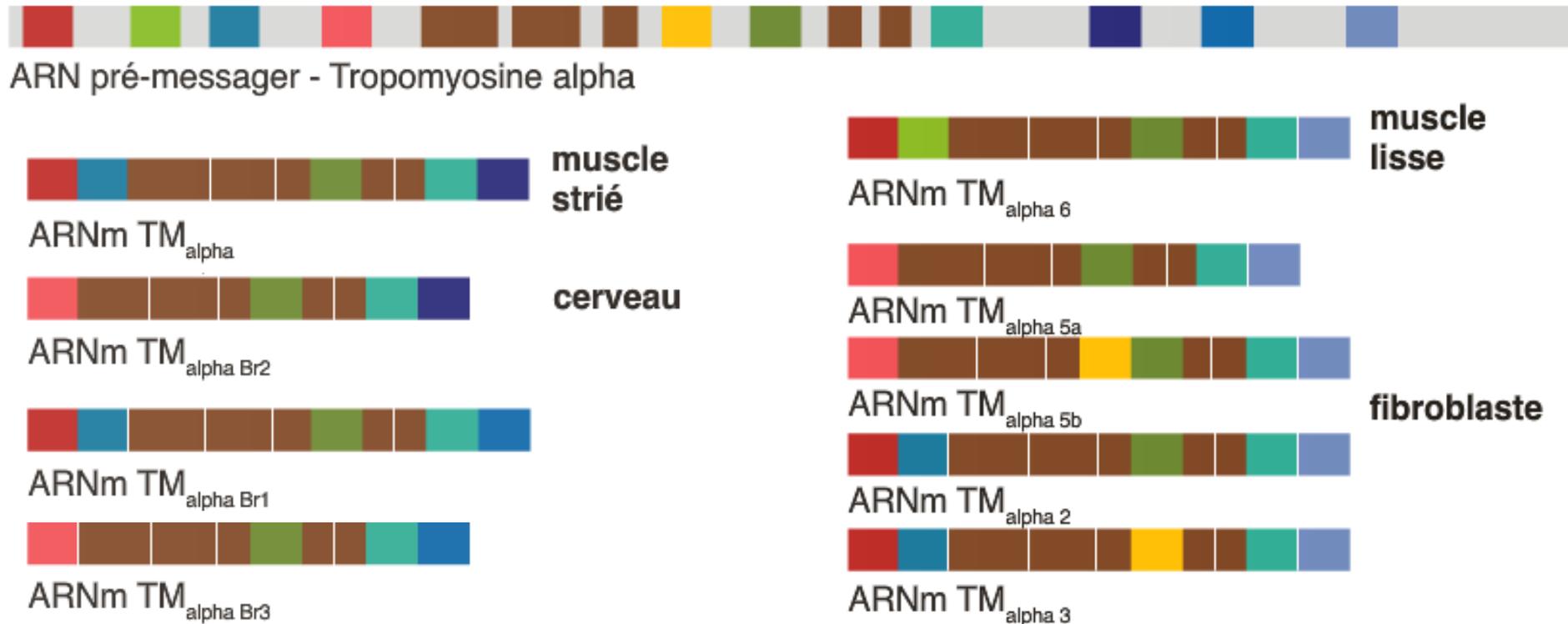


# Génome = protéome ???



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

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

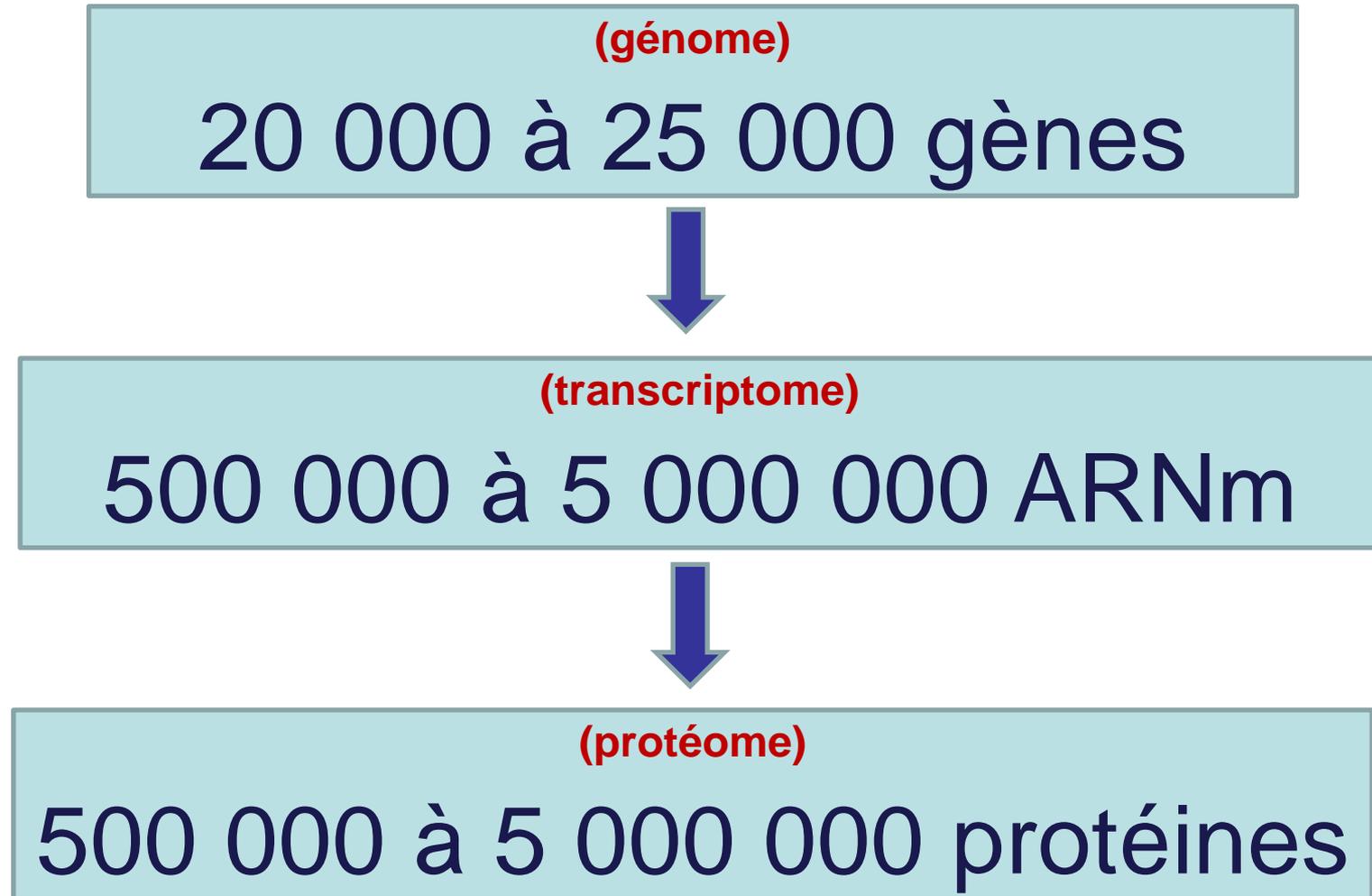


Epissage **alternatif** =>

9 ARNm possibles à partir d'un même ARN pm

Un gène → 9 protéines

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



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

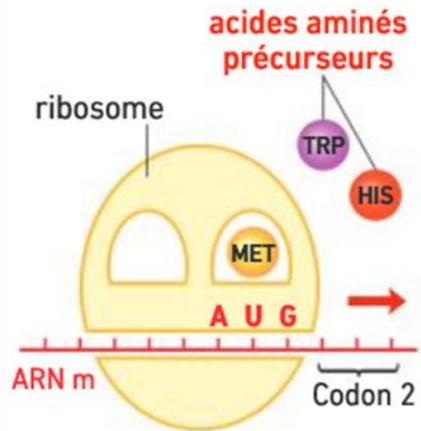
## C. Traduction des ARN messagers en protéines.

La synthèse  
des protéines

Changement en son rôle avec l'âge

Changement

# Les étapes de la **traduction**



## INITIATION

Début de la traduction au niveau  
du codon initiateur : AUG

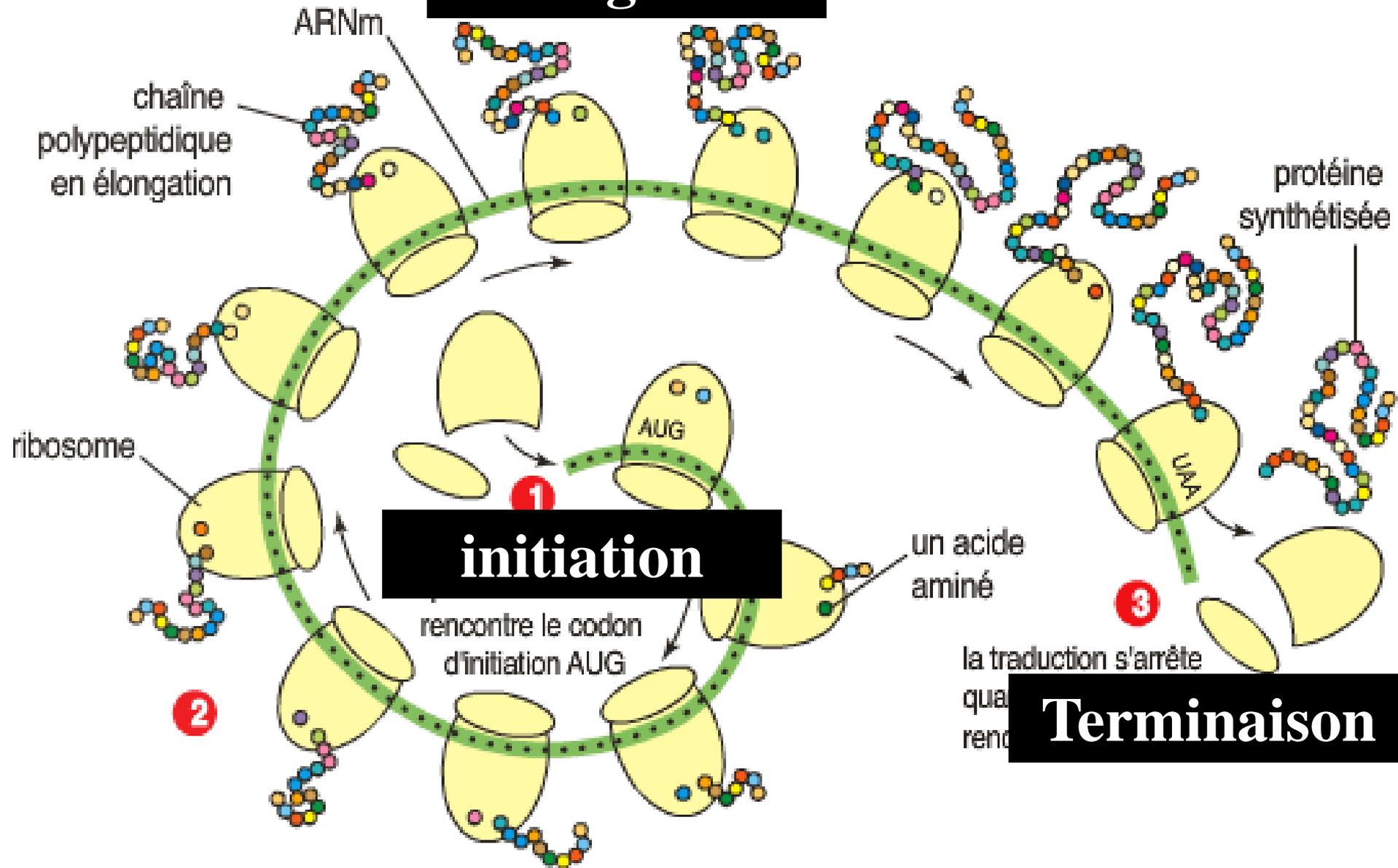
- Déplacement du ribosome
- Étape suivante

# Les étapes de la **traduction**

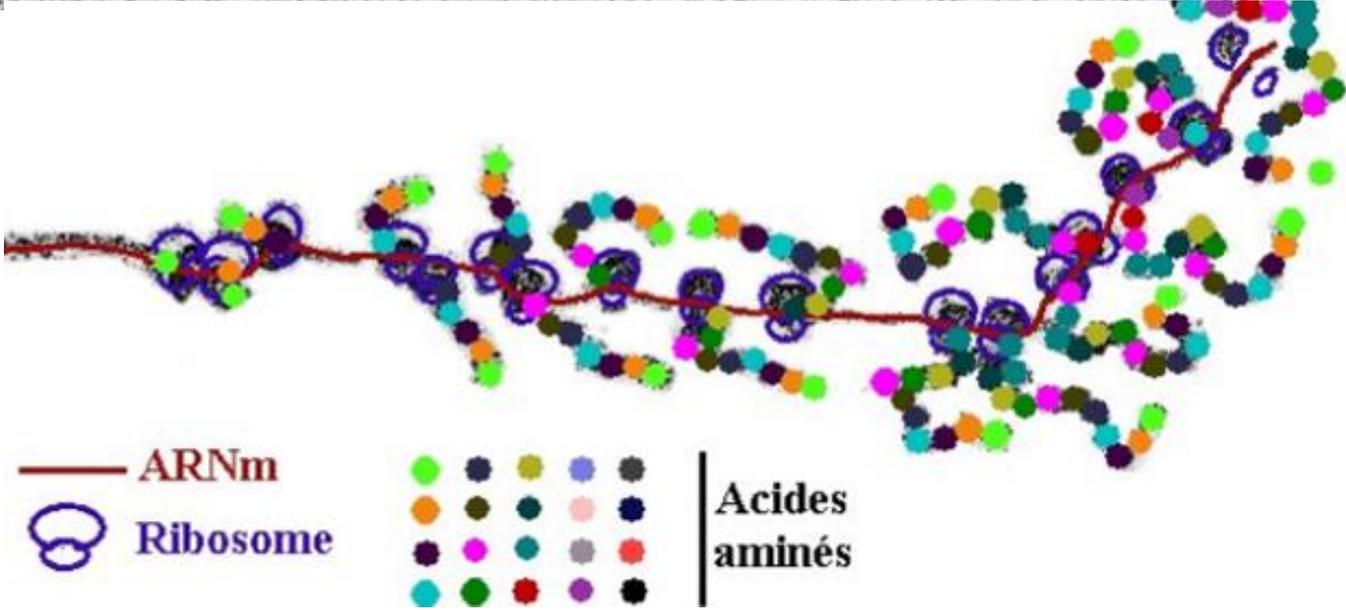
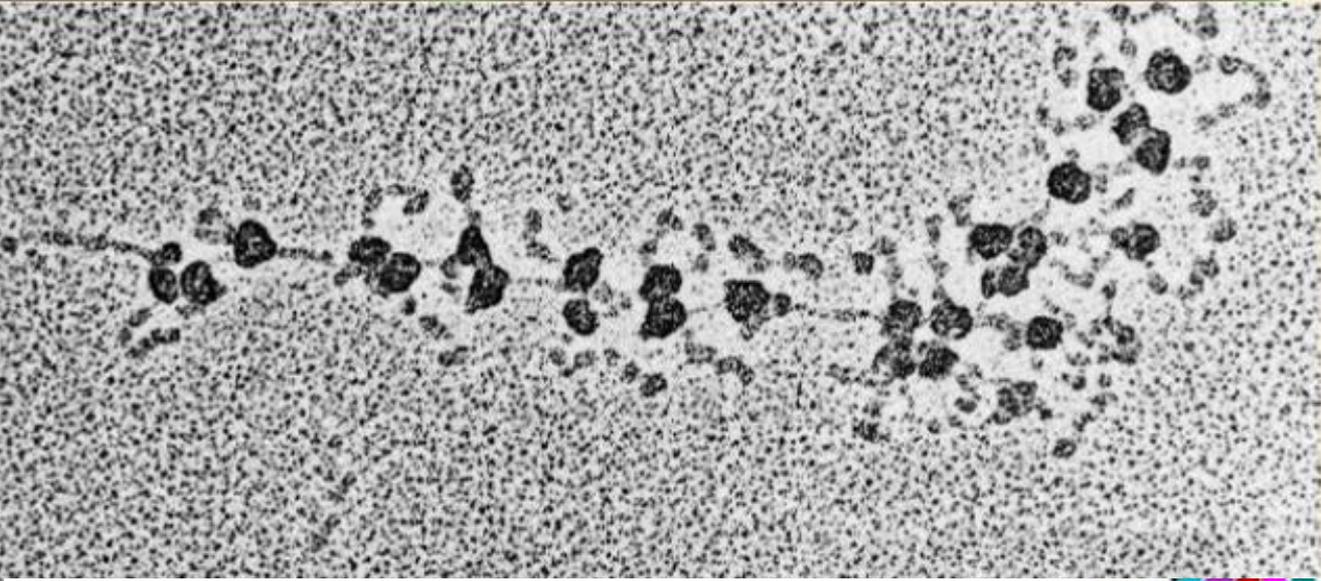
## Elongation

## initiation

## Terminaison



# Les **ribosomes** : des organites spécialisés dans la traduction de l'ARNm 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

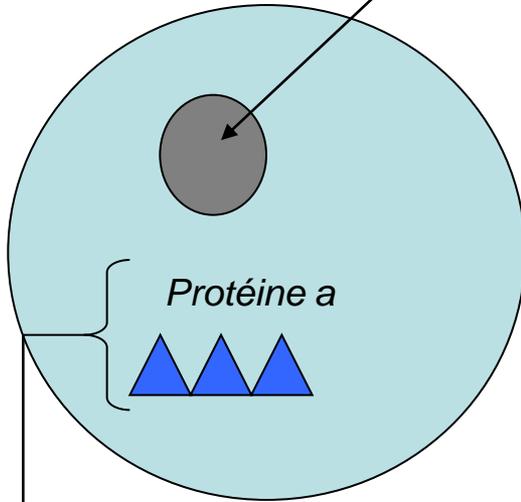
## II. La synthèse des protéines

- 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.

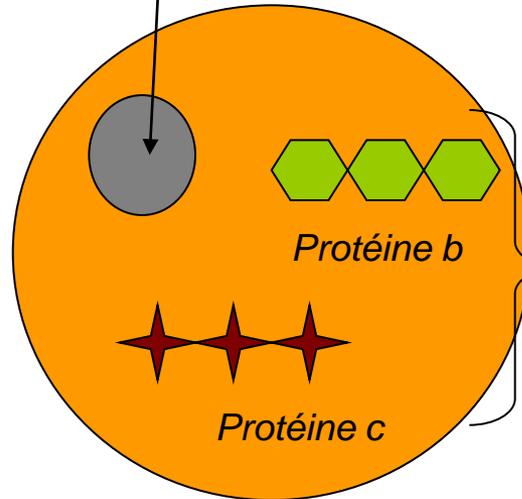
## III. La régulation de l'expression des gènes

Même patrimoine génétique = même **génom**e

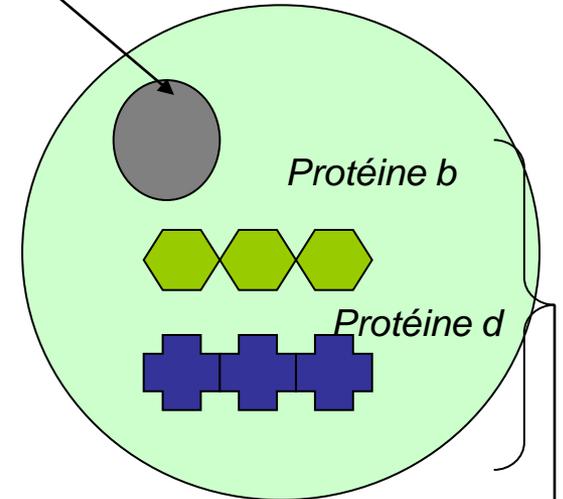
Cellule A



Cellule B



Cellule C



Des phénotypes moléculaires différents

= 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 pré-messager.
- 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



Mutation dans la zone régulatrice PEL



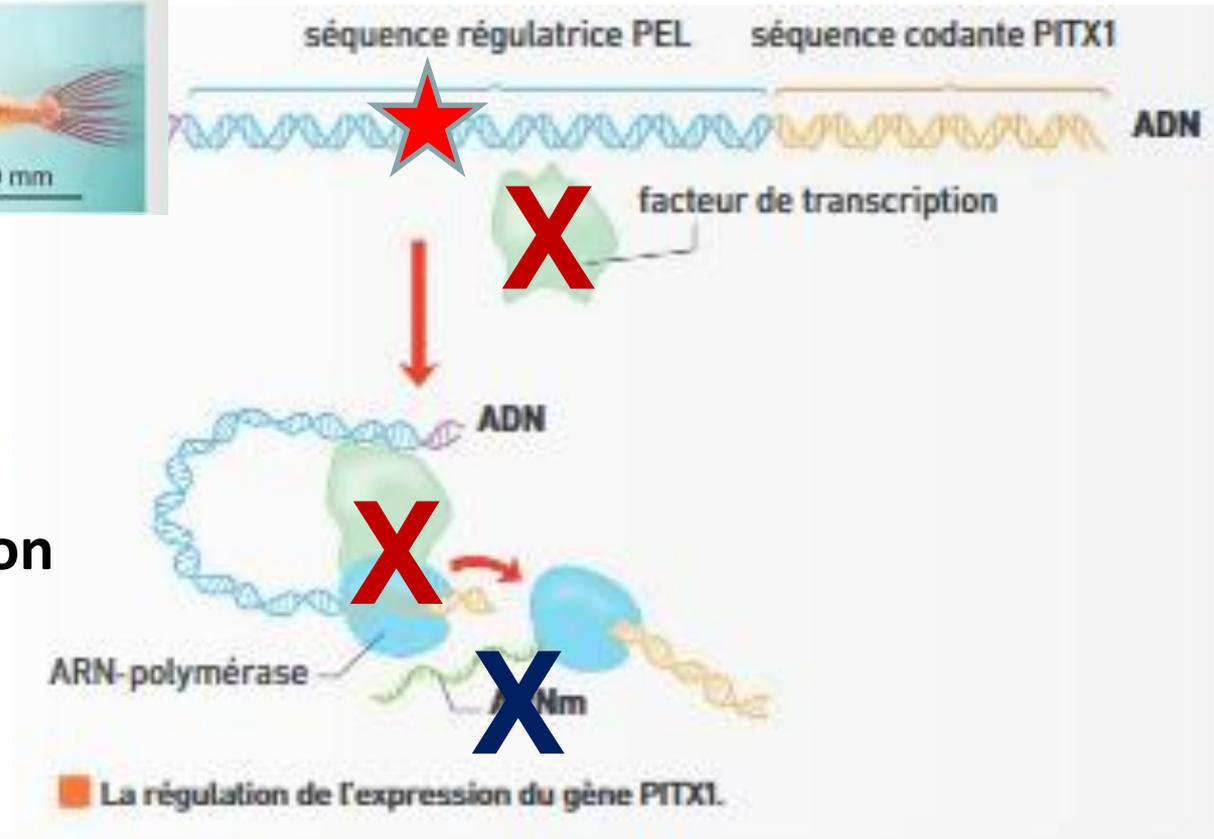
Le facteur de transcription ne se lie plus à l'ADN



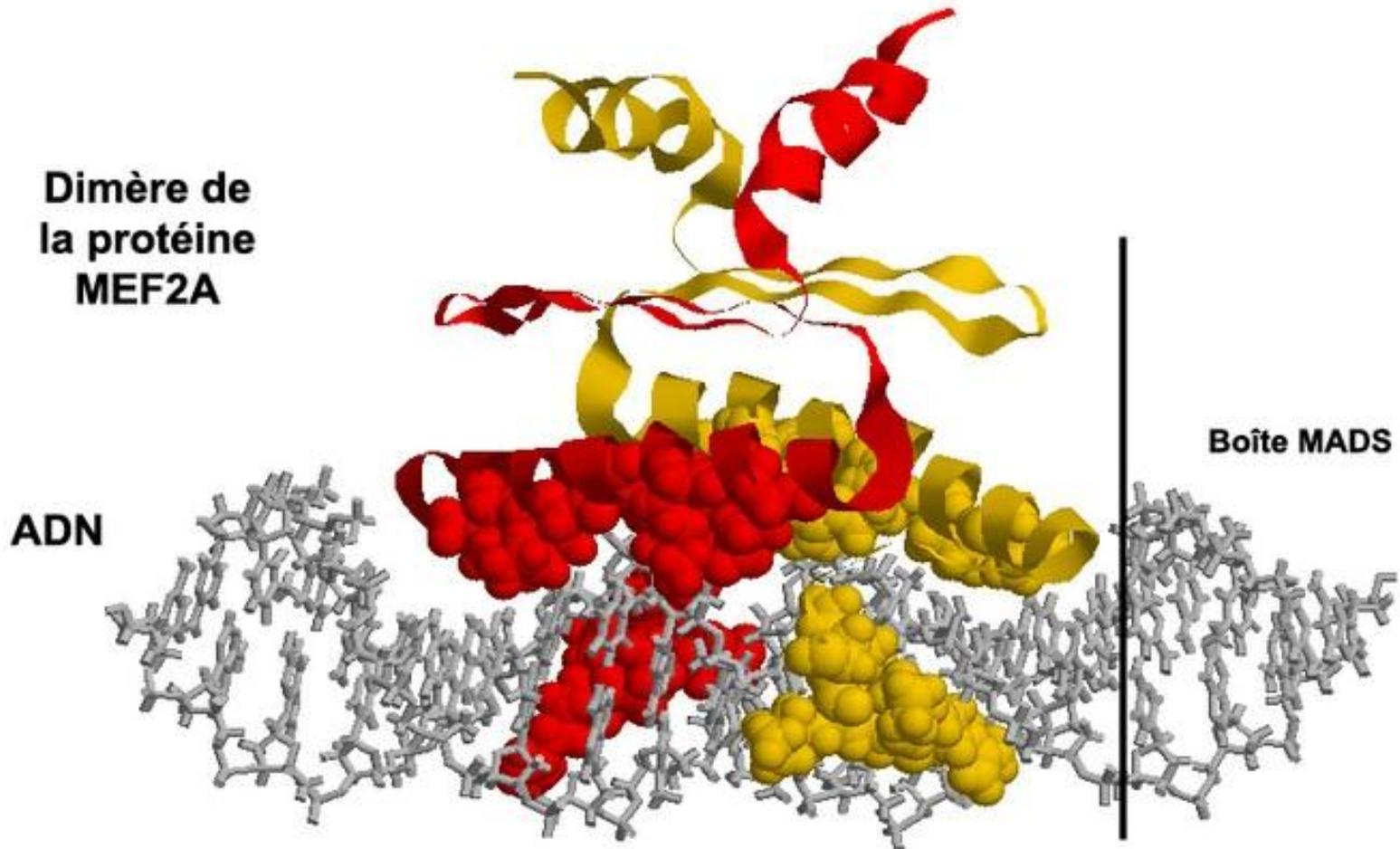
Plus d'expression du gène PITX1



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.

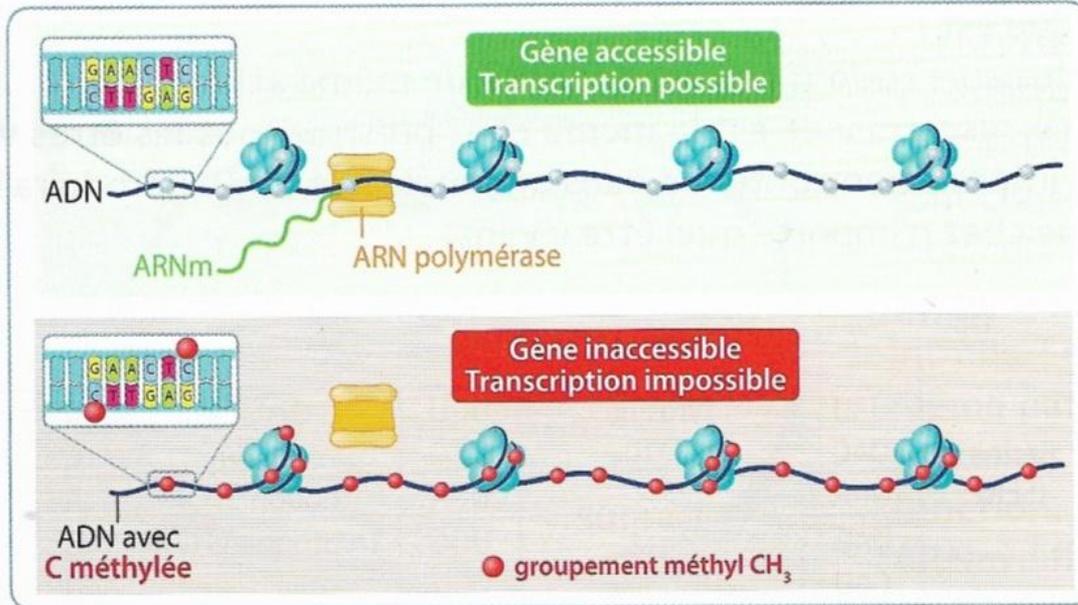
## III. La régulation de l'expression des gènes

- 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.

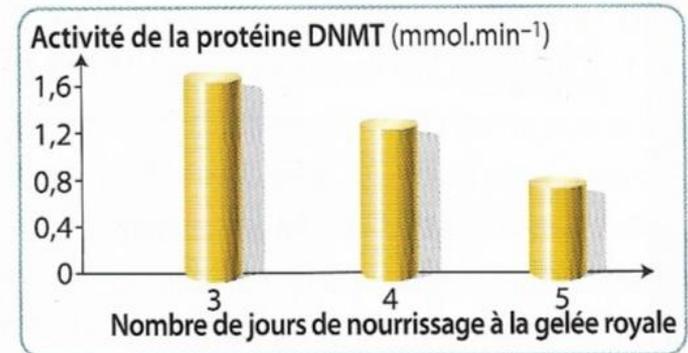


b. Un cas de perturbation de la transcription



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.

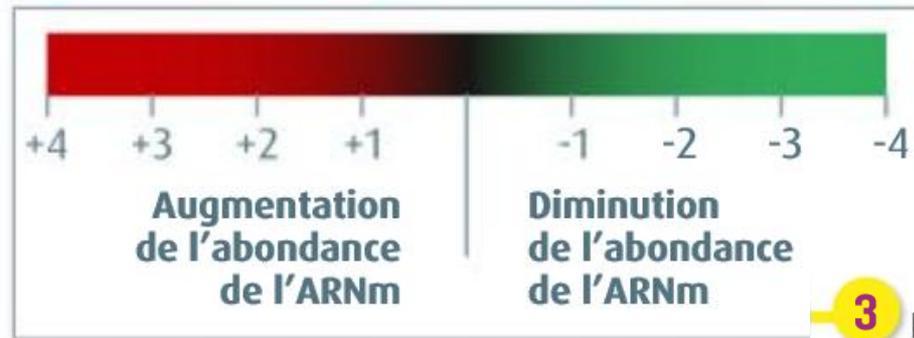
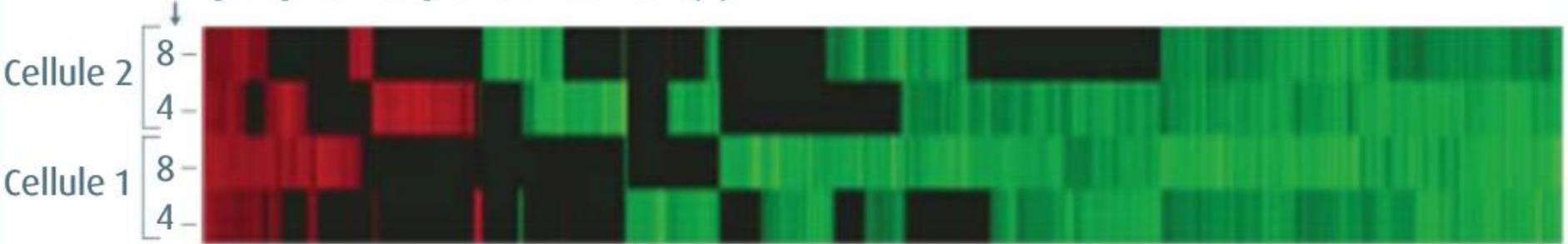


c. Activité de la protéine DNMT, quantifiée chez des larves de 6 jours, nourries pendant 3, 4 ou 5 jours à la gelée royale

## 4 Des facteurs externes contrôlent l'expression des gènes

# Influence des la UV sur l'expression des gènes

Temps après l'exposition aux UV (h)

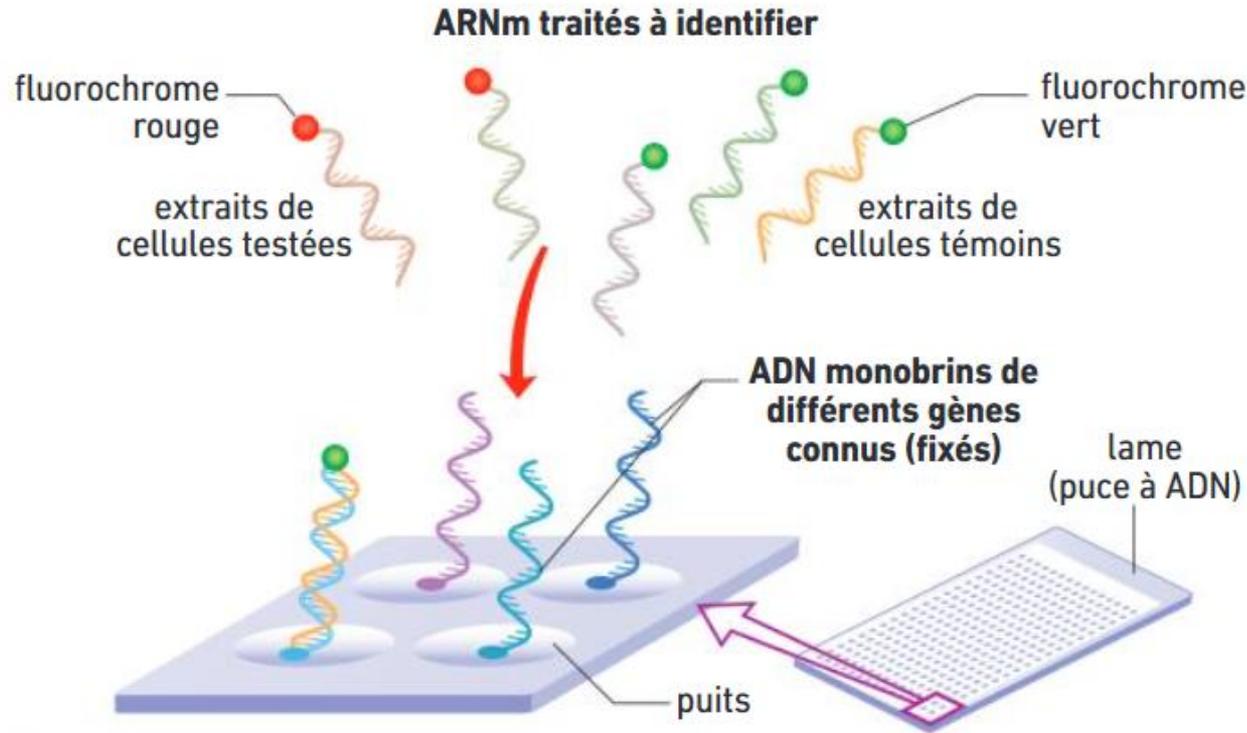


### 3 Effet d'une irradiation UV sur deux types de cellules humaines en culture.

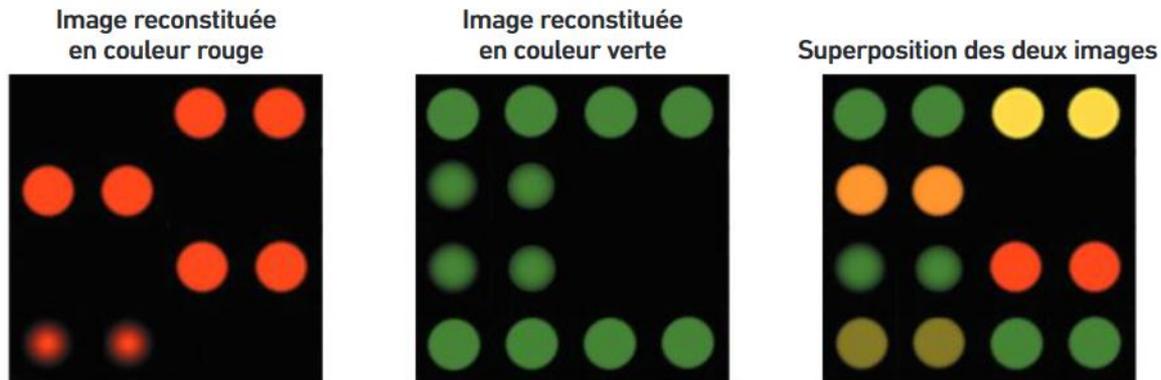
Les UV provoquent des dommages sur l'ADN, qui sont pris en charge par un système de réparation de l'ADN (voir chapitre 2). L'expression d'un grand nombre d'ARN messagers a été analysée à des temps variables après l'exposition des cellules aux UV. Chaque bande ci-contre correspond à un ARN messenger. La couleur verte ou rouge indique si, après exposition aux UV, l'ARN messenger est plus abondant ou moins abondant qu'avant exposition.

# **Autres facteurs influençant l'expression des gènes**

# La puce à ADN permet d'évaluer l'expression des gènes



## **B** Une hybridation compétitive.



## **C** Lecture de la puce à ADN par un scanner\*

# 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	Vert	Rouge	Noir	Noir foncé	Noir foncé
Carence en fer	Vert clair	Rouge	Vert clair	Noir foncé	Noir foncé
Haute teneur en CO <sub>2</sub>	Rouge	Rouge	Noir foncé	Noir foncé	Noir foncé
Froid	Rouge	Rouge	Vert clair	Noir foncé	Rouge
+ cadmium*	Rouge	Rouge	Noir	Noir foncé	Rouge
+ auxine*	Rouge	Rouge	Noir foncé	Noir foncé	Rouge
+ antibiotique	Noir	Rouge	Noir foncé	Rouge	Rouge

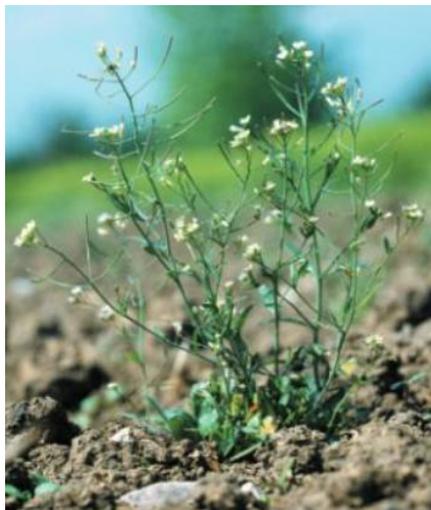
Faible



Fort



Niveau d'expression du gène



# Régulation de l'expression des gènes

## Facteurs génétiques

Type cellulaire

Moment du développement....

