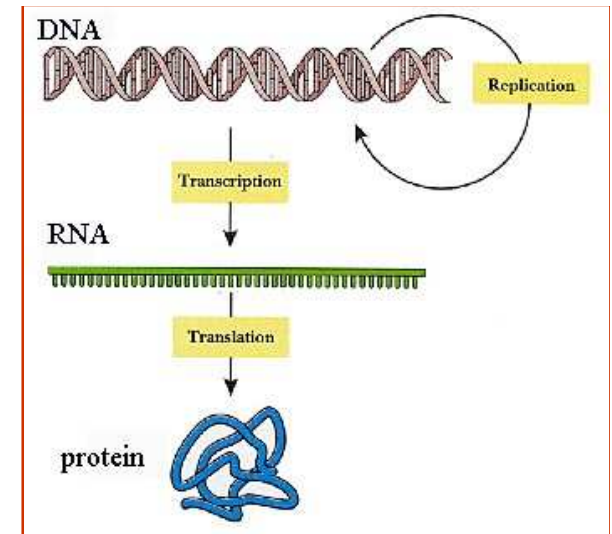


Expression d'un gène

Processus entier qui décode l'information portée par un gène donné et la traduit en protéines

- Comment se fait le choix des types de protéines exprimées par les cellules?
- Qui détermine le taux d'expression de ces protéines?
- Comment un organisme unicellulaire s'adapte aux différents milieux?



ARN
=
Acide RiboNucléique

Facteurs déterminants

Concentration en ARNm propre à chaque protéine qui dépend de:

- la nature du gène transcrit
- la vitesse et
- la fréquence de transcription

C'est donc principalement la transcription différentielle des gènes dans une cellule qui détermine ses caractéristiques (propriété et fonction)

B- Transcription

Introduction

Les ARN, les ARN polymérase et généralité sur la transcription

I- Transcription chez les bactéries

- 1- L'organisation d'un gène bactérien
- 2 - Le Promoteur et l'initiation de la transcription
- 3 - L'élongation de la transcription
- 4 - La terminaison de la transcription
- 5 - Les inhibiteurs spécifiques de la transcription

II- Transcription chez les Eucaryotes

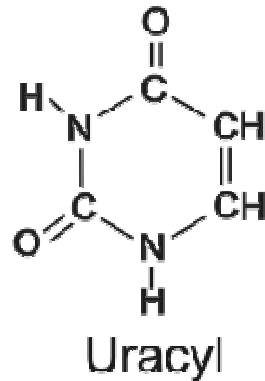
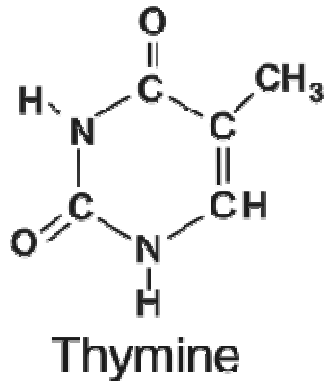
Introduction : particularités du génome eucaryote

- 1 - L'initiation de la transcription
- 2 - La régulation post-transcriptionnelle

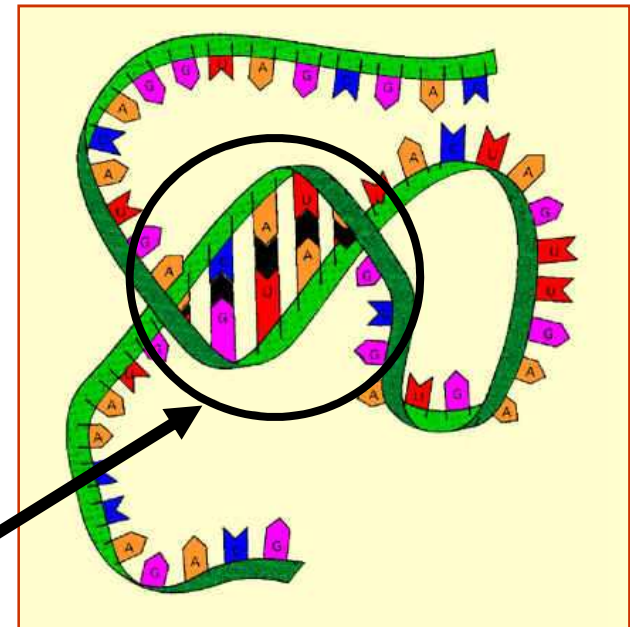
Introduction :

□ Les ARN:

- Polyribonucléotides avec Uracyl (U) à la place de Thymines (T)
- chaînes monocaténares qui peuvent former des structures secondaires en se repliant (épingle à cheveux)
- Molécules plus courtes et plus instables que l'ADN



Certains segments de l'ARN peuvent s'apparier s'ils sont complémentaires



Types d'ARN:	
ARN ribosomiques (18S - 5,8S- 28S- 5S) chez les eucaryotes (16S - 5S - 23S) chez les procaryotes	83%
ARNt (plus petit ARN)	15%
ARNm	2%

- Produits de la transcription de l'ADN par l'ARN polymérase ADN dépendante
- Rôle génétique (messenger) ou fonctionnel (transfert d'a.a)
- ARN m est transcrit à un taux plus élevé que l'ARNt et l'ARNr

□ Généralités/Transcription

1^{ère} étape de synthèse d'une protéine = copie du gène (ADN) en une molécule d'ARN

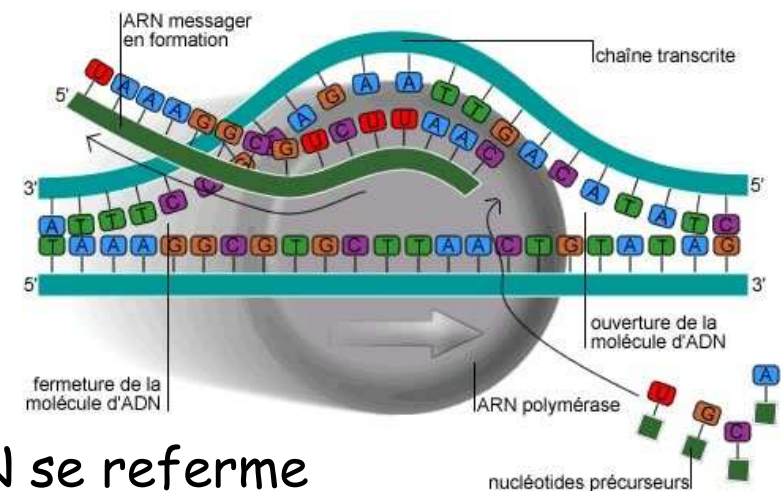
➤ Assurée par l'ARN polymérase

- Nécessite ADN double brin (matrice), des précurseurs (ribonucléosides triphosphates: ATP, GTP, UTP et CTP) et pas d'amorce
- Formation des liaisons phosphodiester entre les ribonucléotides dans la direction 5' - 3'
- Un seul brin servira à la synthèse d'ARN

➤ Déroulement en 3 étapes:

Initiation, élongation, terminaison

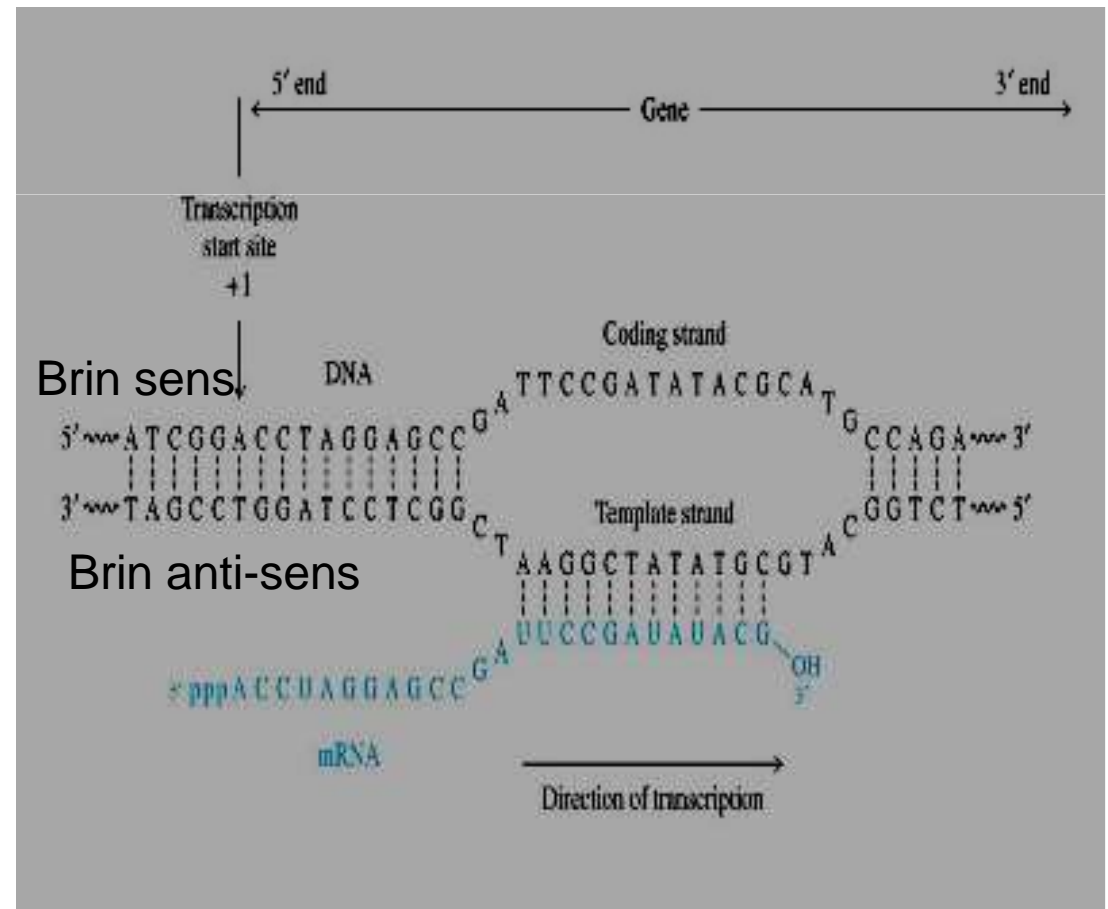
- L'ARNm se détache et la molécule d'ADN se referme



Brin sens et anti-sens

- La séquence de l'ARN synthétisé est identique à celle du brin sens (brin codant), avec **U** à la place de **T** et orientée dans le même sens.

- Elle se construit de 5' vers 3' en complémentarité de celle qui est « lue » sur le brin anti-sens (non codant).



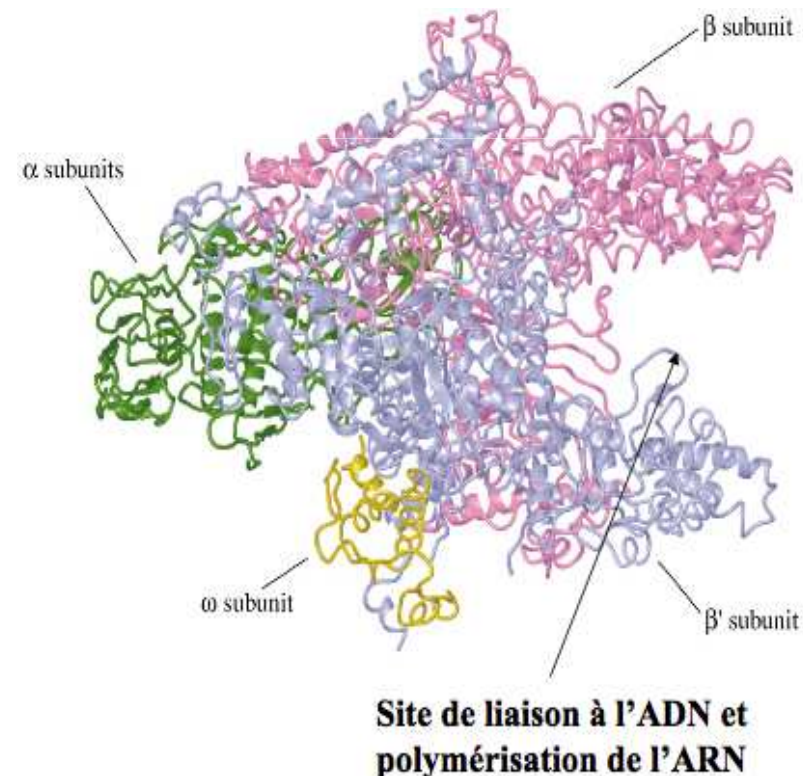
□ Les ARN polymérases

Chez les procaryotes: une seule ARN polymérase

Le core de l'enzyme est un complexe protéique multimérique: 4 sous-unités α_2 , β , β' et ω ($\alpha_2\beta\beta'\omega$).

L'association du facteur σ au core de l'enzyme = holoenzyme ($\alpha_2\beta\beta'\omega\sigma$)

- La sous unité β assure la liaison à l'ADN.
- La sous unité β' possède le site actif de la polymérase
- Les 2 sous unité α permettent l'assemblage des autres sous unités
- La sous unité ω rétablit la fonctionnalité de l'ARNp dénaturée in vitro
- Intervention du facteur σ pour la reconnaissance du site d'initiation.



□ Les ARN polymérases

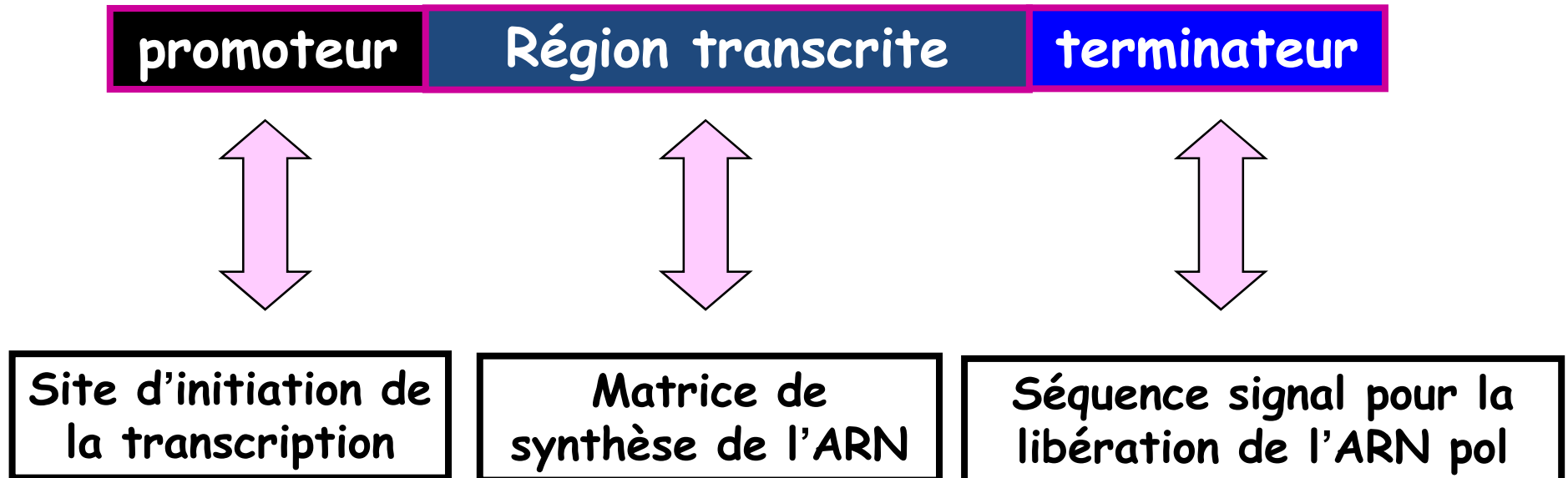
Chez les eucaryotes: 4 types d'ARN polymérase

- ✓ **RNA-polymérase I** qui synthétise les RNA cytoplasmiques : RNA ribosomiques (18S- 5,8S- 28S)
- ✓ **RNA-polymérase II** qui synthétise les RNA messagers certains des snRNA
- ✓ **RNA-polymérase III** qui synthétise les petits RNA (tRNA, rRNA 5 S, snRNA, 7SL-RNA).
- ✓ **RNA-polymérase IV** spécialisé dans la transcription de l'ADN mitochondrial et la synthèse de l'hétérochromatine chez les plantes

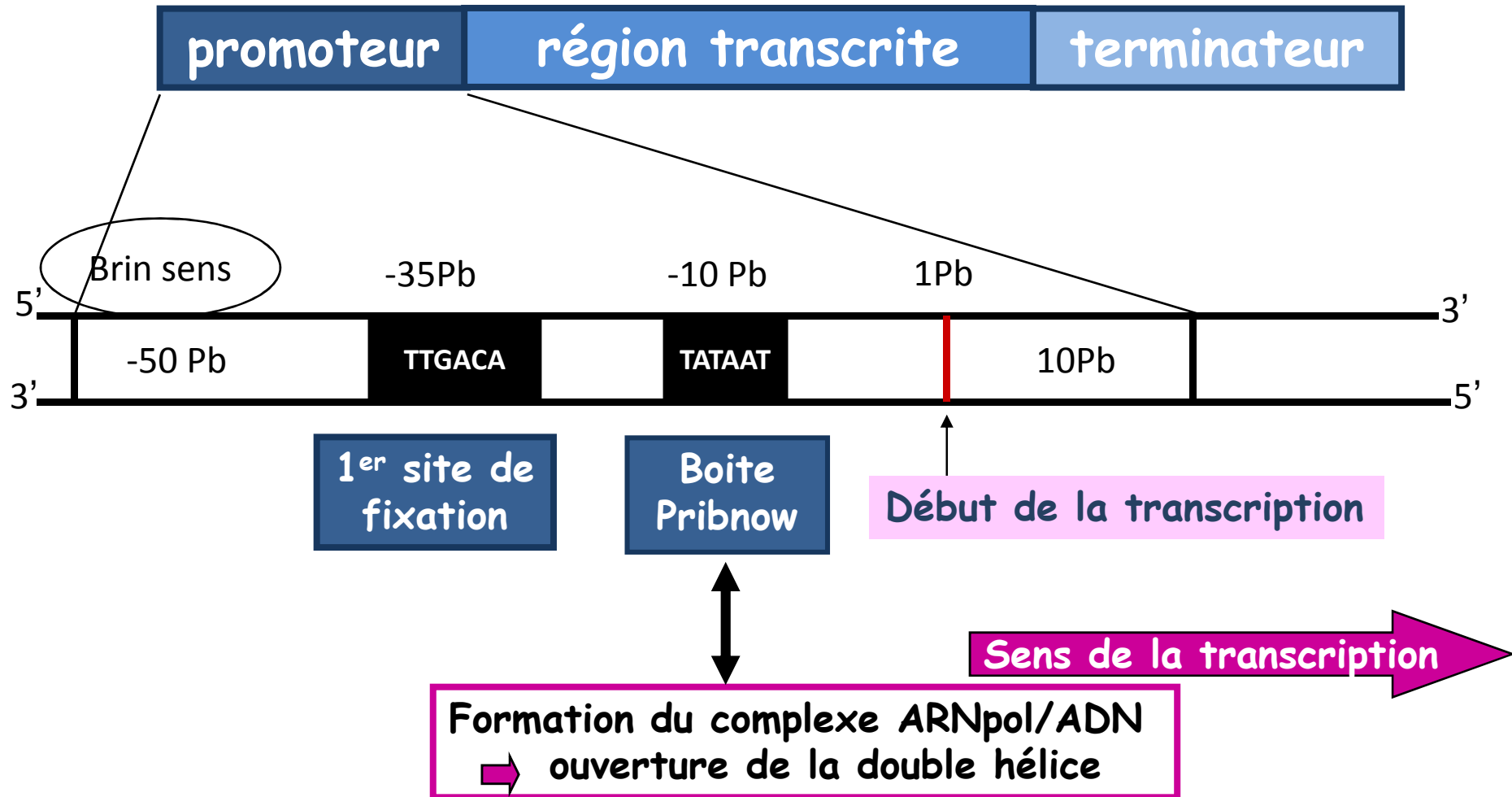
I- Transcription chez les bactéries

ARN polymérase se fixe à l'ADN au niveau d'une courte séquence d'ADN placée juste avant le début du gène
= **promoteur** reconnu par **le facteur σ**

1- Organisation d'un gène bactérien

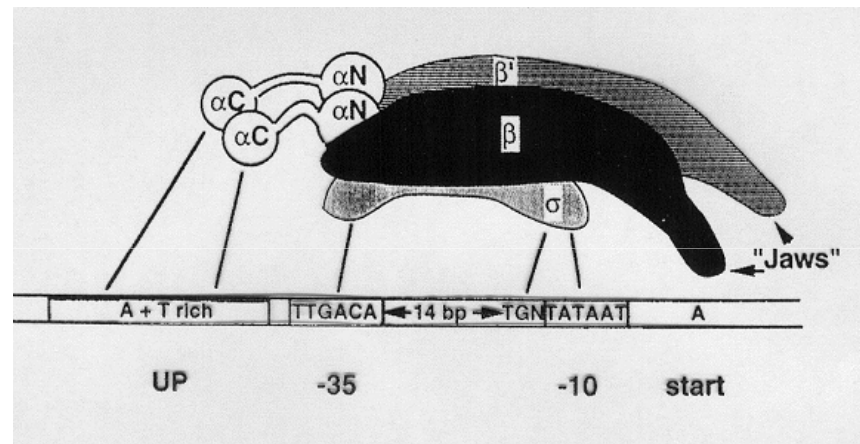


2- Promoteur et initiation de la transcription



Initiation de la polymérisation et facteur sigma :

- ❑ Assure la reconnaissance des séquences clé du promoteur
- ❑ Positionne l'ARNp sur le promoteur qui l'oriente dans une direction
- ❑ Facilite l'ouverture de la double hélice



- ❑ Association de 7 ou 8 ribonucléotides sous forme d'un polymère hybridé au brin matrice ADN
- ❑ Forte affinité de l'ARNp avec l'hybride ADN/ARN d'où décrochage du facteur sigma et liaison de la protéine NusA permettant la stabilisation de l'enzyme

Initiation de la transcription

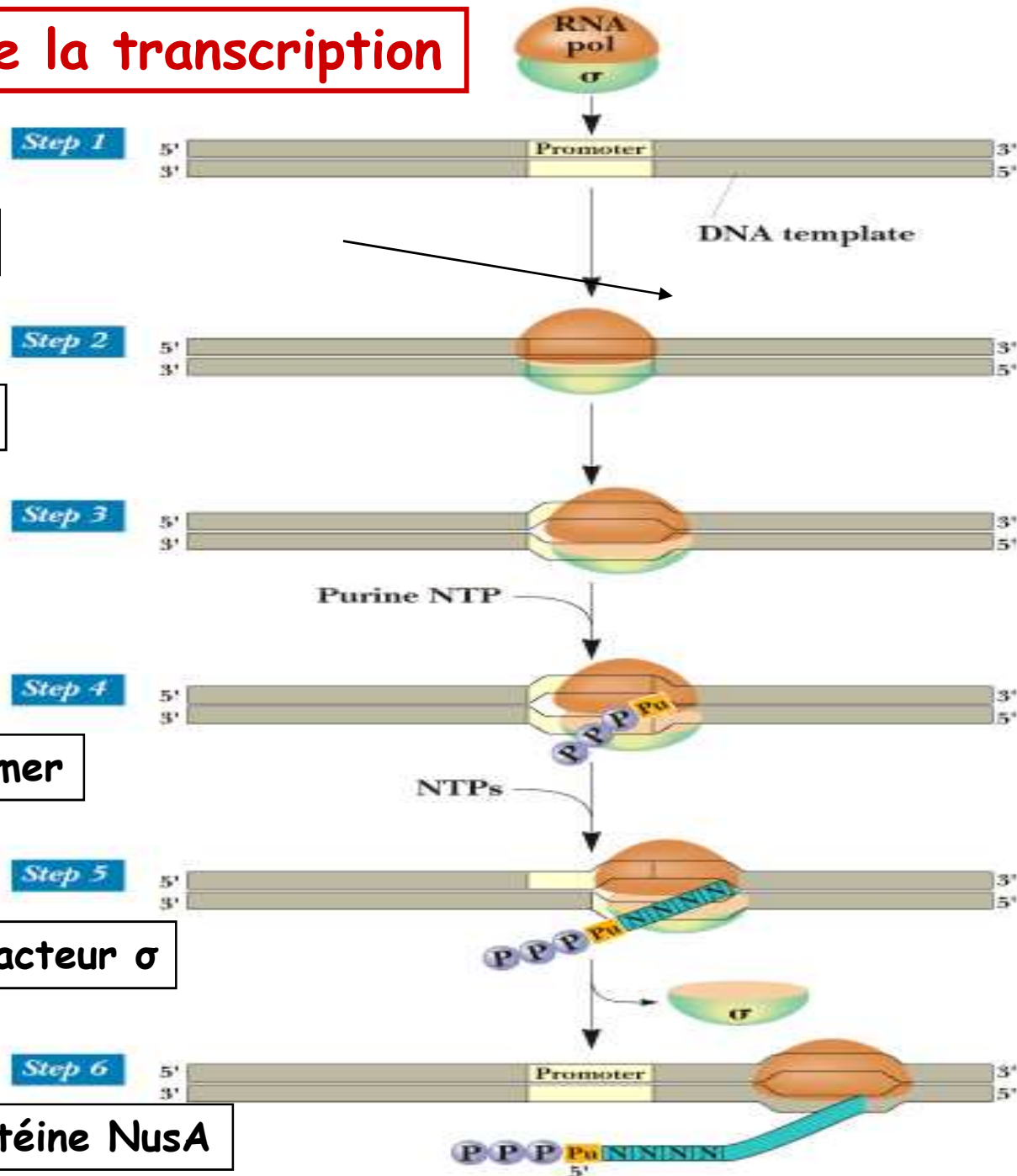
complexe fermé

complexe ouvert

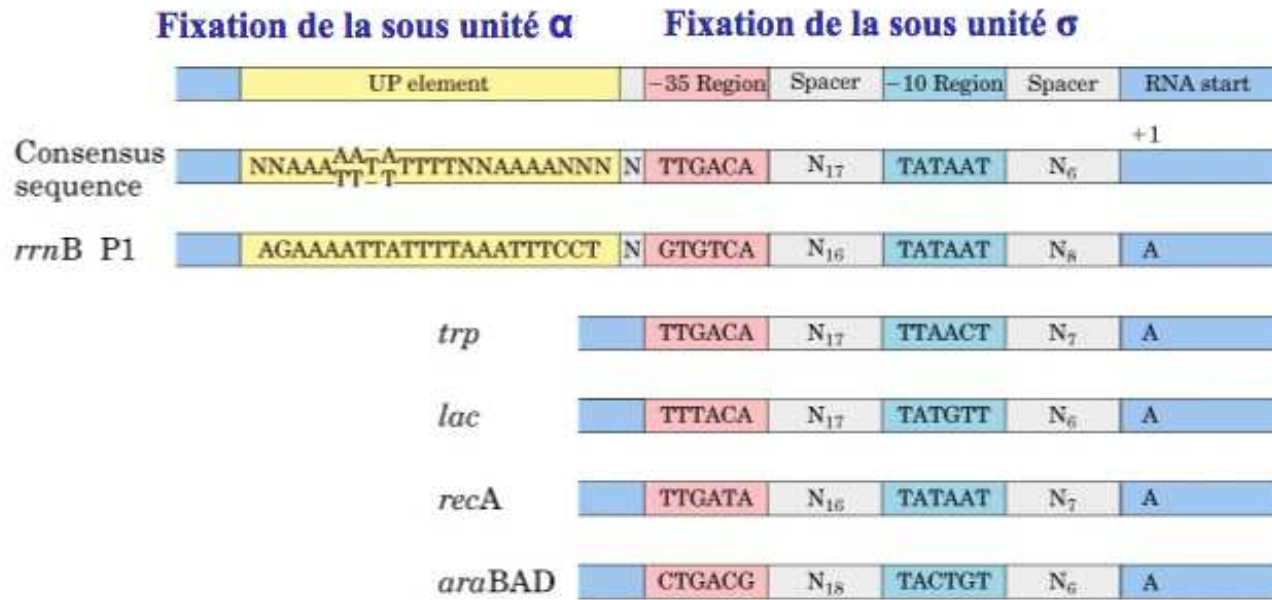
formation du Primer

Dissociation du facteur σ

Liaison de la protéine NusA



Structure des promoteurs et diversité des facteurs sigma



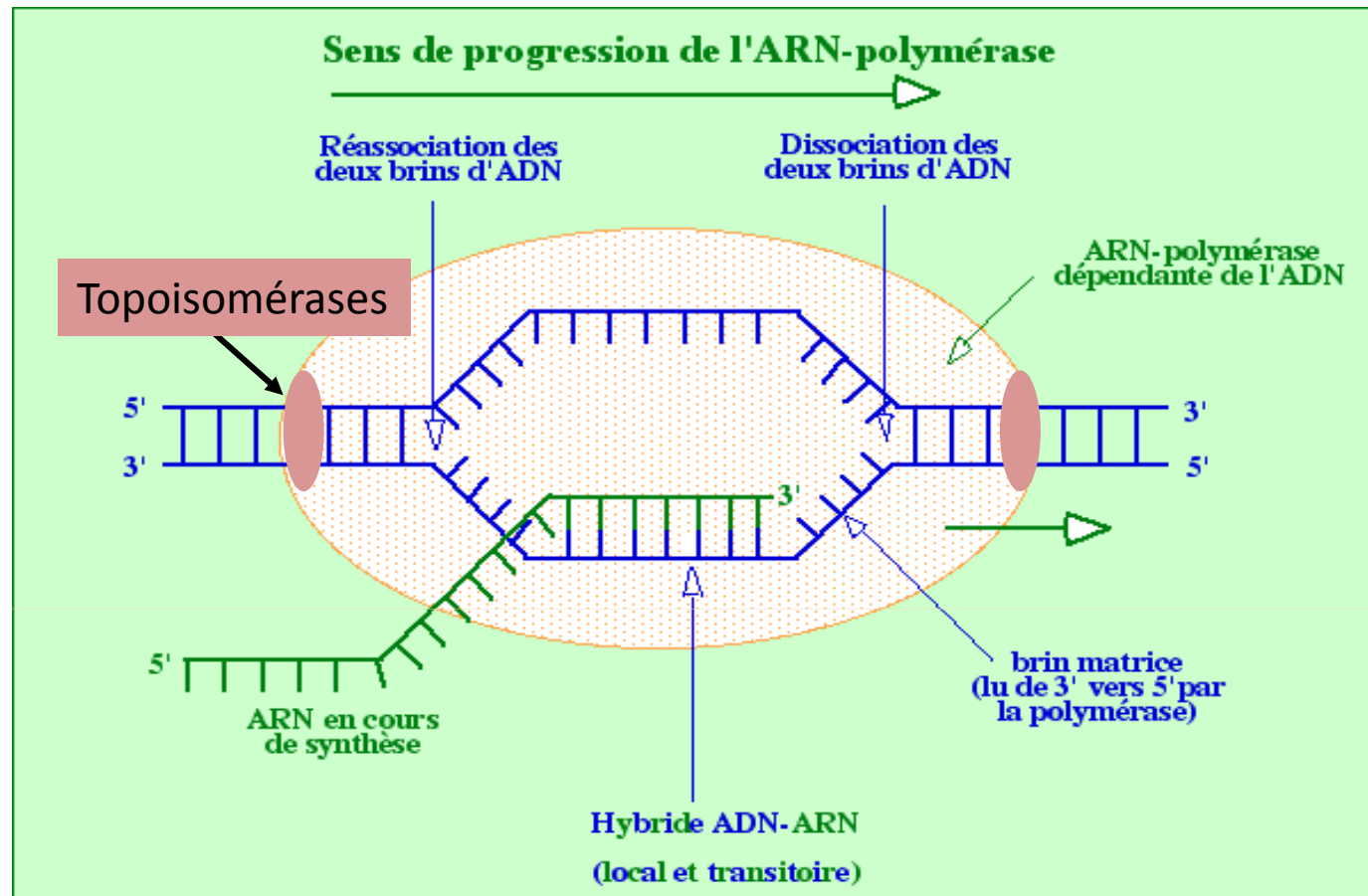
Chez *E.coli*, 7 facteurs sigma qui reconnaissent des séquences différentes

- Sigma de la famille 70: σ^{70} standards (reconnait différentes séquences de promoteurs)
- Sigma de la famille 32: σ^{32} spécifique à la réponse au choc thermique
- Sigma de la famille 54: σ^{54} spécifique à l'assimilation de l'azote



3- Élongation de la chaîne d'ARN:

Unité de transcription



- assurée par le core de la polymérase à une vitesse d'environ 30 nucl/sec
- Topoisomérases précèdent et suivent la polymérase
- Souvent plusieurs transcrits de la même matrice



• Unité de transcription mono ou polycistronique

Unité de transcription
=
zone où la transcription s'initie et se termine

un seul gène

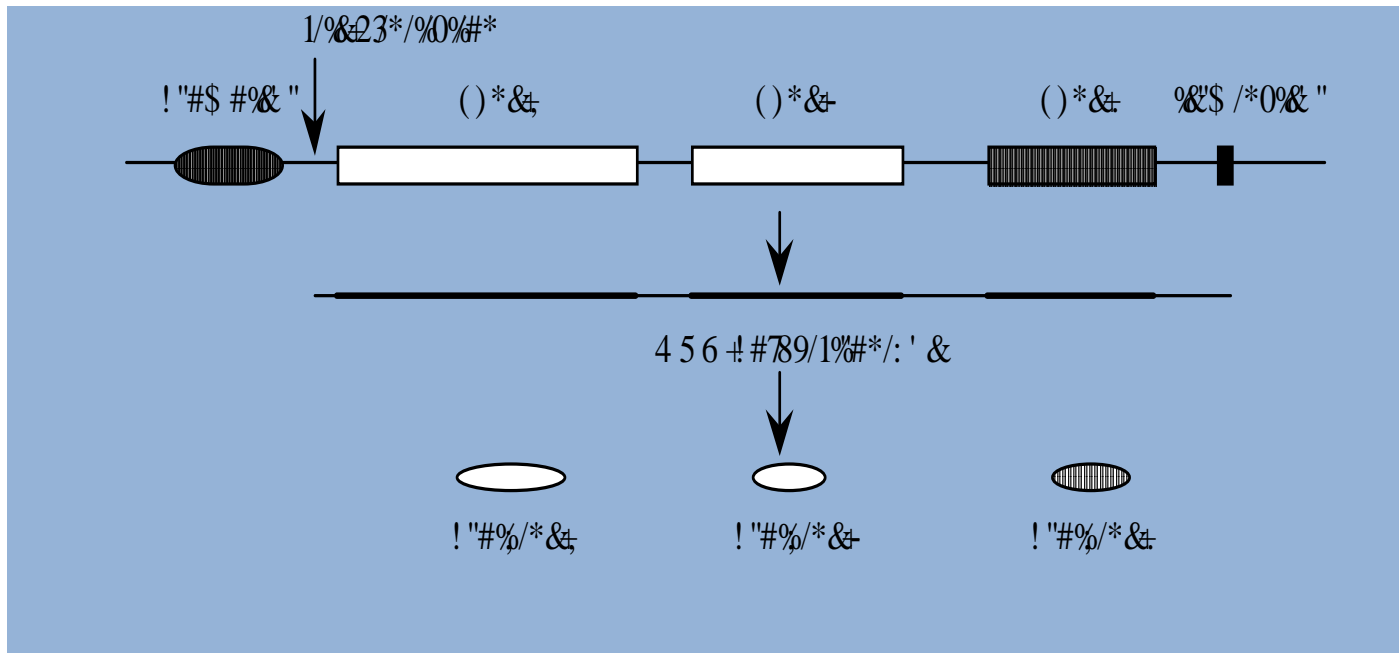
2 ou plusieurs
gènes co-transcrits

Une seule molécule
d'ARNm

Résumons

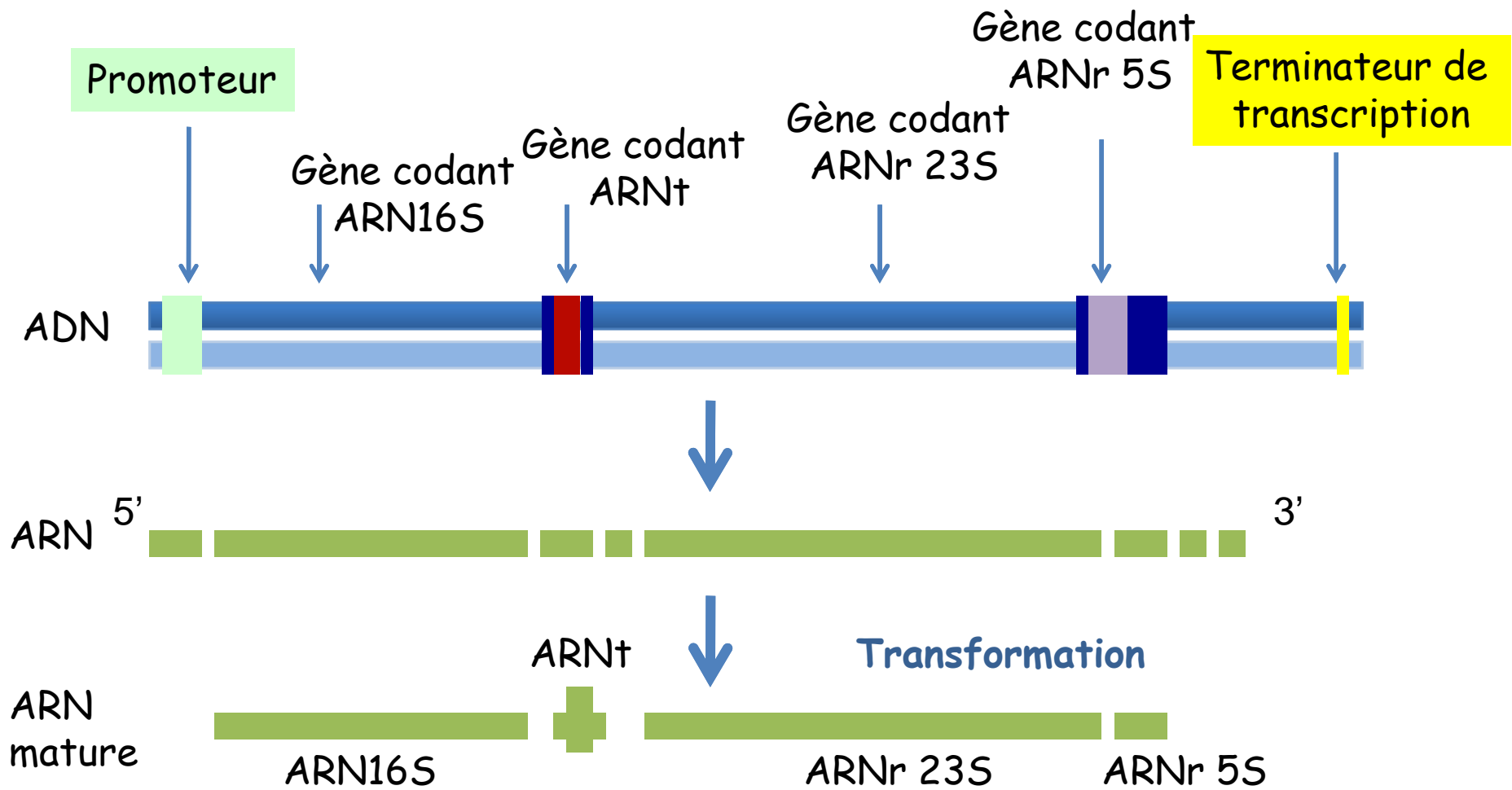
Unité de transcription
polycistronique
=
Codant plusieurs
protéines

Cas des ARNs polycistroniques et notion d'opéron



Opéron: Unité d'expression de **gènes**, codant plusieurs enzymes apparentées ou des ARNr, sous le contrôle d'un **même promoteur**: co-transcrits générant un long ARNm

- > séquences codant plusieurs protéines en même temps
- > séquences codant des ARNr (16S, 23S, 5S) et des ARNt



Opéron ARNr et sa transformation:
 Unité bactérienne de transcription ribosomique de l'ARNr

Comparaison des ribosomes procaryotes et eucaryotes

Propriétés%	Procaryote	Eucaryote
Taille globale	70S	80S
Petite sous-unité Taille d'ARN	30S 16S (1500pb)	40S 18S (2300pb)
Grande sous-unité Taille d'ARN	50S 23S (2900pb) 5S (120pb)	60S 28S (4200pb) 5,8S (160pb) 5S (120pb)
% ARN	63	50
% Protéines	37	50

Unité Svedberg: unité du coefficient de sédimentation lors d'une force centrifuge

B- Transcription

Introduction

Les ARN, les ARN polymérase et généralité sur la transcription

I- Transcription chez les bactéries

- 1- L'organisation d'un gène bactérien
- 2 - Le Promoteur et l'initiation de la transcription
- 3 - L'élongation de la transcription
- 4 - La régulation de la transcription
- 5- La terminaison de la transcription
- 6- Les inhibiteurs spécifiques de la transcription

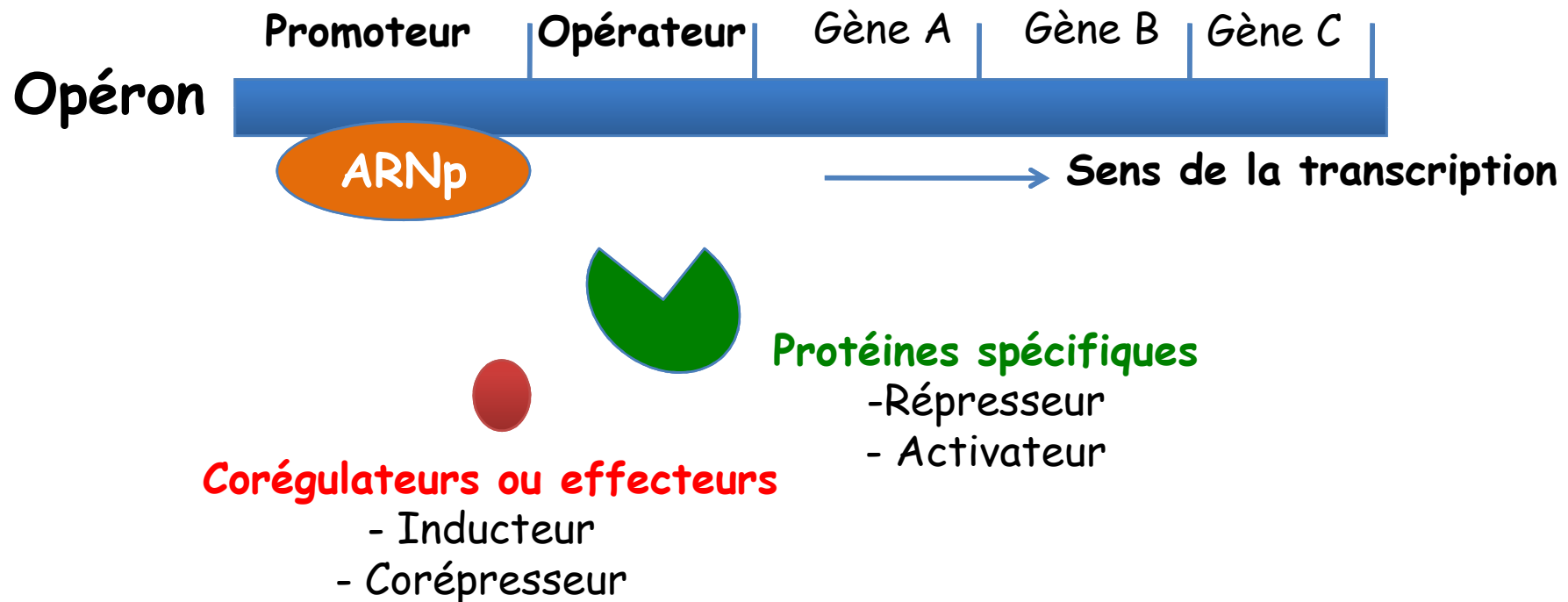
II- Transcription chez les Eucaryotes

Introduction : particularités du génome eucaryote

- 1 - L'initiation de la transcription
- 2 - Les modifications post-transcriptionnelles

4- Régulation de la transcription: protéines allostériques se liant à l'ADN

Transcription de l'ARNm d'un opéron peut être sous le contrôle d'un opérateur qui régule le processus transcriptionnel par liaison avec d'autres protéines spécifiques

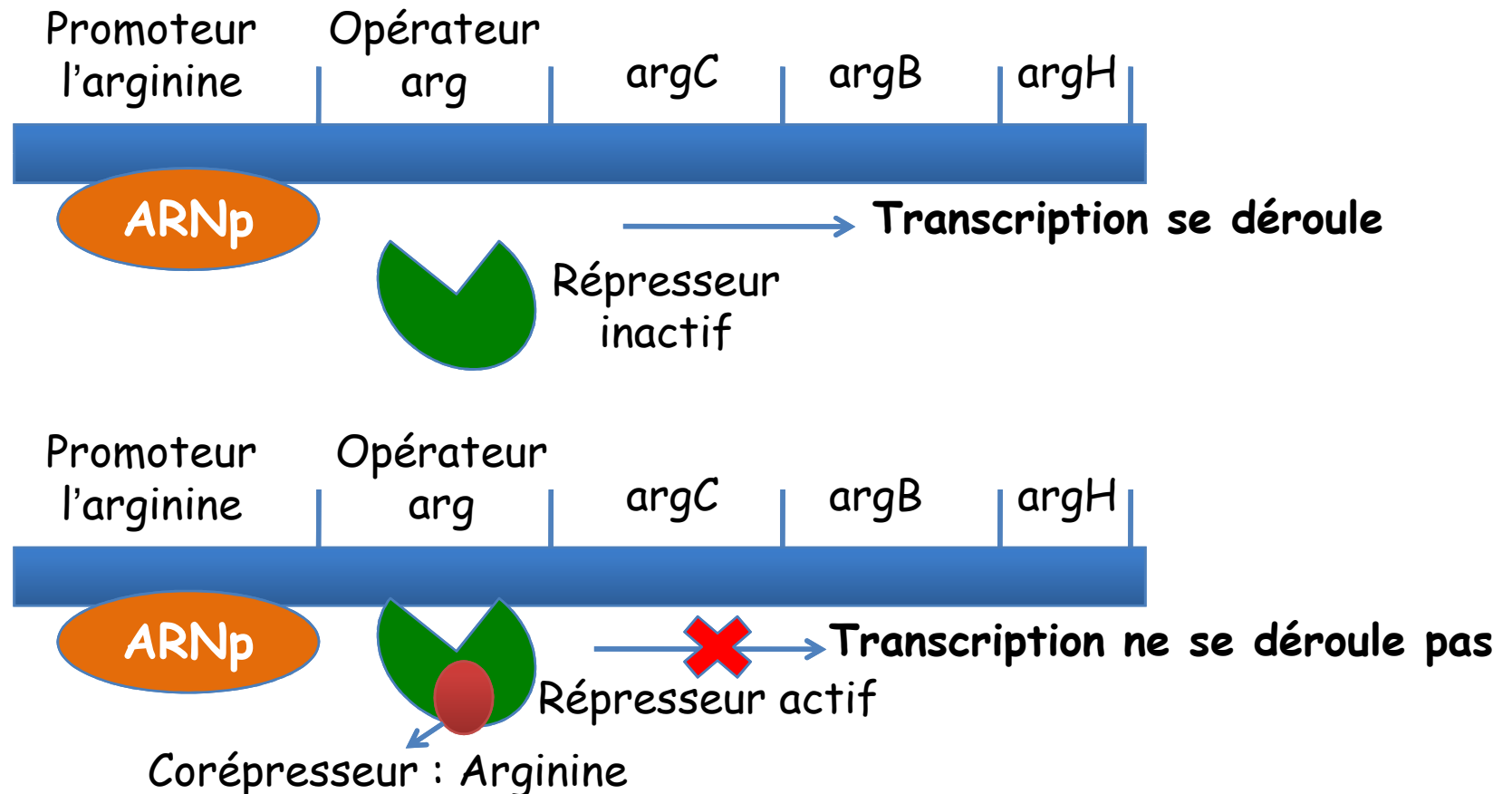


A- Régulation négative de la transcription

1- Fixation d'un **répresseur** en aval du promoteur suite à sa liaison avec son effecteur (**corépresseur**): Ex: l'opéron arginine

>> la protéine répresseur est active

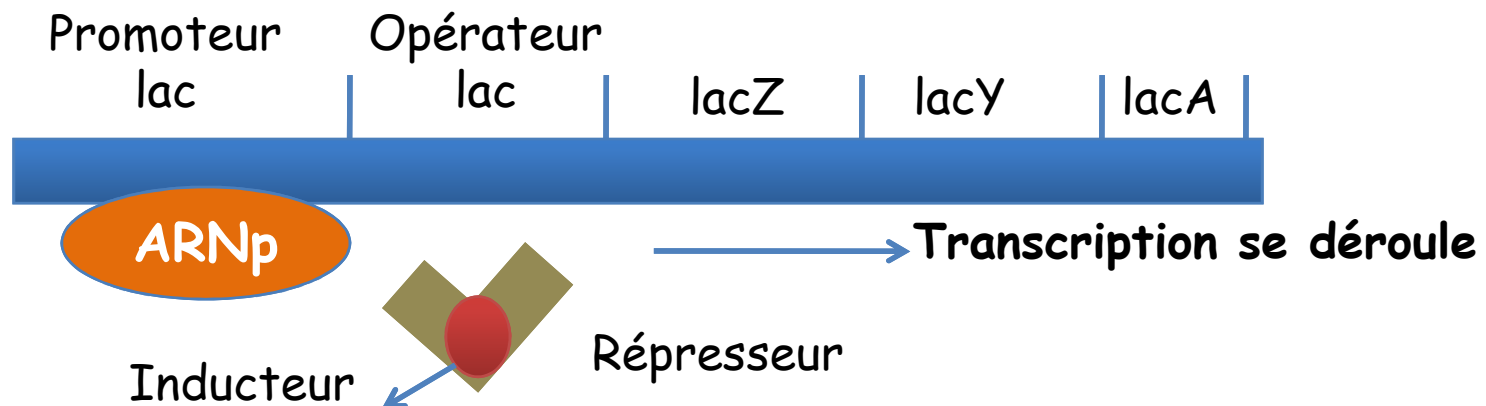
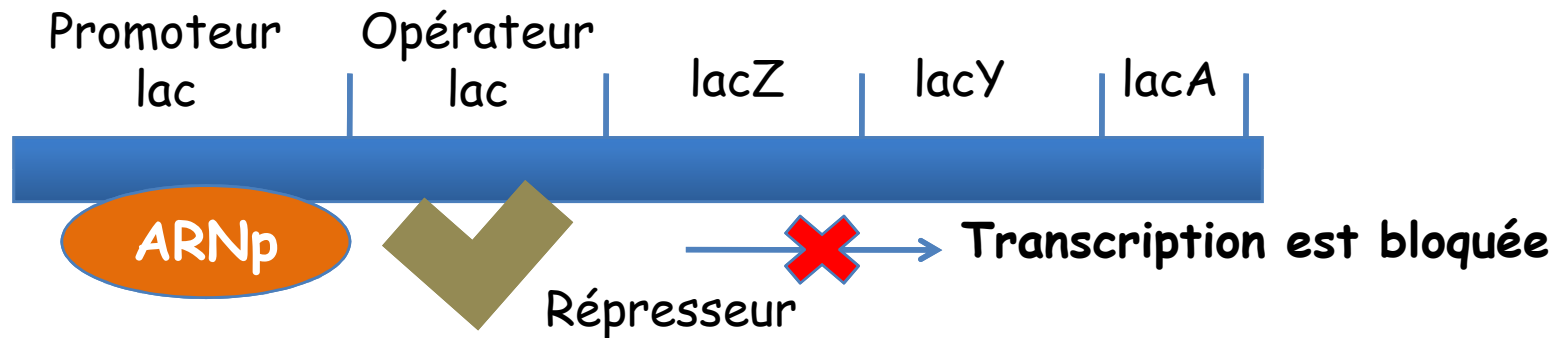
>> arrêt de la transcription.



A- Régulation négative

2- Fixation d'un inducteur sur le répresseur

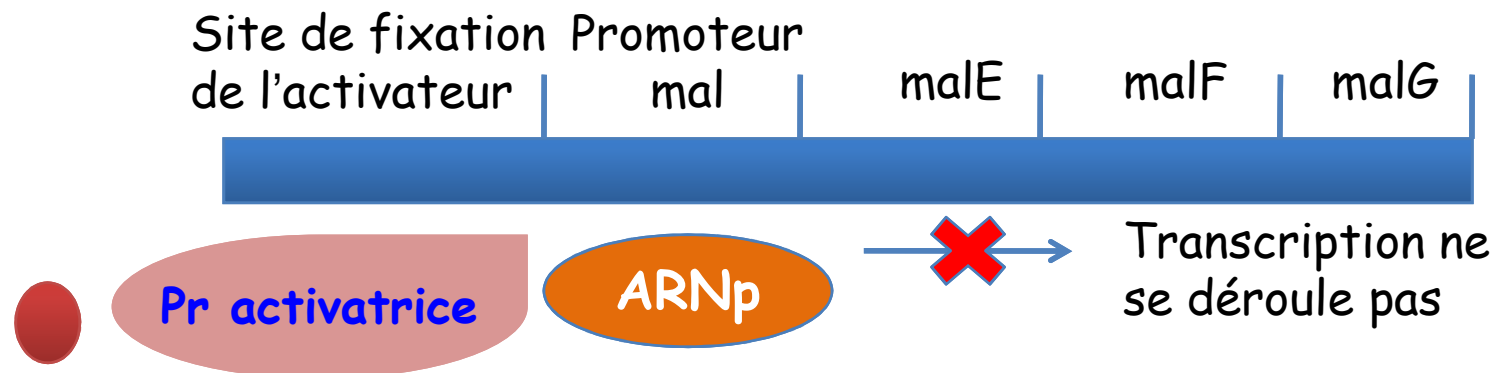
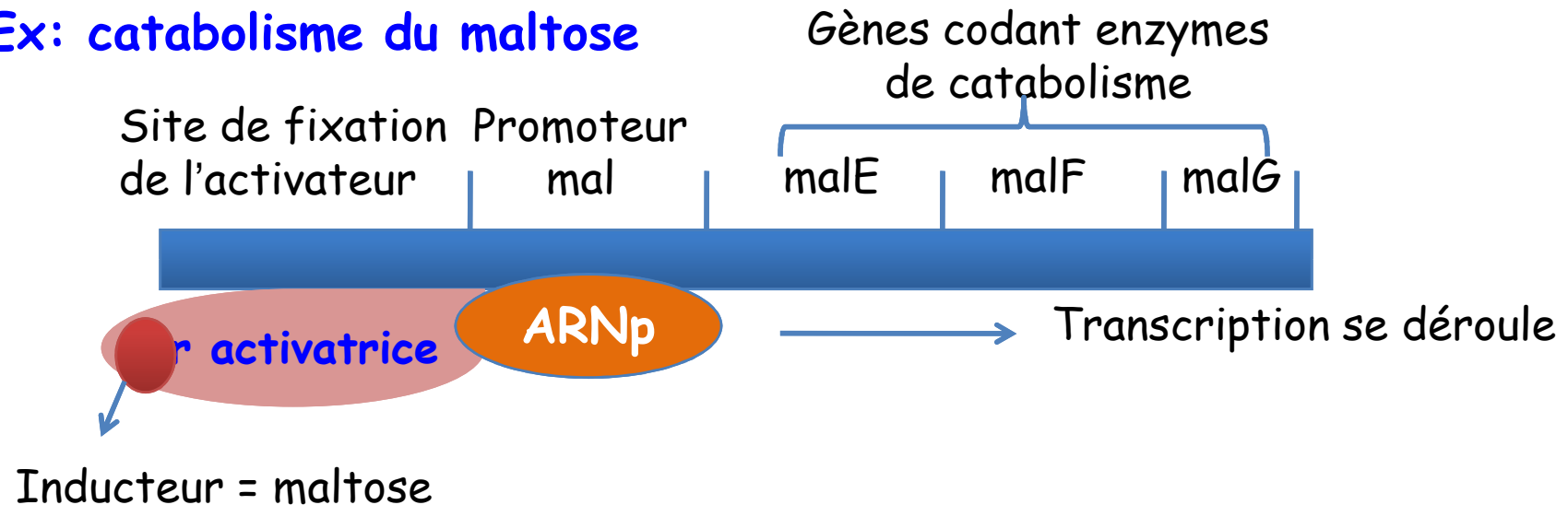
En absence de son inducteur, la protéine **répresseur** bloque la transcription **Ex: l'opéron lactose**



B- Régulation positive

Promoteur possède des séquences différentes de la séquence consensus, d'où besoin d'un **activateur** et d'un **inducteur** pour que l'ARNp reconnaisse le site de fixation malgré le bon facteur sigma

Ex: catabolisme du maltose



5- Terminaison de la transcription

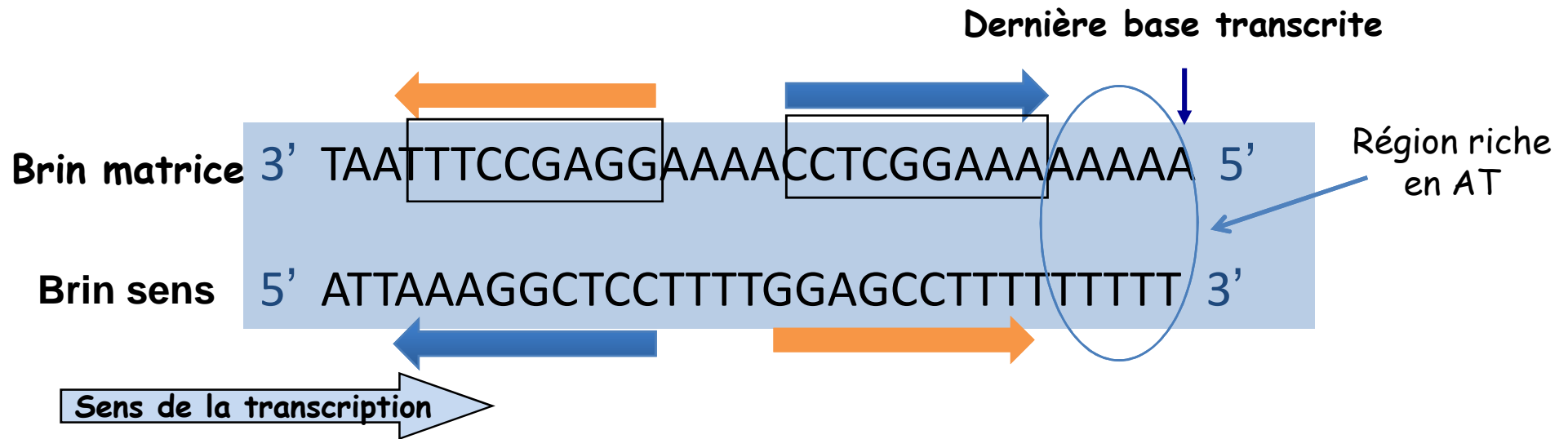
Processus conduisant à la **dissociation** des sous unités de l'ARNp après la rencontre des **signaux de terminaison**

Deux mécanismes:

- ❖ Terminaison « rô-indépendante »: terminateurs intrinsèques
- ❖ Terminaison « rô-dépendante »: dépend de la présence d'une protéine rho

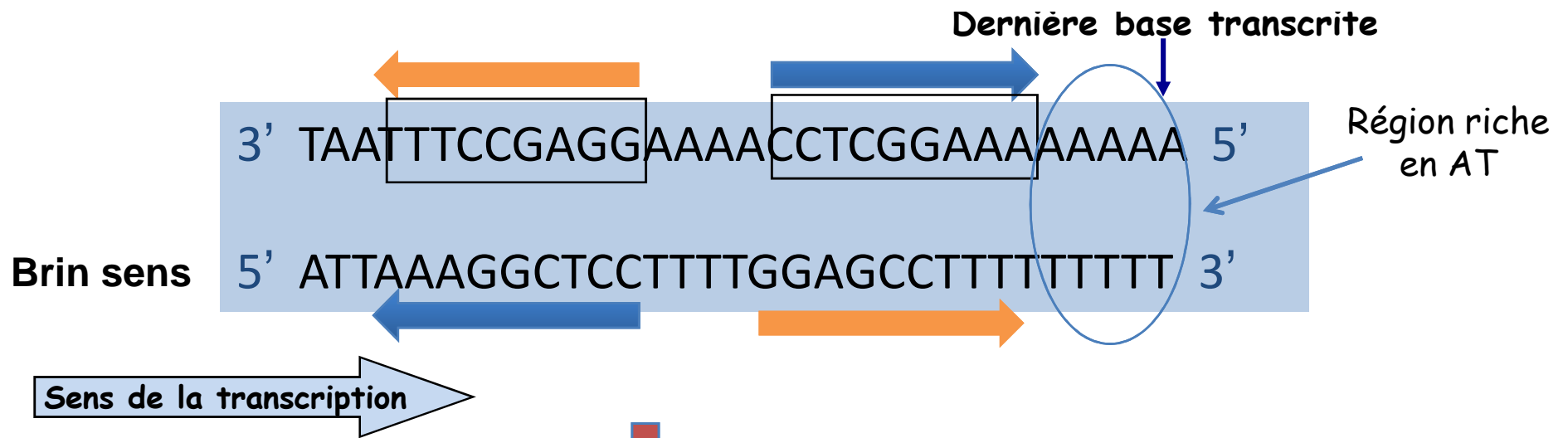
Terminaison rho-indépendante:

Terminateur intrinsèque



Sites spécifiques de terminaison: constitué de 3 segments caractéristiques

- deux séquences répétées inversées particulièrement riches en G et C, séparées par un court segment
- cette région palindromique est terminée par un segment de bases répétées
- Une série de 6 à 8 bases A sur le brin matrice transcrit en un poly-U (région de faible énergie)

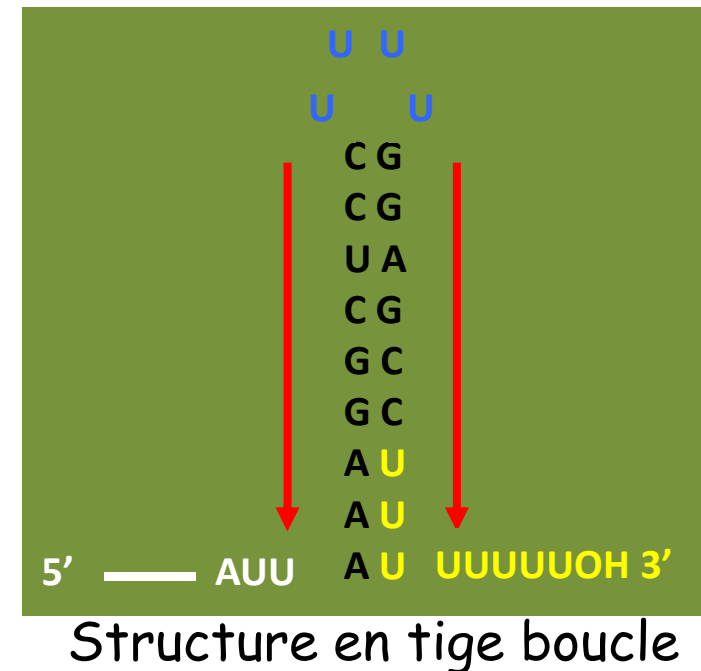


Après transcription de la région de terminaison



- Structure en tige-boucle ou en épingle à cheveux, déstabilise le complexe
- Séquence ARN se termine par un poly-U (région de faible énergie)

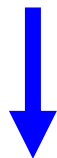
Détachement de l'ARNp



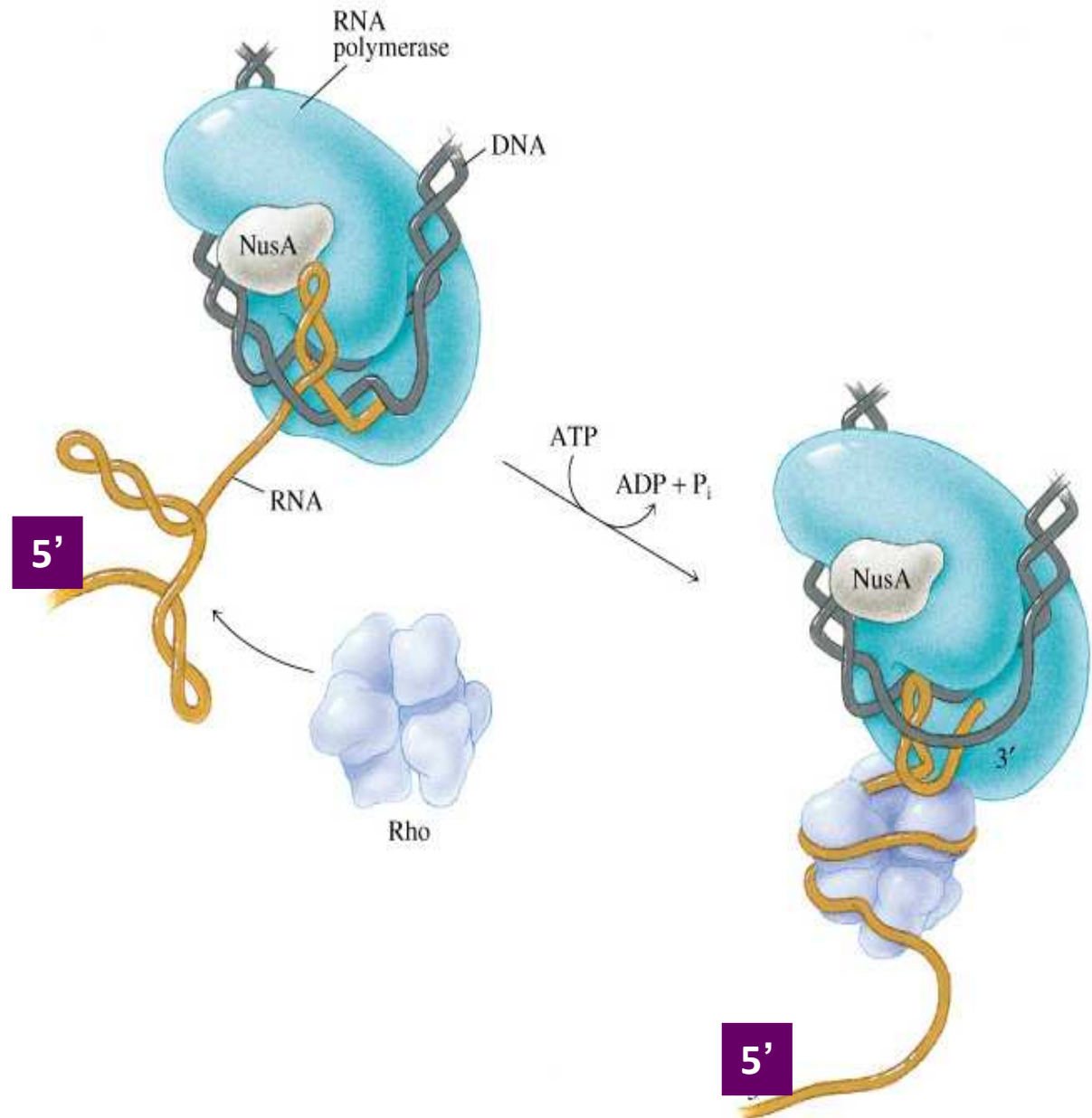
Terminaison rho-dépendante:

Facteur Rho:

- Hélicase ATP dépendante
- **Fixation** à l'extrémité 5' de l'ARNm, **migration** le long de l'ARN, localise le complexe pol-ARN et le **déroule**

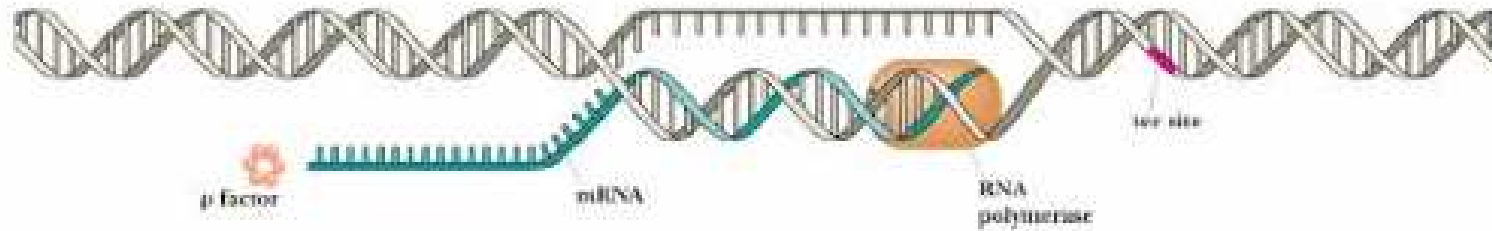


Libération de l'ARN
nouvellement synthétisé



Terminaison rho-dépendante:

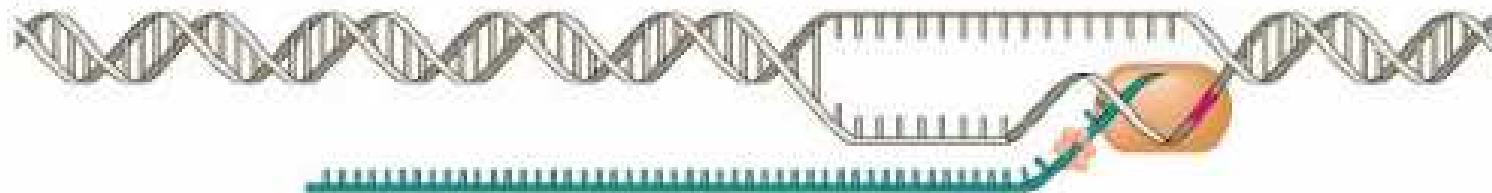
(a)



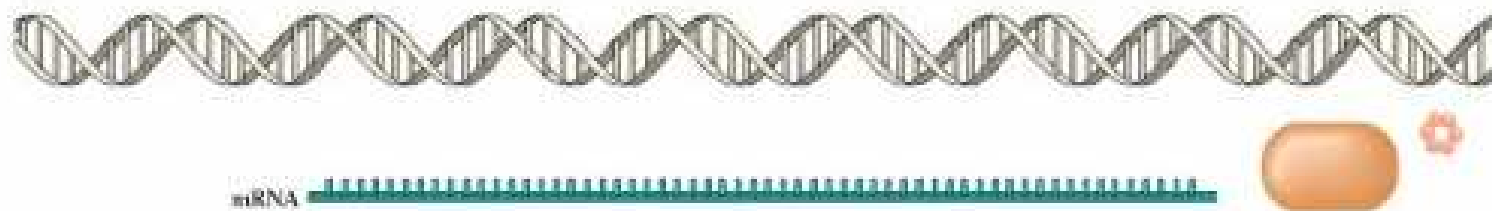
(b)



(c)



(d)



6- Les inhibiteurs spécifiques de la transcription

- **Groupe Rifamycines:** (Rifampicine, rifamycine et rifabutine). Inhibiteur de l'ARNp en se fixant sur la sous unité β
- **Streptomycines:** Inhibiteur de l'ARNp en se fixant sur la sous unité β (site différent des rifamycines)
- **Actinomycines:** inhibition de l'élongation en se fixant à l'ARN sur les paires de bases GC

II- Transcription chez les Eucaryotes

Introduction : Particularités du génome eucaryote

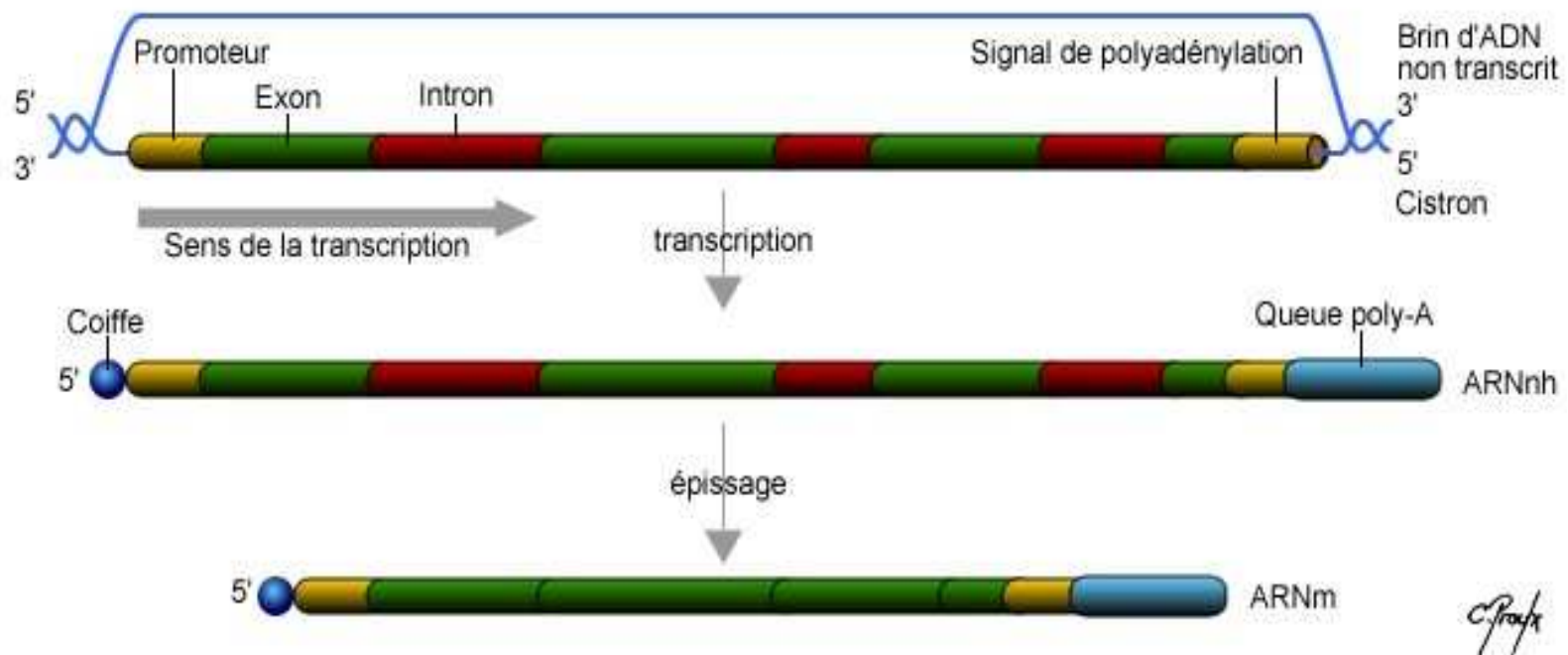
1 - L'initiation et la terminaison de la transcription

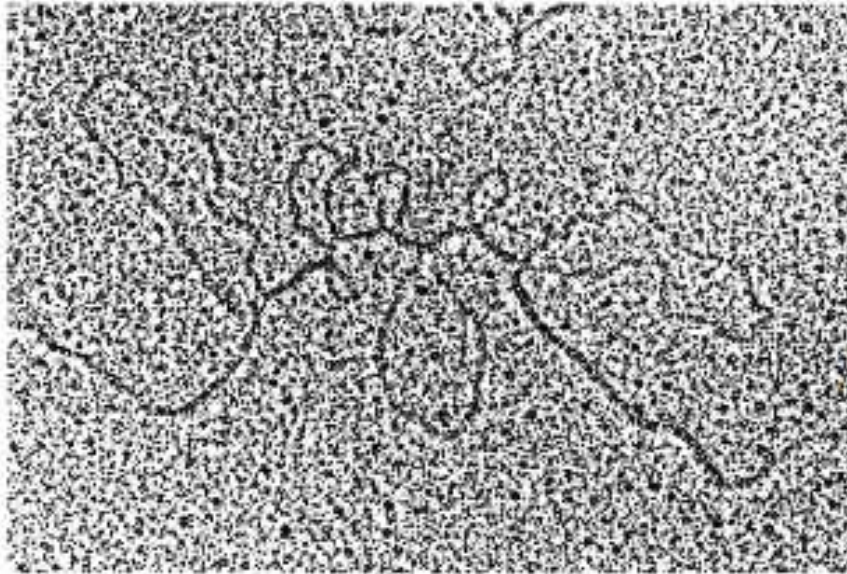
2 - Les modifications post-transcriptionnelles

Introduction:

Particularités du génome des eucaryotes

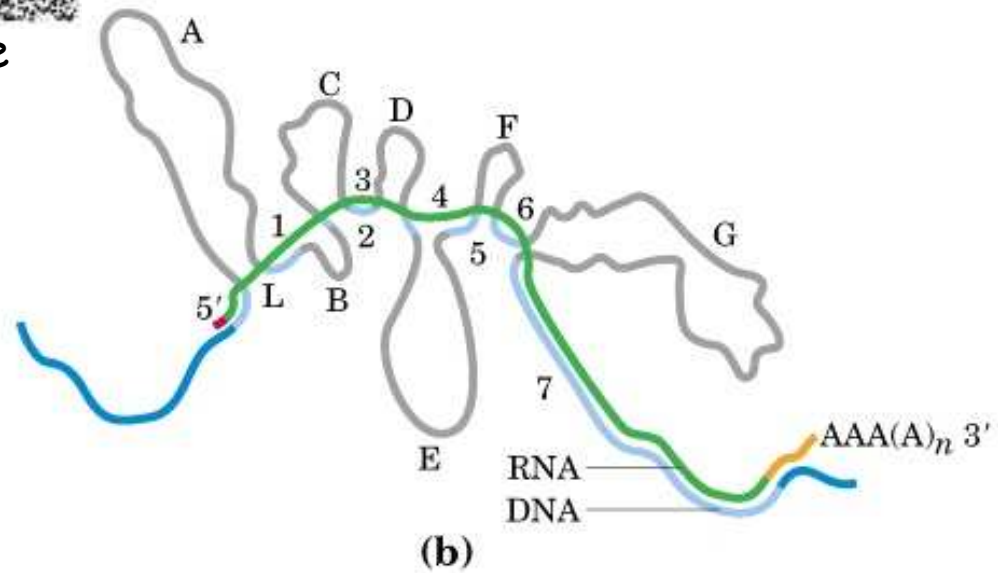
- Diploïde
- Éclaté ou en mosaïque: introns et exons
- Expression compartimentée
- Unité de transcription est monocystronique



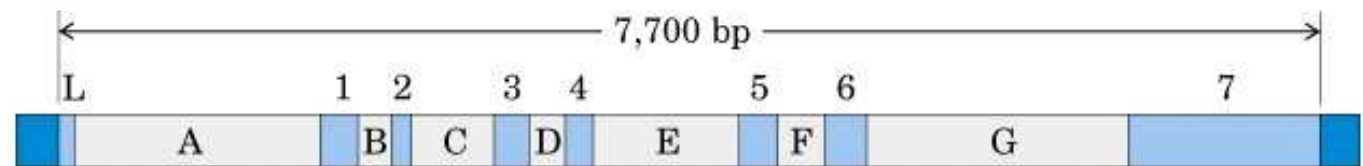


Génome en mosaïque

Hybridation ARNm épissé avec le gène correspondant d'ADN



Introns: A, B, C, D, E, F, G



Les ARN polymérases: Rappel

Chez les eucaryotes: quatre types d'ARN polymérase

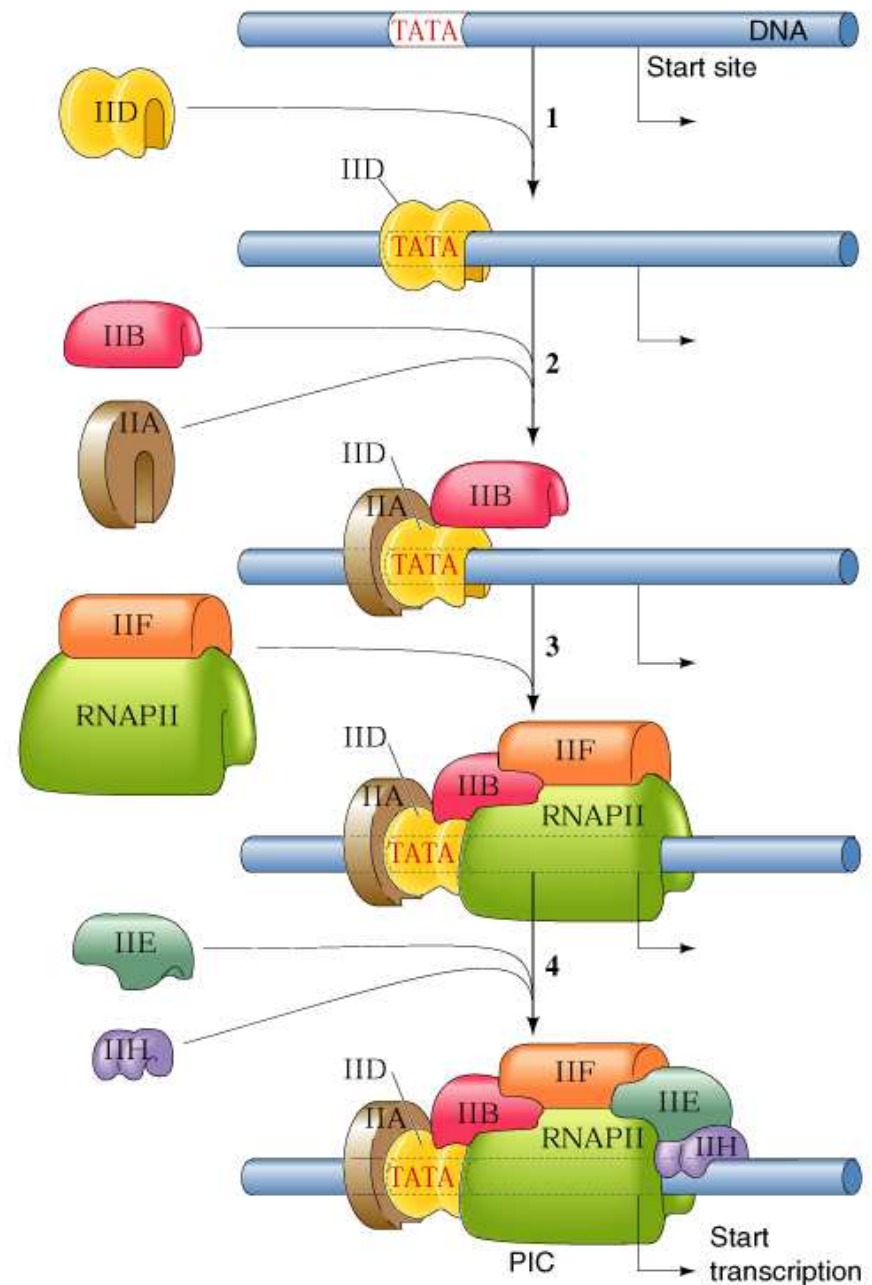
- ✓ **RNA-polymérase I:** Transcription des RNA ribosomiques (18 S- 5,8 S- 28 S)
- ✓ **RNA-polymérase II:** Transcription des RNA messagers et certains des snRNA
- ✓ **RNA-polymérase III:** Transcription des tRNA, rRNA 5S
- ✓ **RNA-polymérase IV** spécialisé dans la transcription de l'ADN mitochondrial et la synthèse de l'hétérochromatine chez les plantes

L'ARN polymérase II

- ❖ Dans le nucléoplasme
- ❖ Plusieurs sous unités polypeptides (10 chez la levure, RPB1 à RPB10)
- ❖ Nécessite 7 facteurs de transcription: A, B, D, E, F, H et séq TATA



Fixation spécifique sur le promoteur



Chez les Eucaryotes, le mécanisme de base de la transcription est identique à celui des Procaryotes

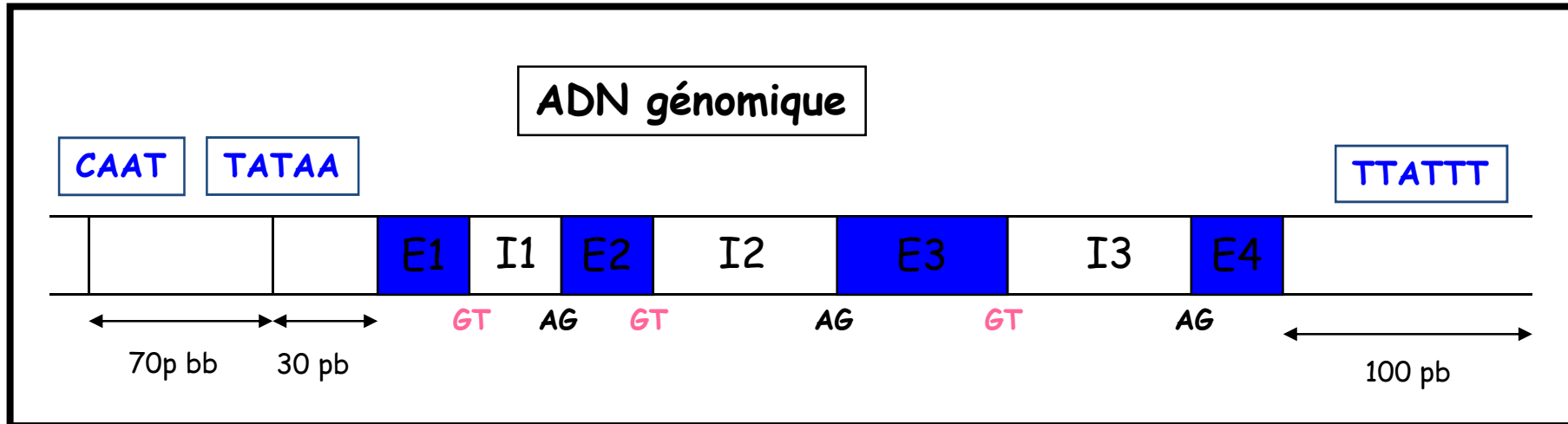
Différences



- ✓ Structure des promoteurs
- ✓ Modifications post-transcriptionnelles des ARN

- ARNr (sauf le 5S): méthylation, bases modifiées et épissage
- ARNt : méthylation, épissage et bases modifiées (U-->ΨU)
- ARNr 5S : pas de modification
- ARNm : coiffés, épissés et polyadénylés. Certaines adénines peuvent également être méthylées

1- Initiation de la transcription et terminaison



Signaux moléculaires nécessaires à l'initiation:

- ❖ 30 PB: Boite **TATA** (équivalente de la Pribnow des procaryotes)
- ❖ 70 PB: **CAAT** ou **Enhancer** (virus): stabilisation du complexe ADN-ARNp

Signal de terminaison:

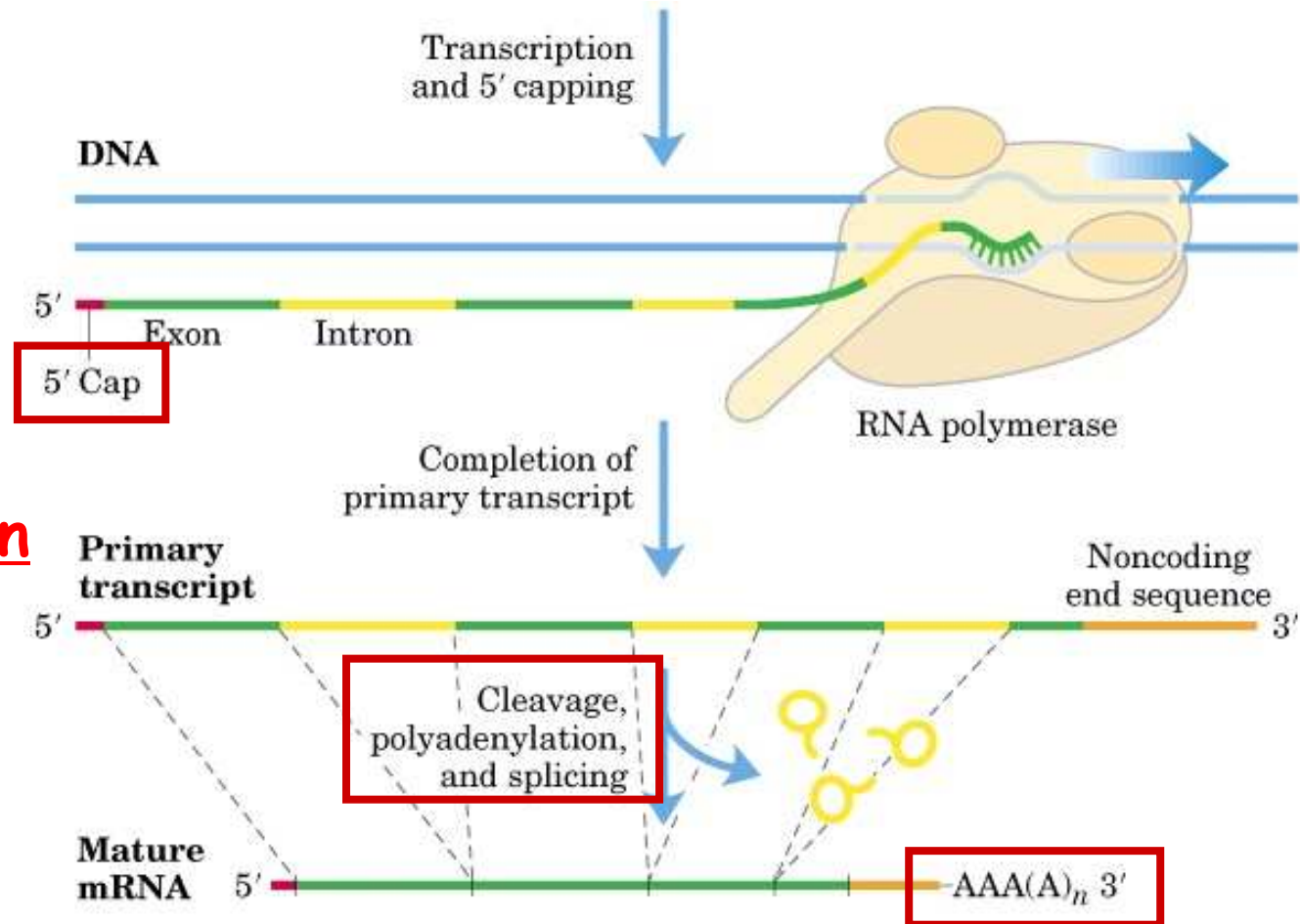
- ❖ Séquence de 6 pb à la fin du gène reconnue par ARN-endonucléase
- >>> Extrémité 3' formée est polyadénylée dans le nucléoplasme

2- Modification post-transcriptionnelle:

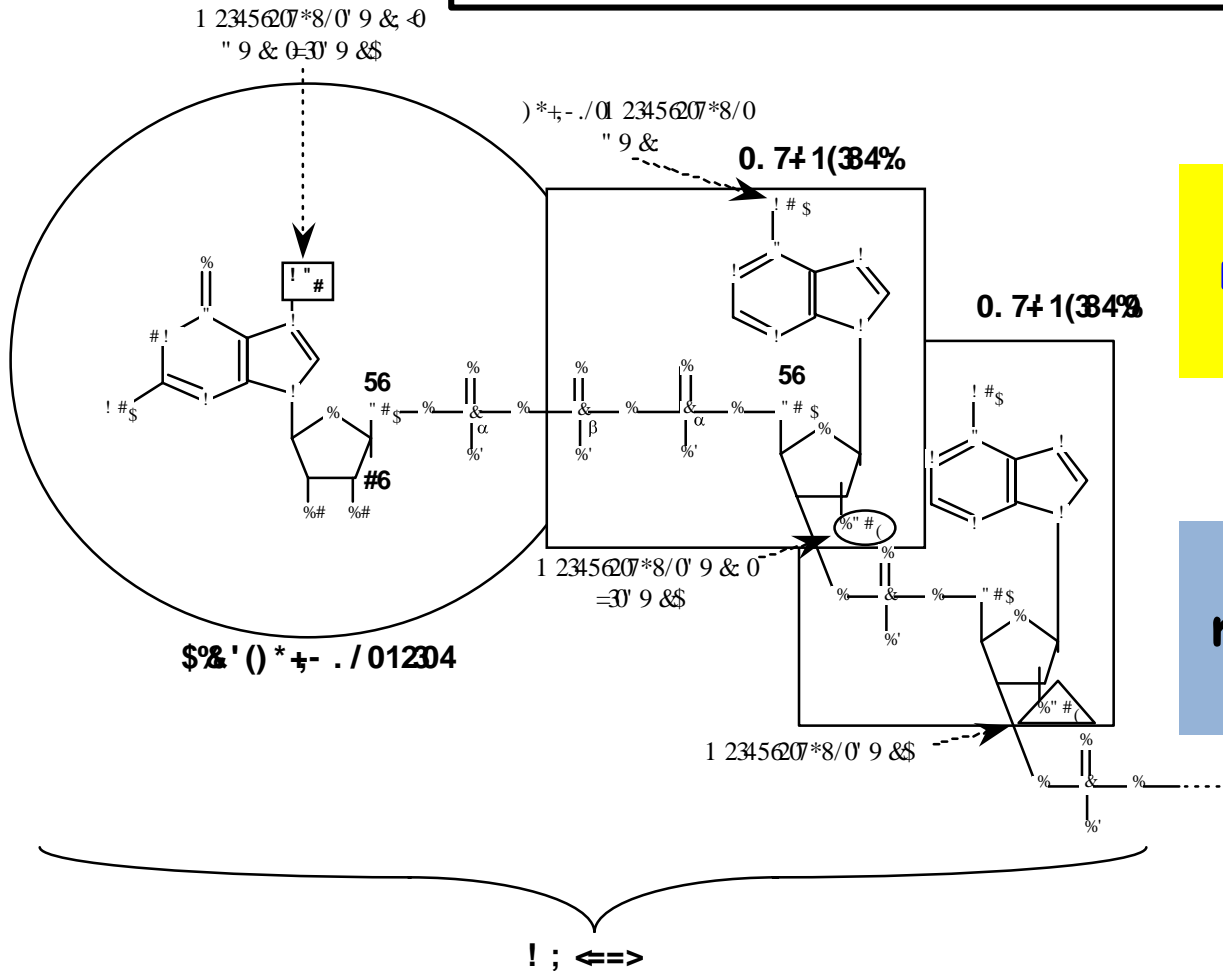
- Capping

- Polyadénylation

- Epissage



α- Coiffe ou capping



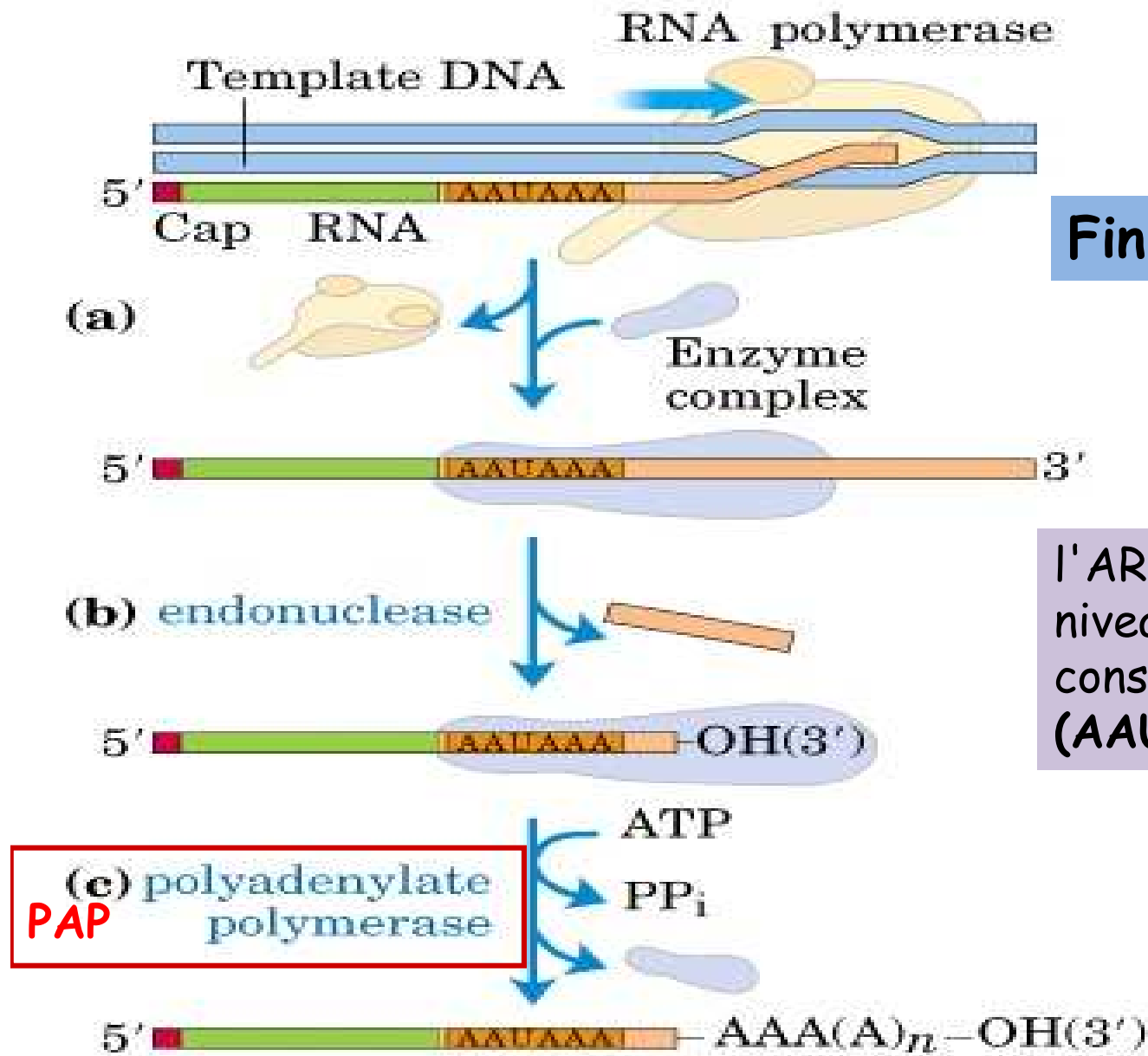
signal de reconnaissance pour les ribosomes

Dernière base du messenger inaccessible aux ribonucléases

Augmente l'efficacité de la traduction

Guanosine méthyliée sur l'azote 7 fixée à l'extrémité 5' par une liaison pyrophosphate 5'-5' à la première base de l'ARN (A ou G)

b- Polyadénylation



Fin de transcription

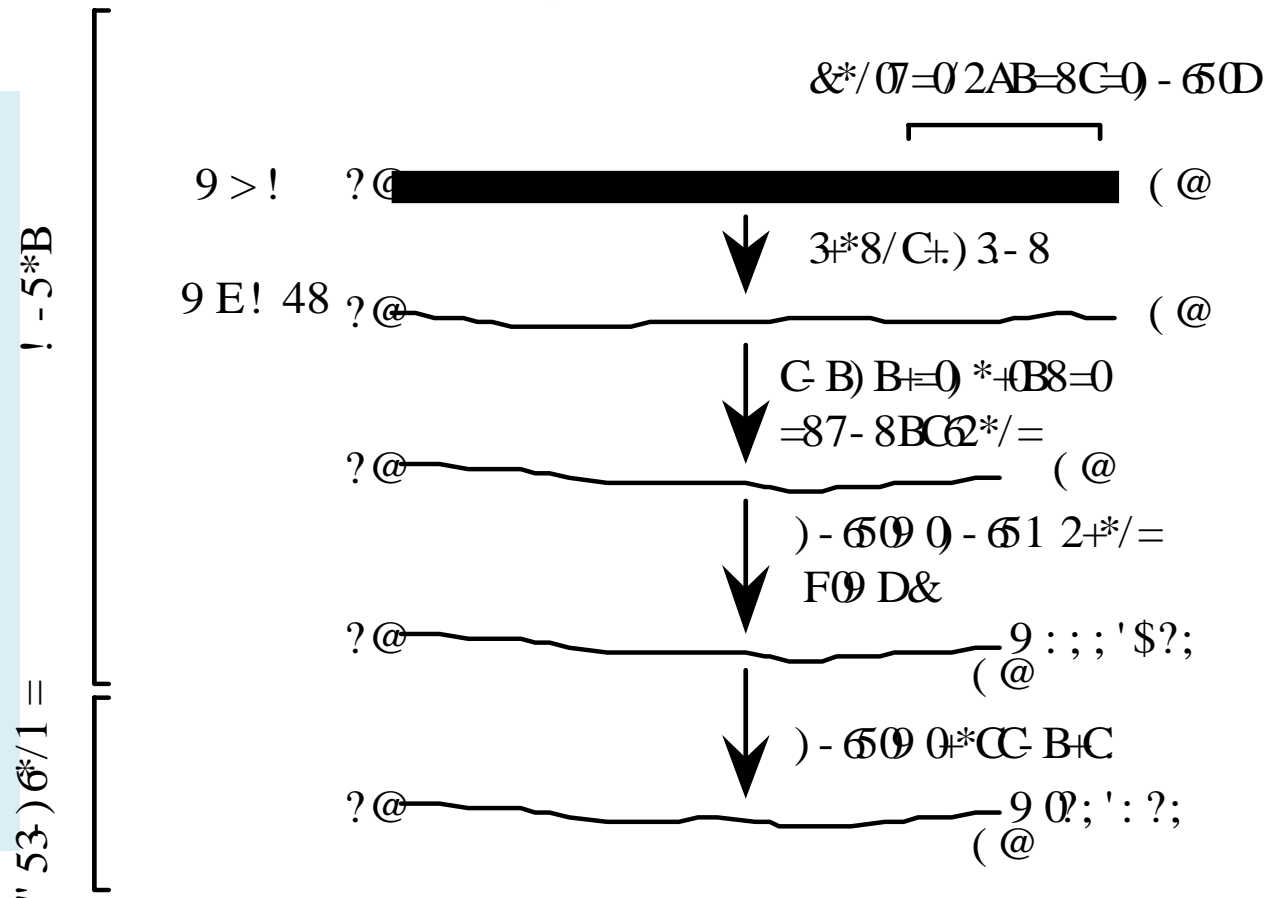
l'ARNm est clivée au niveau d'une séquence conservée hexamérique (AAUAAA) à l'extrémité 3'

Une extrémité poly A est rajoutée par PAP

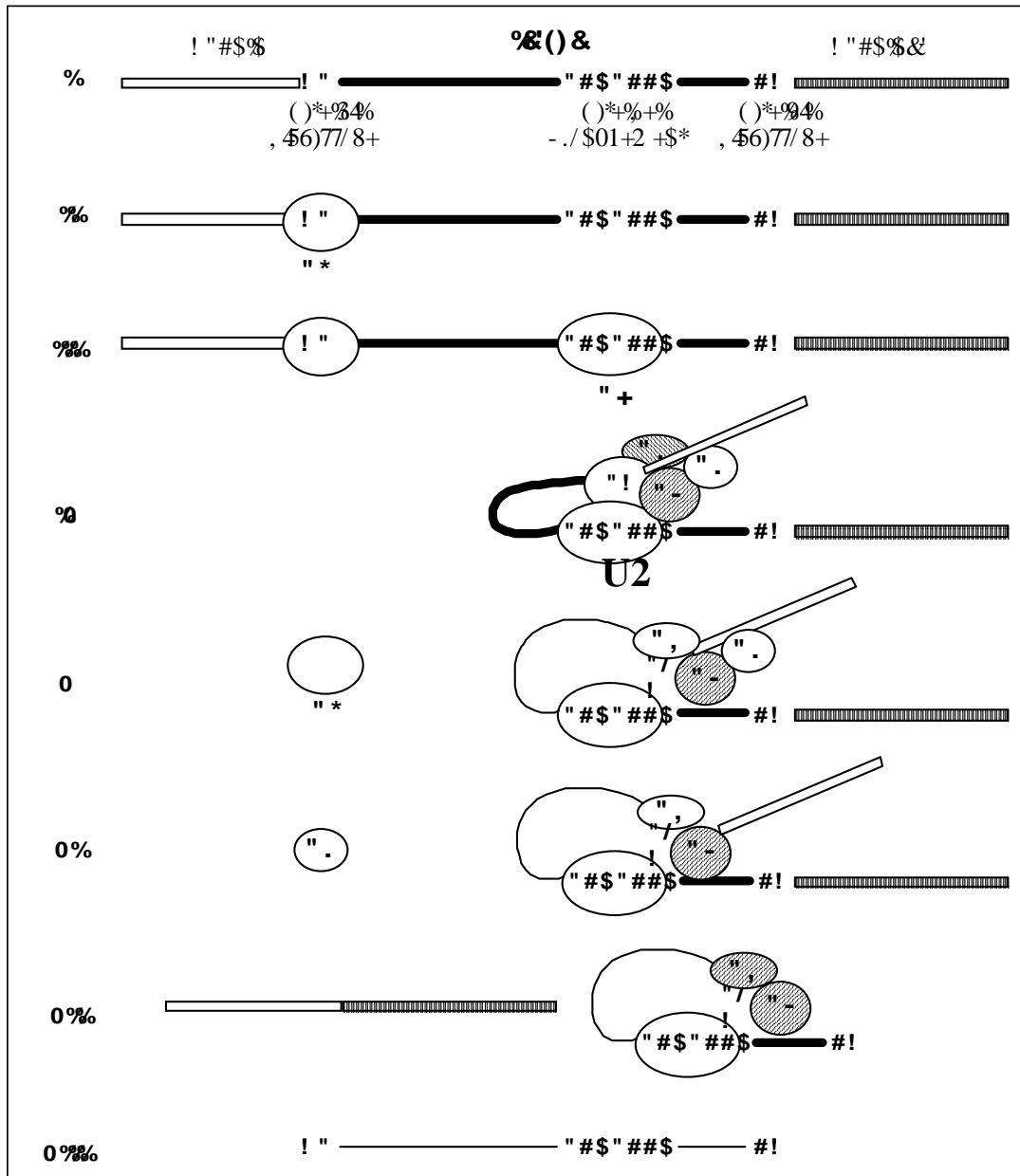
- ❖ La longueur de la queue poly A varie de 100 à 200 nuc.
- ❖ Absente chez les ARNt, les ARNr et les ARNm codant pour les protéines histones
- ❖ La queue polyA sera raccourcie dans le cytoplasme

Rôles du polyA

- ❖ Attachement du messenger à la membrane de RE
- ❖ Transfert du messenger au cytoplasme
- ❖ Stabilisation du messenger (demi vie ARN diminue en son absence)



c- Splicing ou épissage:



Ribonucléo-protéiques snRNP (U1 à U6)

U1 reconnaît le site 5' d'épissage

U2 reconnaît le site de branchement

U4/U5/U6 se lie et U5
reconnaît le site 5' d'épissage

U1 se dissocie suivi de U4 et U5
se déplace de l'exon à l'intron

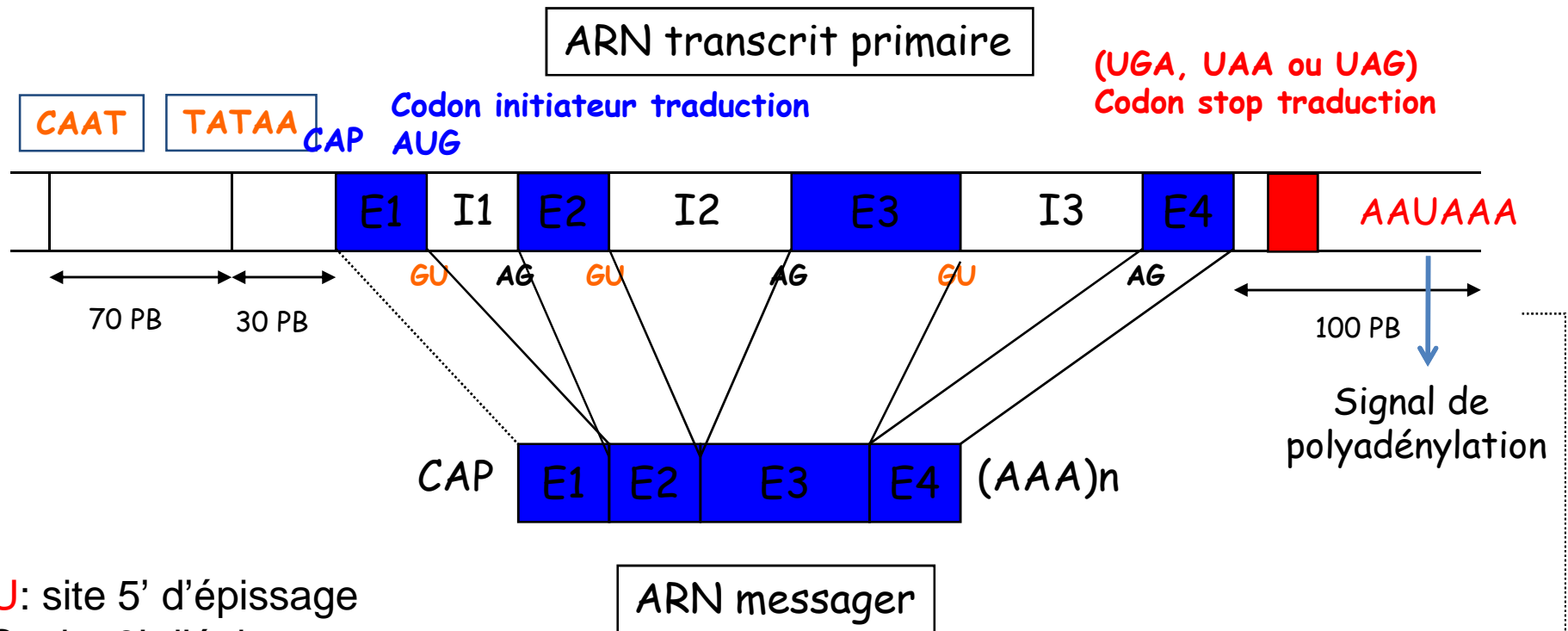
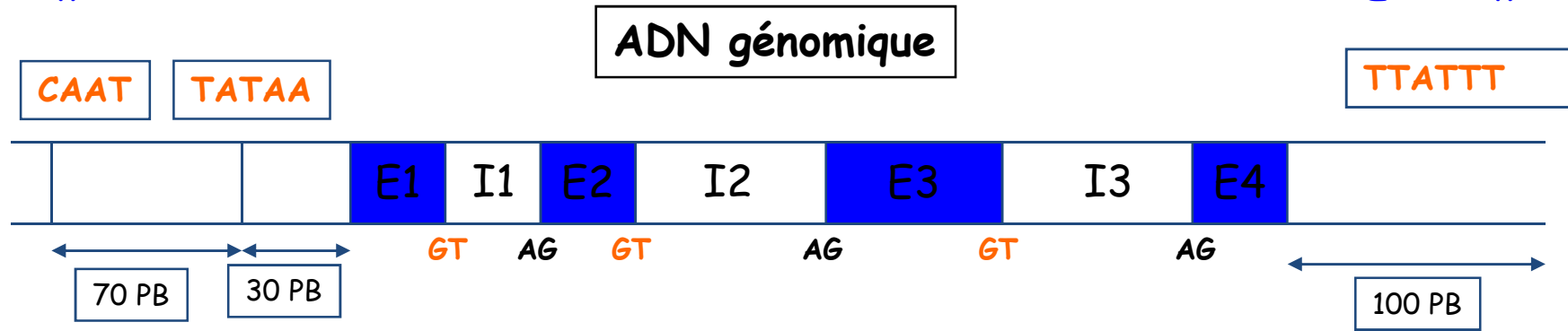
U6 catalyse la trans-
esterification et le site 5'
d'épissage est coupé et le lasso
est formé.

Le site 3' d'épissage est coupé
et les deux exons ligaturés.
L'ARN épissé est libéré.

Récapitulatif

Extrémité 5'

Extrémité 3'



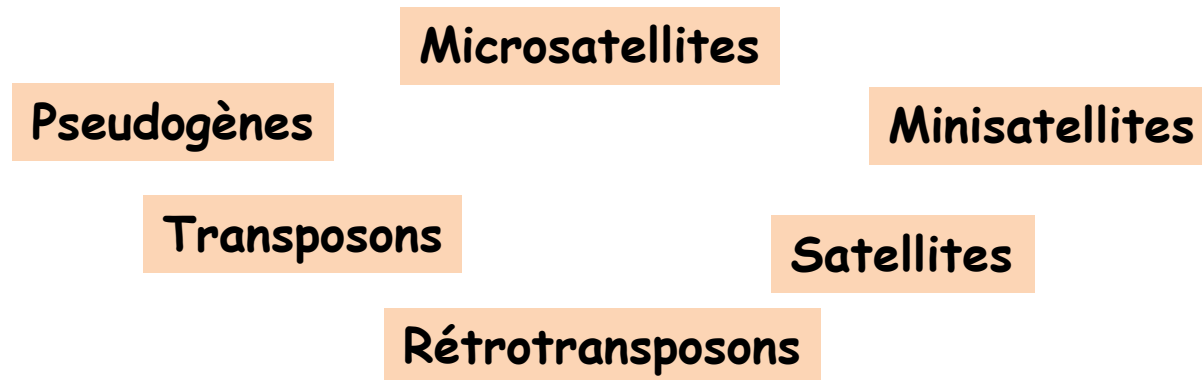
(UGA, UAA ou UAG)
Codon stop traduction

Codon initiateur traduction
AUG

Signal de polyadénylation

GU: site 5' d'épissage
AG: site 3' d'épissage

- ✓ Chez les **eucaryotes**, seulement **3%** de l'ADN code pour des protéines ou des ARNr ou ARNt, 97% non codant (entre les gènes et à l'intérieur des gènes)
- ✓ Les **introns**: séquences d'ADNs non codantes situées à l'intérieur des gènes qui peuvent être:



- ✓ Dans certains cas, un même gène peut être épissé de différentes façons pour donner différentes protéines.
- ✓ Une protéine peut aussi être découpée, après sa synthèse, de différentes façons pour donner différentes protéines.

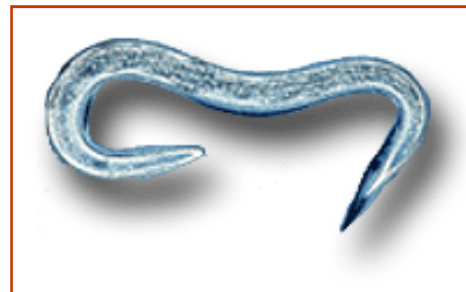
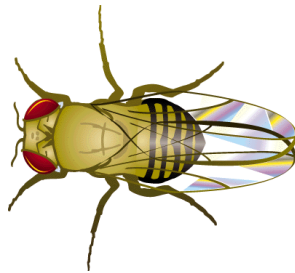
Combien de gènes ?

Selon les équipes qui ont séquencé l'ensemble du génome humain il y aurait **entre 30 000 et 60 000 gènes** dans le génome humain mais plus de 100 000 protéines différentes.

- *Arabidopsis thaliana* (une petite plante) contient 25 000 gènes
- *C. elegans* (un nématode) en contient 19 000
- Drosophile: 13 600



Arabidopsis thaliana



C. elegans