

# Chapitre 2 :

## Mécanismes de diversification du vivant

I. Mécanismes génétiques de diversification du vivant ayant lieu au cours de la reproduction sexuée

A. Les brassages génétiques au cours de la méiose

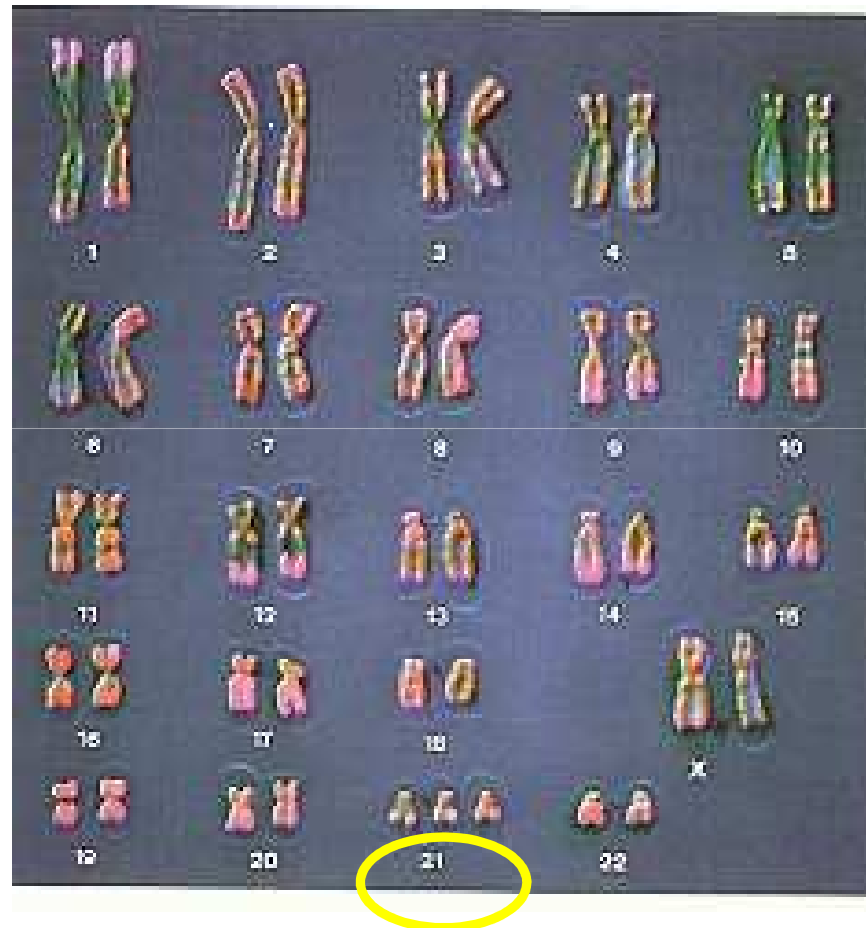
1. Quelques rappels
2. Les croisements test et leur intérêt
3. Le brassage inter chromosomique
4. Le brassage intra chromosomique

B. Le brassage génétique au cours de la fécondation

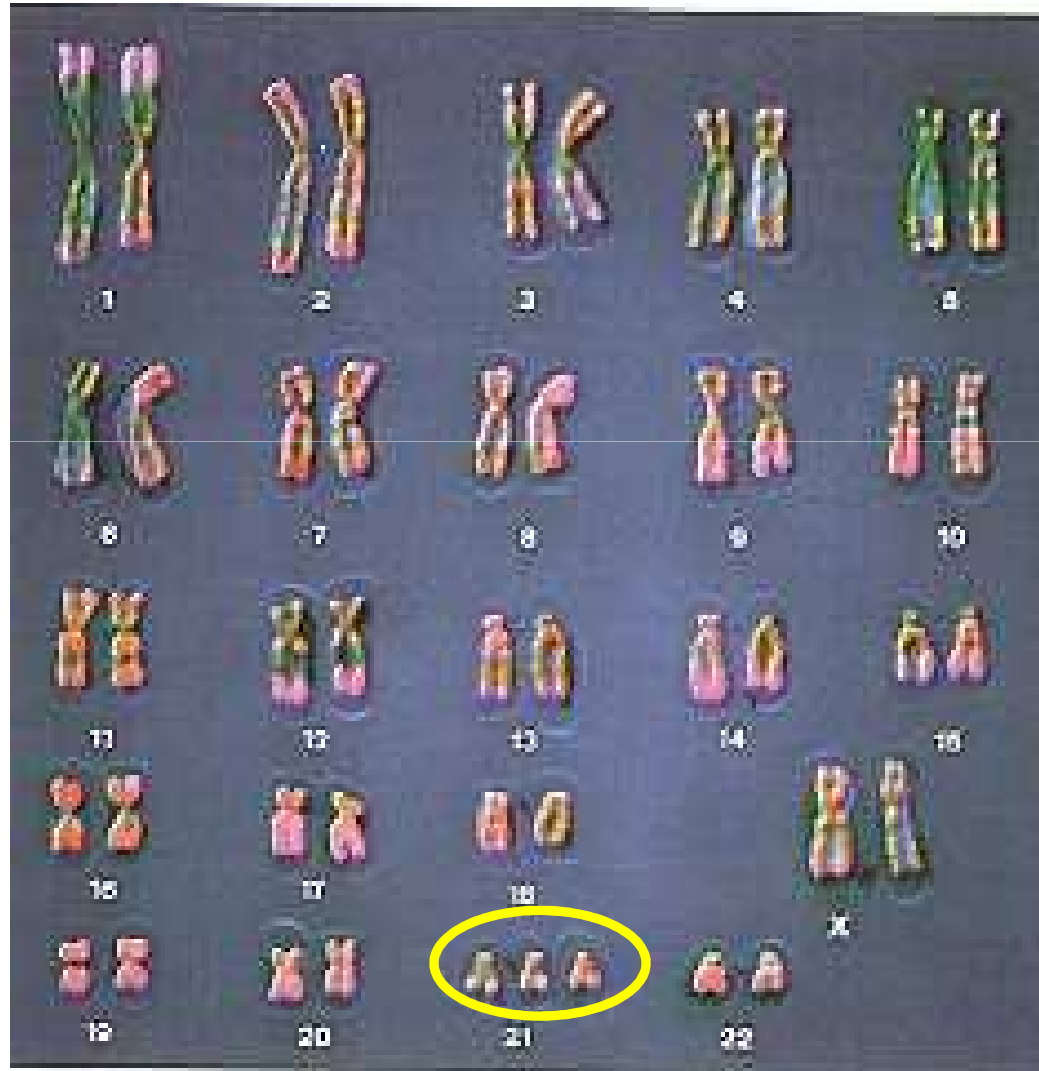
C. Des anomalies au cours de la méiose, sources de troubles et/ou de diversité

1. Des maladies liées à des anomalies du caryotype
2. Anomalies du caryotype et diversification du génome

# Syndrome de Down, mongolisme



## Syndrome de Down associé à une trisomie 21



## D'autres anomalies chromosomiques

Trisomie XXY



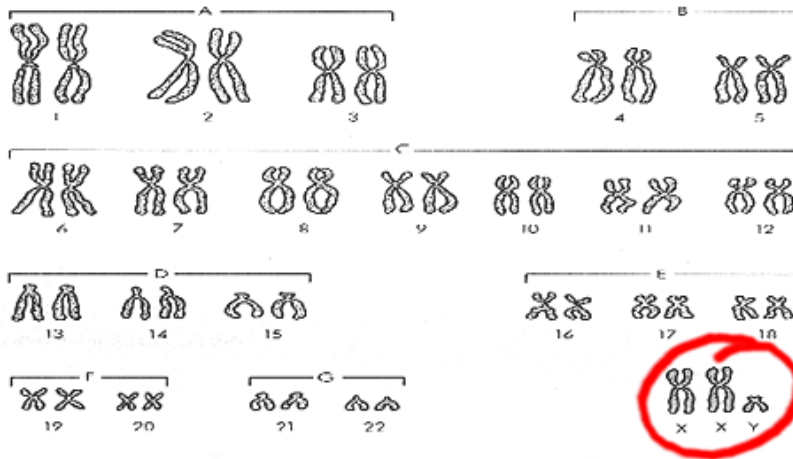
1/800



Syndrome de Klinefelter



- Homme stérile (testicules atrophiés)
- Aspect androgyne
- Pilosité peu développée
- Développement intellectuel le + souvent normal



## D'autres anomalies chromosomiques

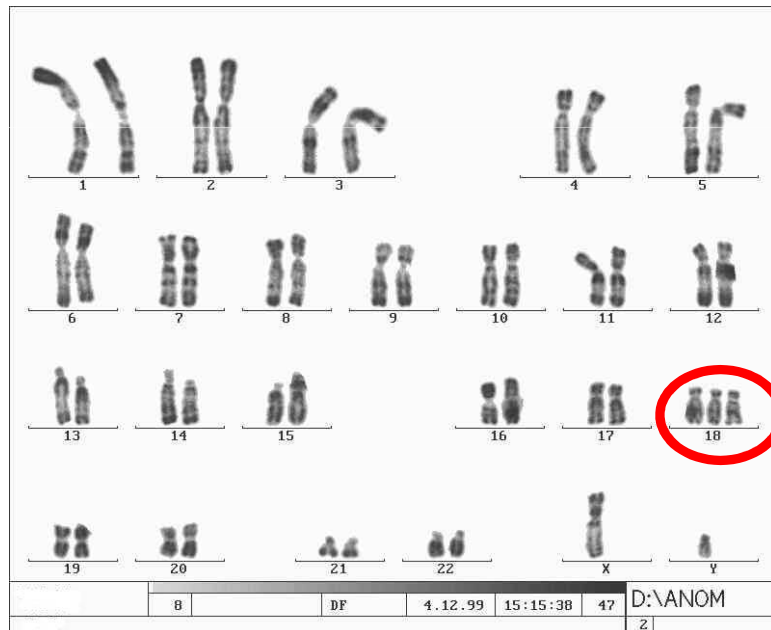
Trisomie 18



1/5000



- Anomalies du crâne, de la face, des pieds, des mains
- malformations viscérales ( cœur, rein)
- évolution toujours mortelle avant l'âge d'1an



## D'autres anomalies chromosomiques

Monosomie X



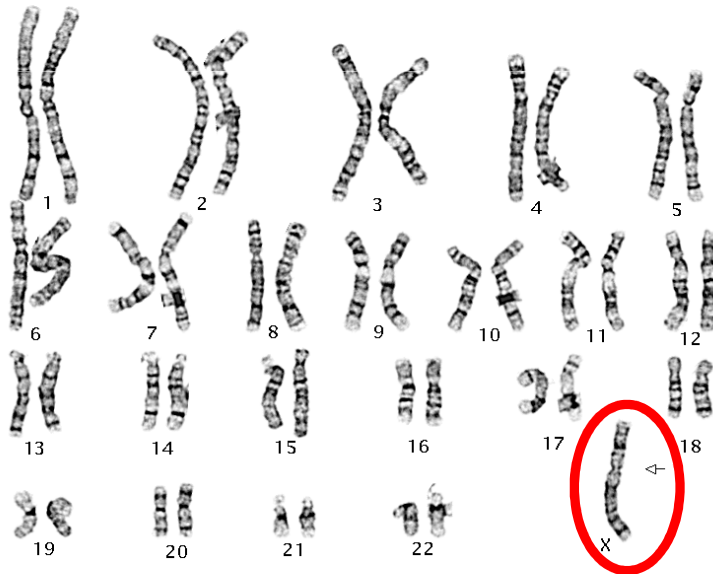
1/800



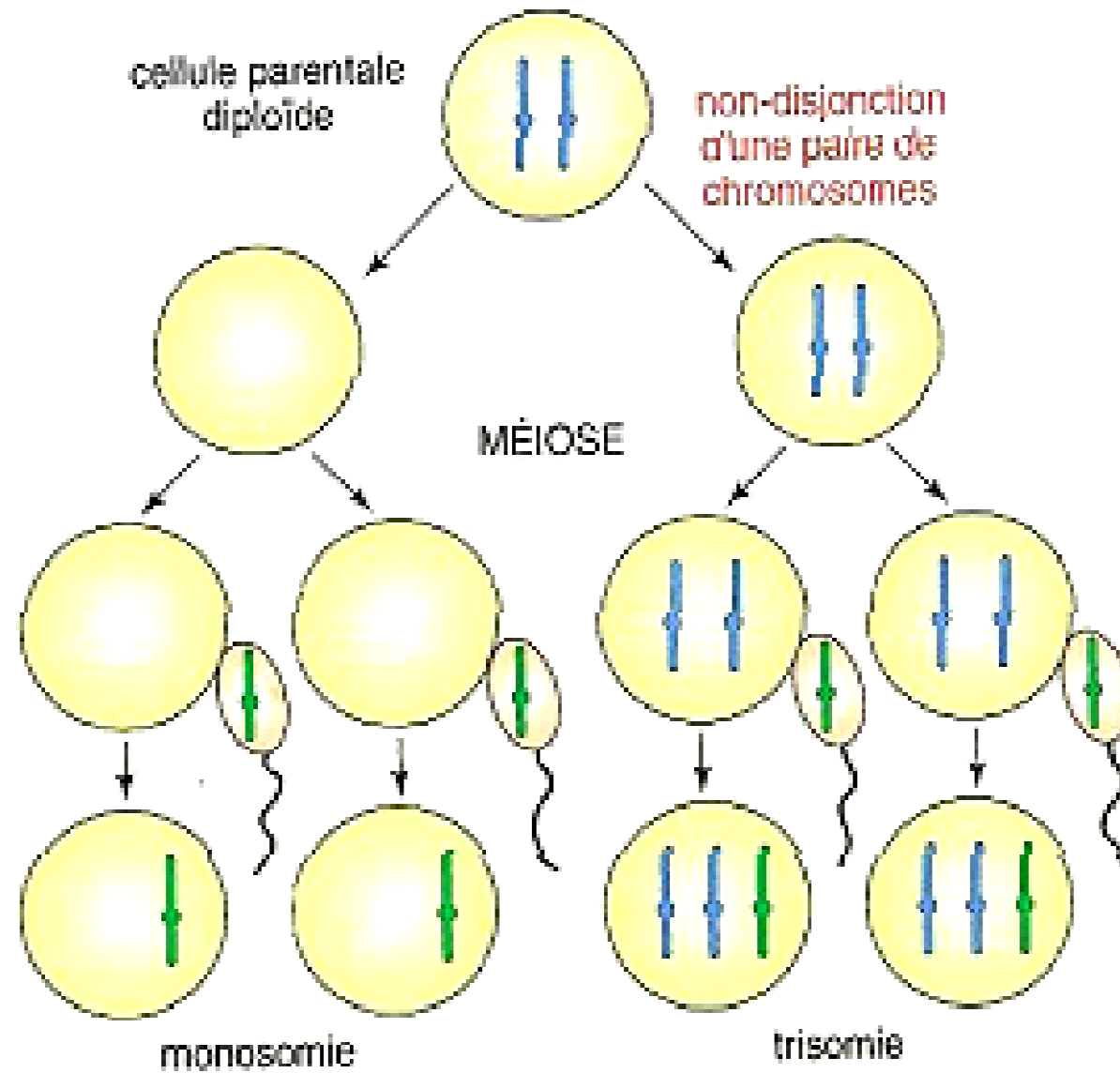
Syndrome de Turner



- Femme de petite taille, stérile
- absence de caractères sexuels secondaires
- Intelligence normale
- Développement intellectuel le + souvent normal



# Origine des anomalies chromosomiques



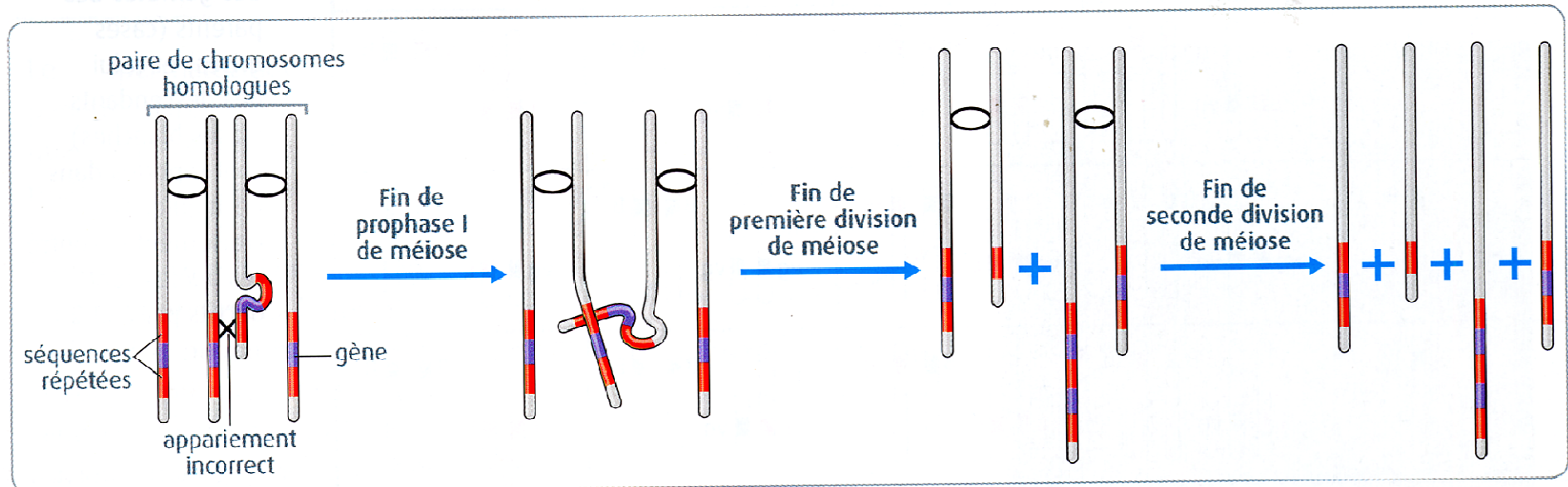
# Chapitre 2 :

## Mécanismes de diversification du vivant

- I. Mécanismes génétiques de diversification du vivant ayant lieu au cours de la reproduction sexuée
  - A. Les brassages génétiques au cours de la méiose
    - 1. Quelques rappels
    - 2. Les croisements test et leur intérêt
    - 3. Le brassage inter chromosomique
    - 4. Le brassage intra chromosomique
  - B. Le brassage génétique au cours de la fécondation
  - C. Des anomalies au cours de la méiose, sources de troubles et/ou de diversité
    - 1. Des maladies liées à des anomalies du caryotype
    - 2. Anomalies du caryotype et diversification du génome



# Crossing over inégaux



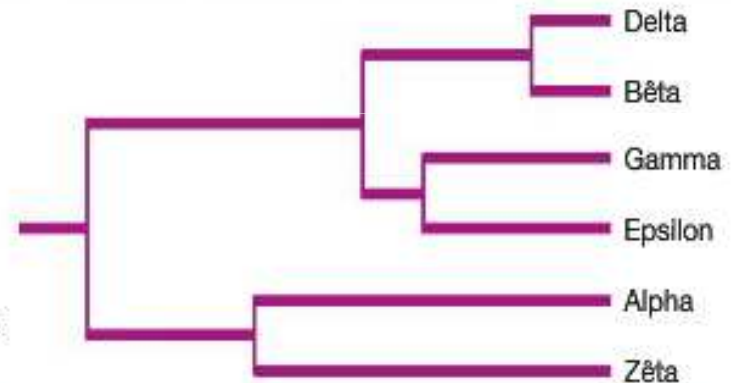
**1 Les crossing-over inégaux.** Dans certaines conditions, en prophase I de méiose, un appariement incorrect peut survenir, à l'origine d'un crossing-over qualifié d'inégal.

## Exemple d'une famille multigénique : les globines

- La molécule d'hémoglobine, qui assure le transport du dioxygène sanguin, est constituée de l'association de deux types de globines différentes. Il existe chez l'Homme six types de globines, codées chacune par un gène différent. Ceci permet à l'Homme de produire différentes hémoglobines au cours de la vie (notamment pendant la vie embryonnaire et fœtale).
- La comparaison des séquences des différentes globines révèle d'importantes différences mais suffisamment de ressemblances pour attester d'une origine commune : on pense en effet que ces gènes se sont formés à partir d'un unique gène ancestral. C'est ce que l'on appelle une **famille multigénique**.
- Le pourcentage de différences entre les globines (*tableau ci-contre*), dues à l'accumulation de mutations ponctuelles, permet d'ordonner chronologiquement les épisodes de duplication génique à l'origine de la constitution de cette famille.

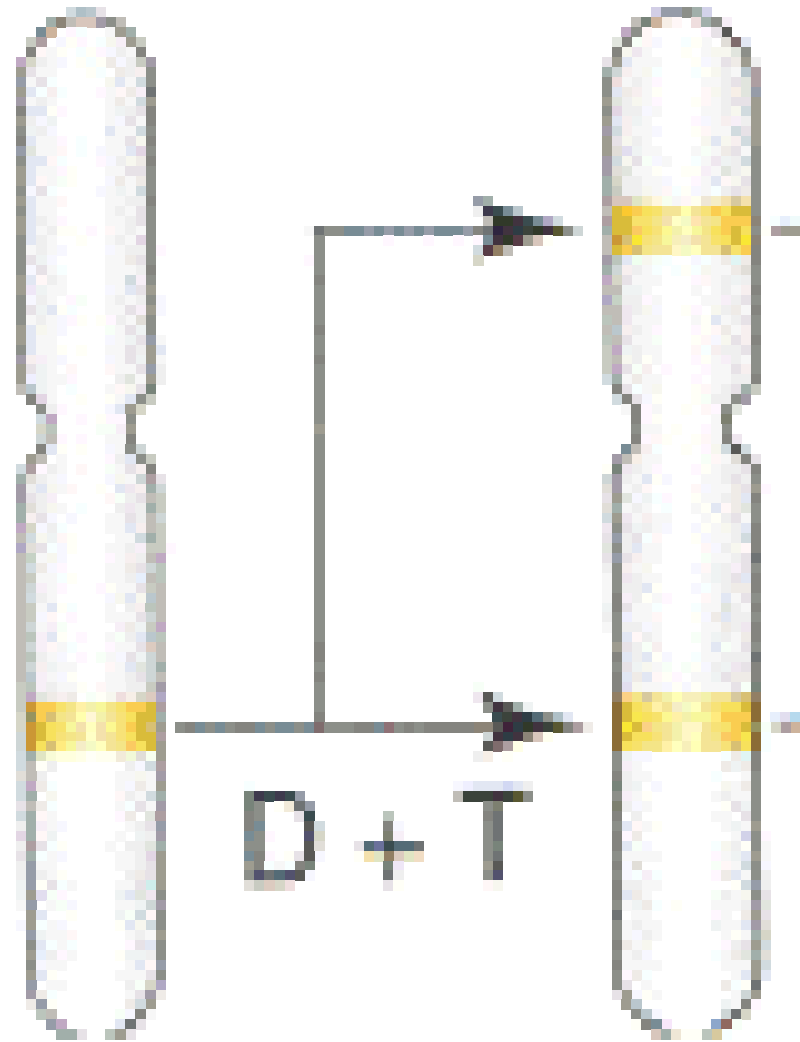
	alpha	zêta	gamma	epsilon	delta	bêta
alpha	0	39,3	57,9	60,7	55,7	55
zêta		0	59,3	59,3	60,7	62,1
gamma			0	19,3	28,6	26,4
epsilon				0	27,1	23,6
delta					0	6,5
bêta						0

Arbre de parenté des globines

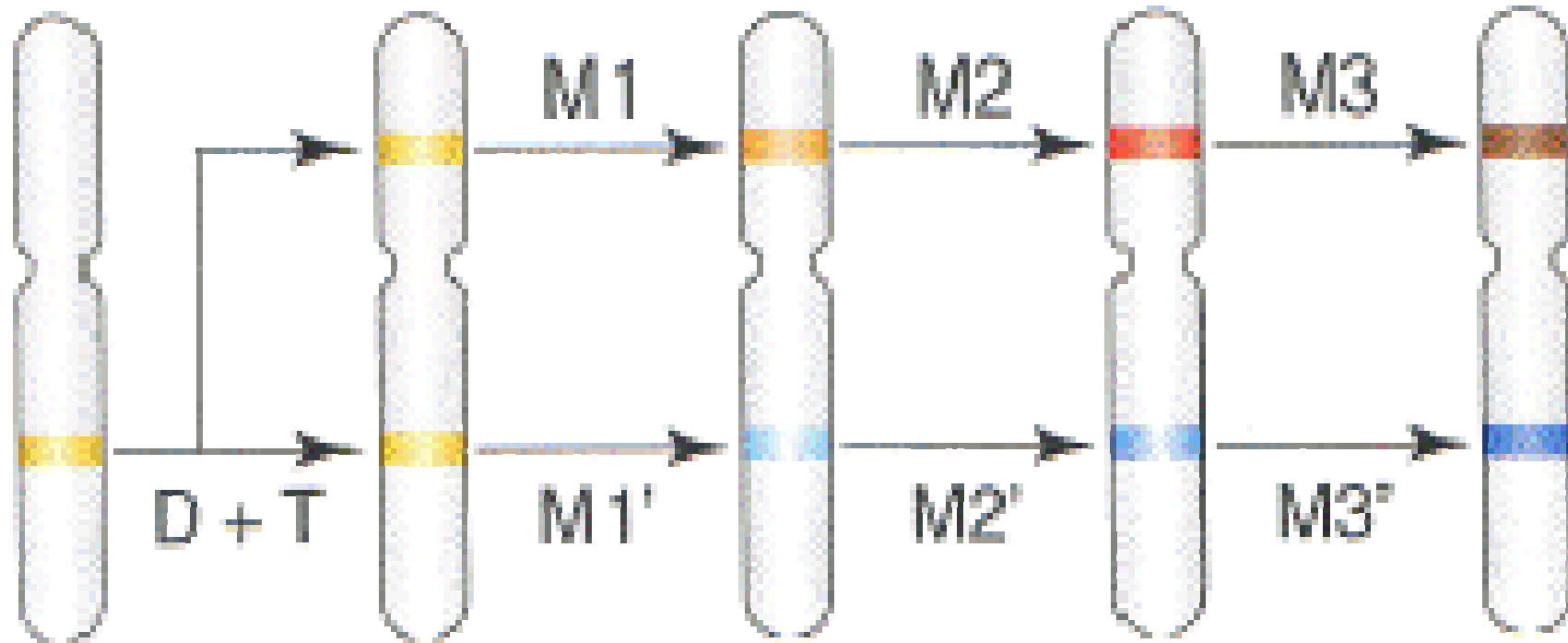


**Doc. 4** La constitution d'une famille multigénique.

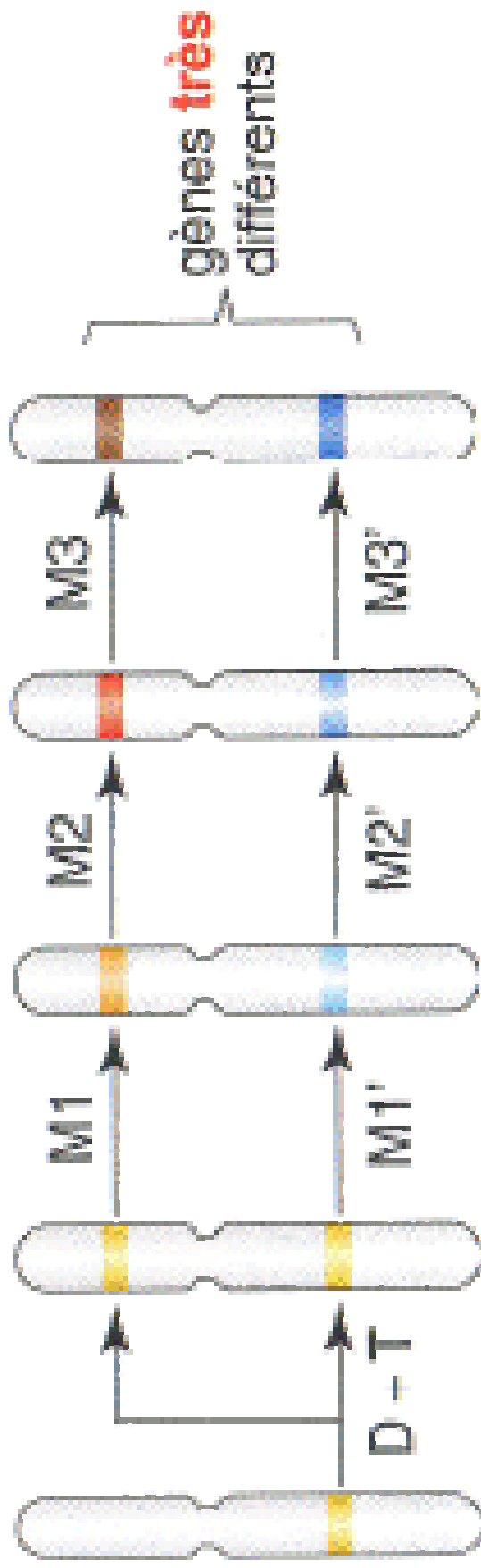
## Duplication de gène



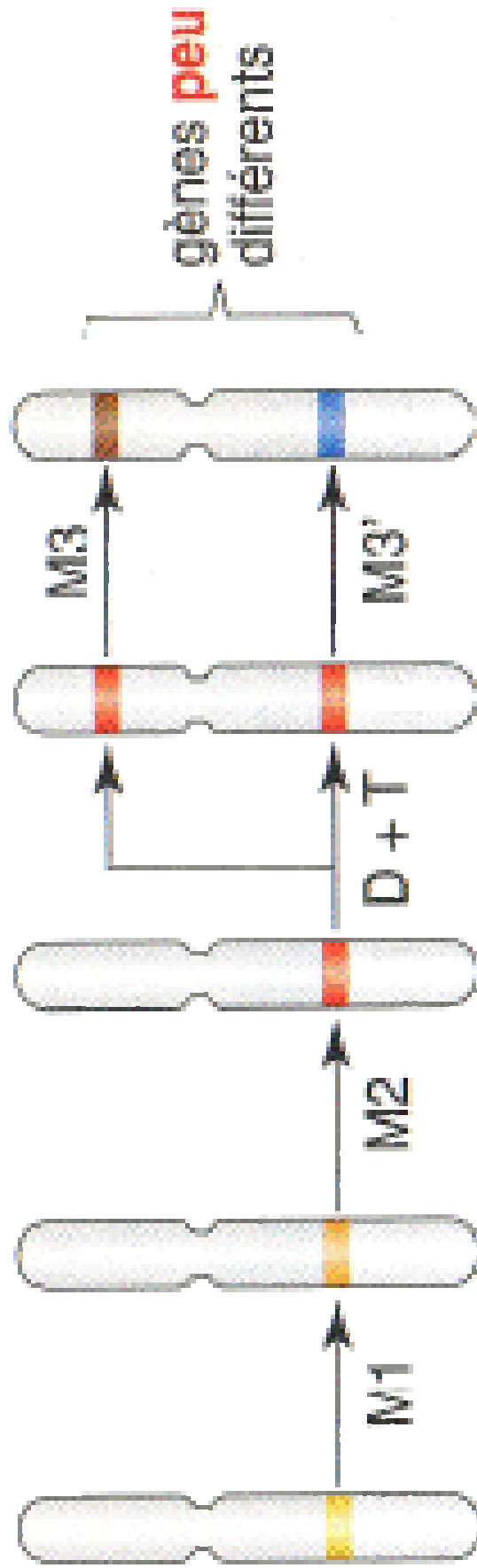
## Divergence de séquences dupliquées par mutation



• Cas d'une duplication ancienne



• Cas d'une duplication récente



# Famille multigénique

- ensemble de gènes possédant des **séquences très similaires** (par convention au moins 20%), issus d'un gène ancestral par duplications/transposition et mutations

## Permet

- **Enrichissement du génome** ( $\nearrow$  nb gènes)
- **Diversification du génome** (*apparition de gènes  $\neq$  codant pour des protéines  $\neq$* )

- A l'échelle d'une génération, la variabilité génétique est assurée:
  - Au cours de la méiose par le brassage inter et intra chromosomique
  - Au cours de la fécondation par l'union aléatoire de deux gamètes.

**Faire un œuf, c'est faire du neuf**

- A l'échelle de l'évolution, la variabilité génétique peut découler:
  - De crossing over inégaux au cours de la méiose



## Chapitre 2 :

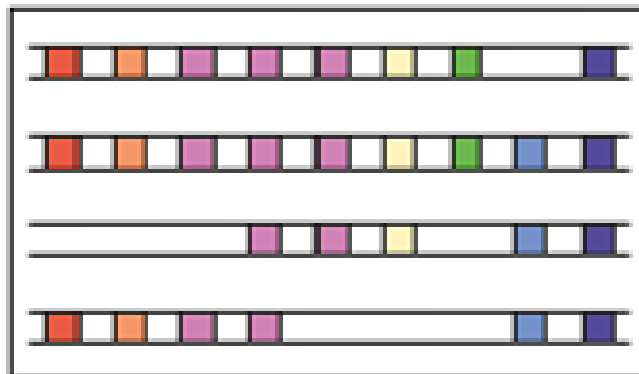
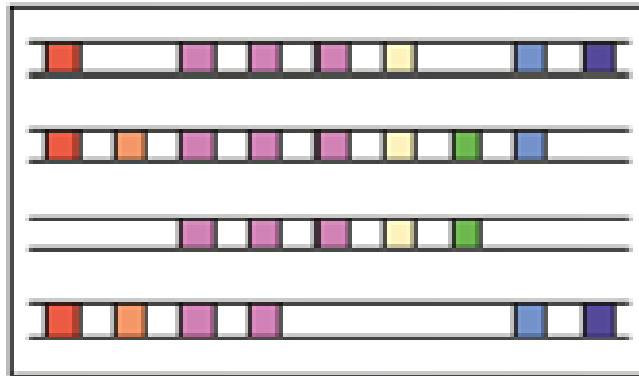
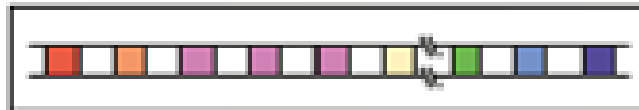
# Mécanismes de diversification du vivant

- I. Mécanismes génétiques de diversification du vivant ayant lieu au cours de la reproduction sexuée
- II. Modifications dans l'expression de gènes et diversification du vivant
  - A. Les gènes de développement
  - B. Des modifications de la zone d'expression des gènes de développement
  - C. Des modifications dans l'intensité, la durée ou la chronologie d'expression des gènes de développement
- III. Modification des génomes et diversification du vivant
- IIV Des processus de diversification du vivant non génétiques

# Des gènes de développement

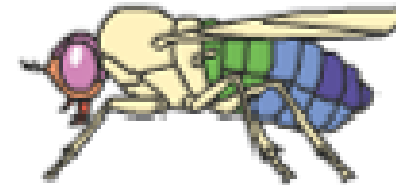
## Organisation des complexes de gènes homéotiques et leurs domaines d'expression chez trois animaux

Disposition des gènes sur les chromosomes

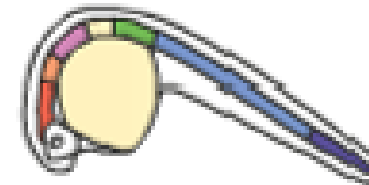


Régions où les gènes s'expriment

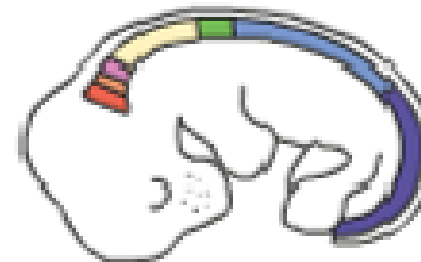
drosophile



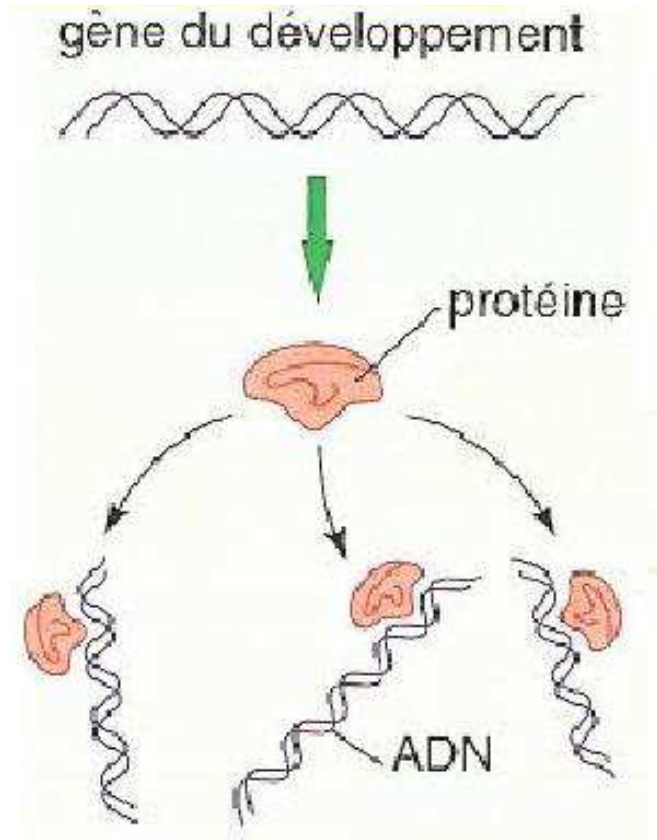
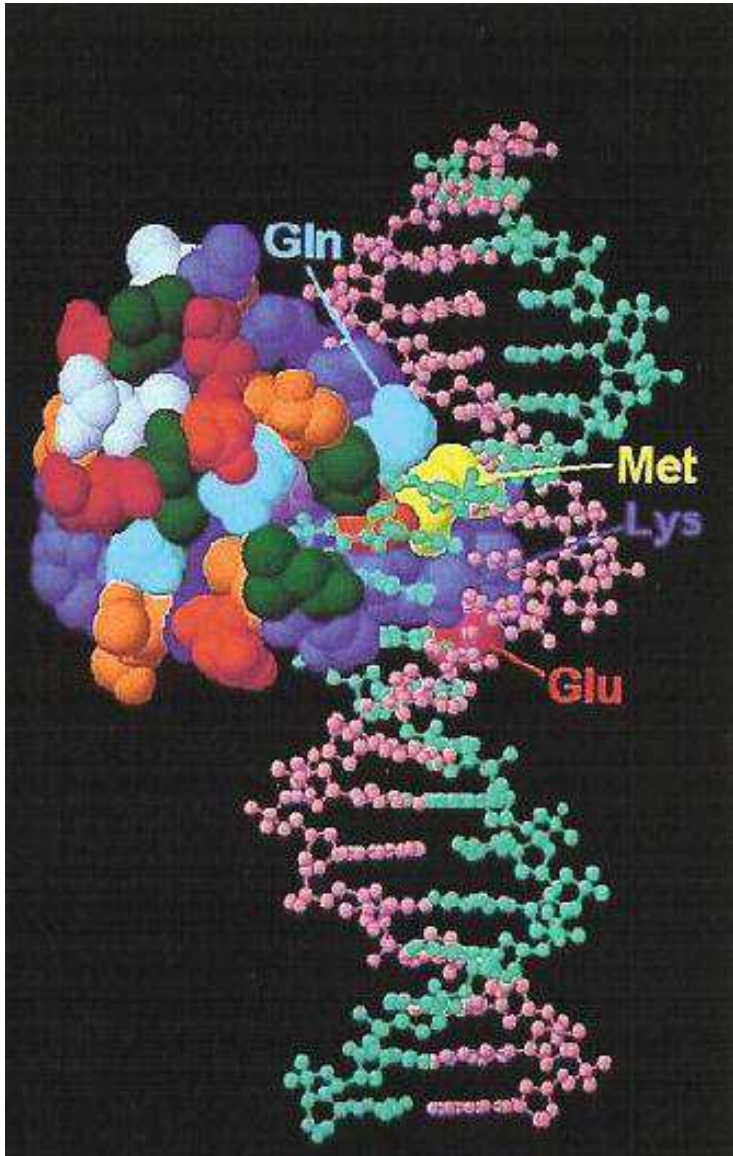
poisson zèbre (embryon)



souris (embryon)

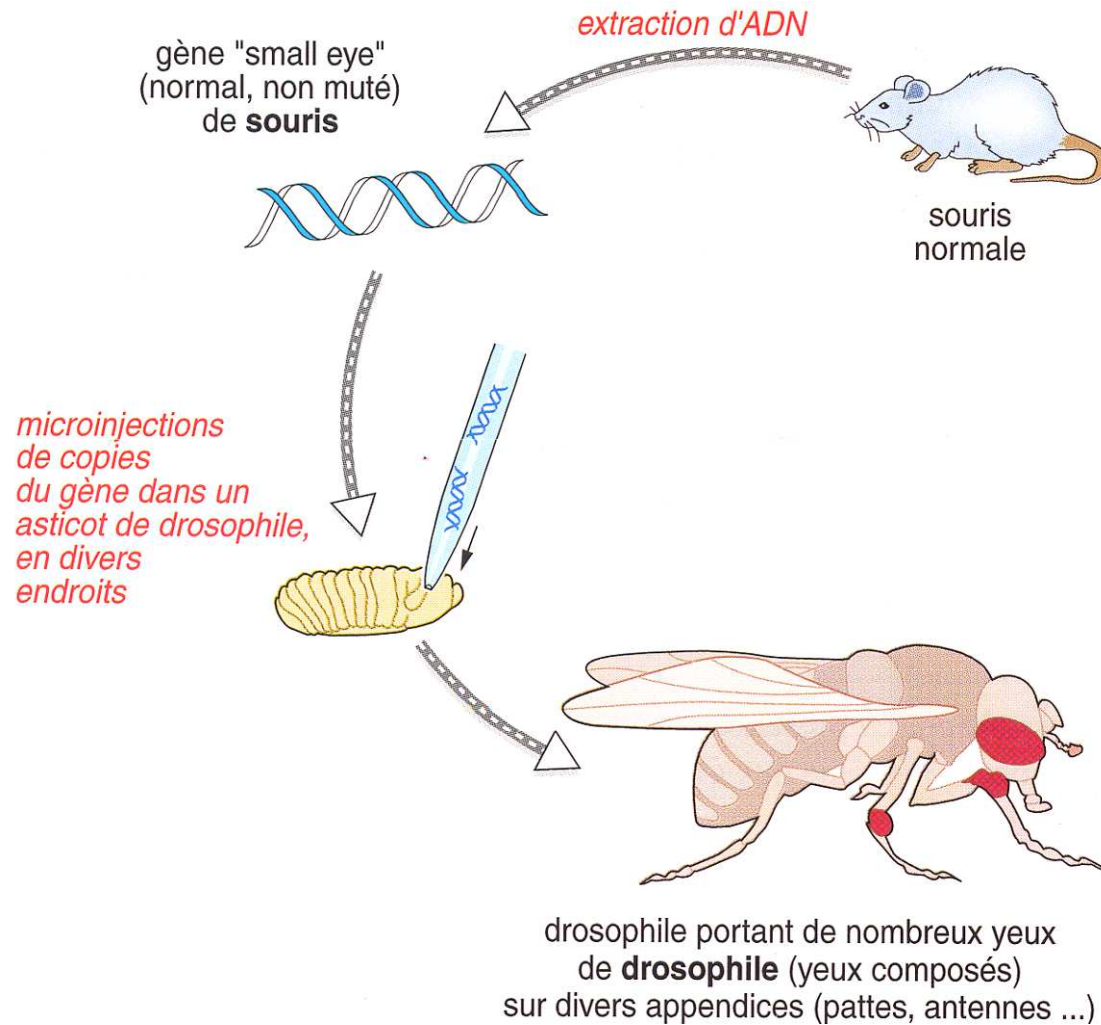


## Des gènes de développement



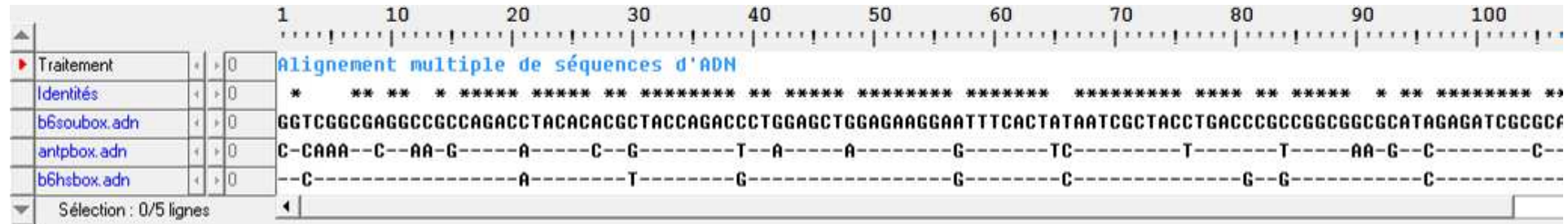
**Synthèse de toutes les protéines  
nécessaires à la mise en place  
d'une partie du corps**

## Résultat d'une expérience de transgénèse



L'œil de drosophile est un organe complexe. C'est un œil d'insecte, très différent de celui des mammifères ; il est qualifié de « composé » car constitué de multiples facettes. On estime qu'au moins 2 500 gènes différents interviennent pour diriger la fabrication par les cellules des différents matériaux constitutifs d'un tel œil !

## Comparaison du gène responsable de la formation de l'œil chez différentes espèces



	souris	drosophile	homme
Souris	100 %	81,7 %	92,2 %
drosophile		100 %	83,3 %
homme			100 %

**Forte homologie de séquence (> 20 %)**

**Ces gènes dérivent d'un gène ancestral commun**

## Chapitre 2 :

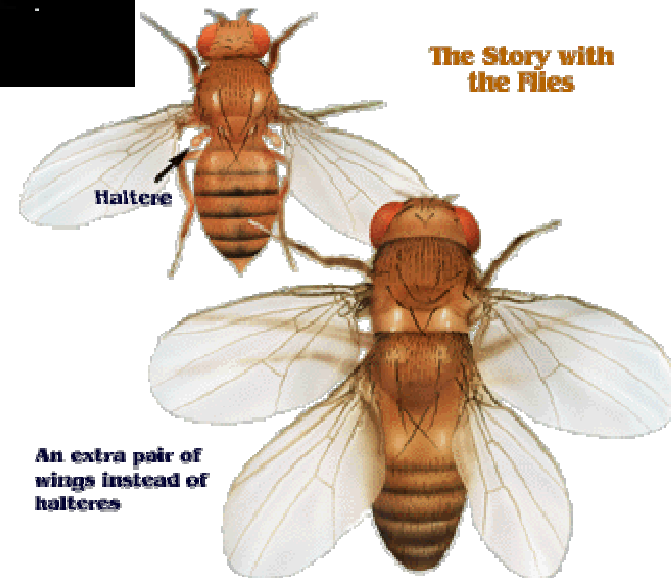
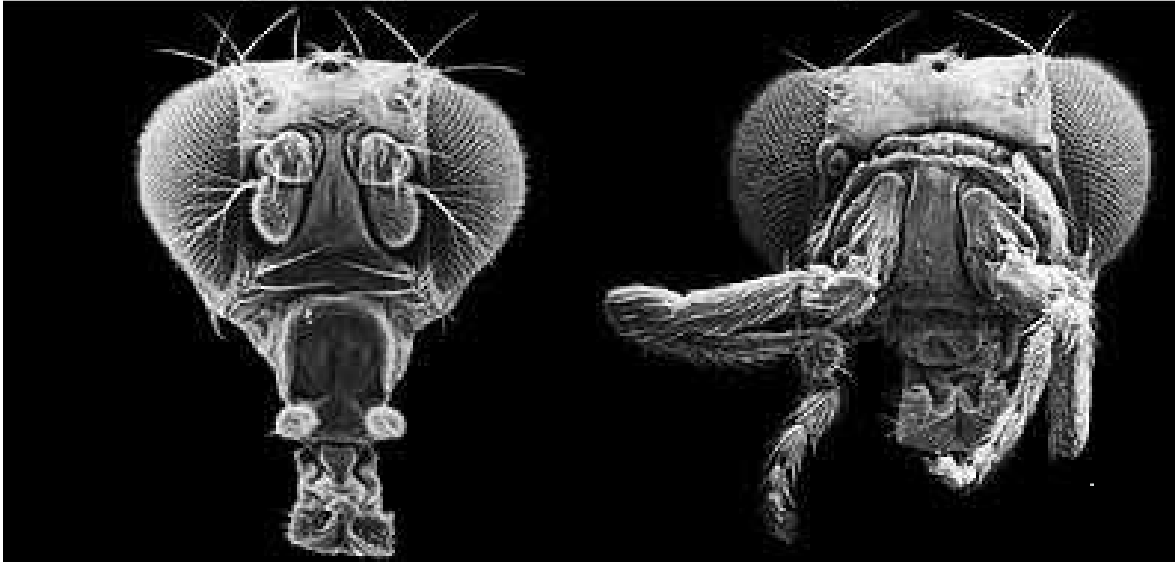
# Mécanismes de diversification du vivant

- I. Mécanismes génétiques de diversification du vivant ayant lieu au cours de la reproduction sexuée
- II. Modifications dans l'expression de gènes et diversification du vivant
  - A. Les gènes de développement
  - B. Des modifications de la zone d'expression des gènes de développement
  - C. Des modifications dans l'intensité, la durée ou la chronologie d'expression des gènes de développement
- III. Modification des génomes et diversification du vivant
- IIV Des processus de diversification du vivant non génétiques

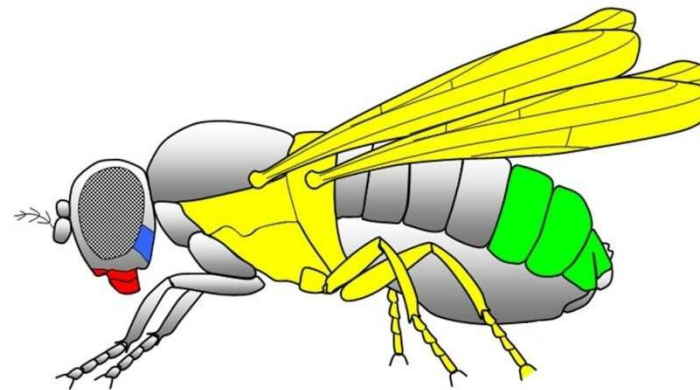
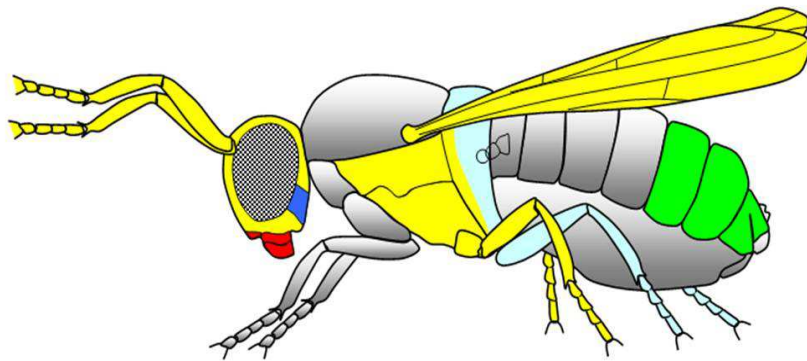
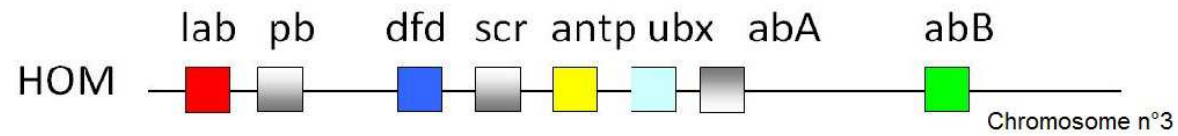
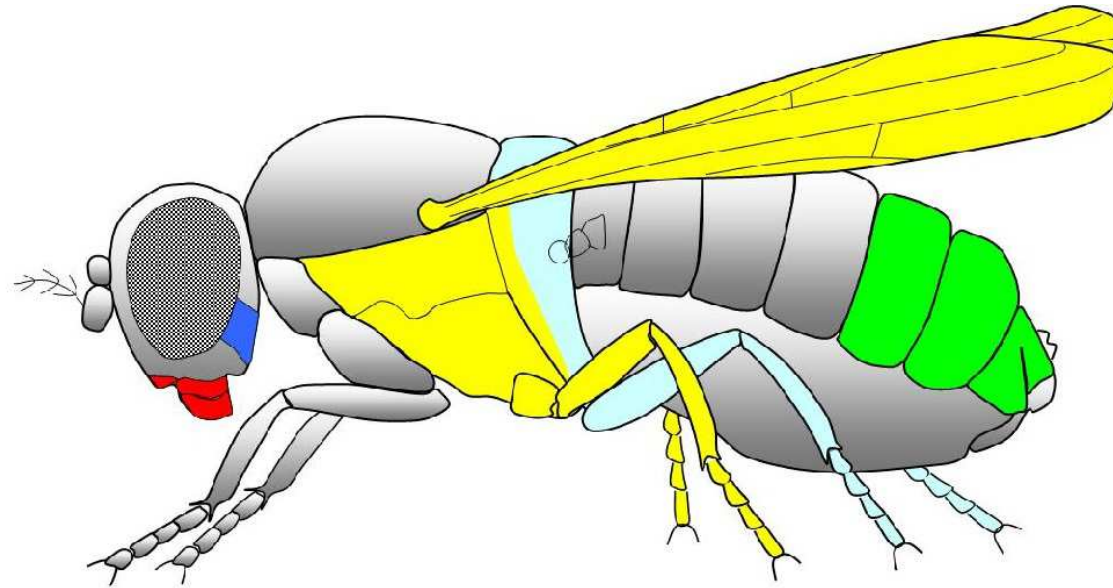
## Des mutants homéotiques

wild-type *drosophila*

*antennapedia* mutant



# Des modifications de la zone d'expression de gènes homéotiques



Territoires d'expression des gènes :

- lab
- pb
- dfd
- scr
- antp
- ubx
- abA
- abB

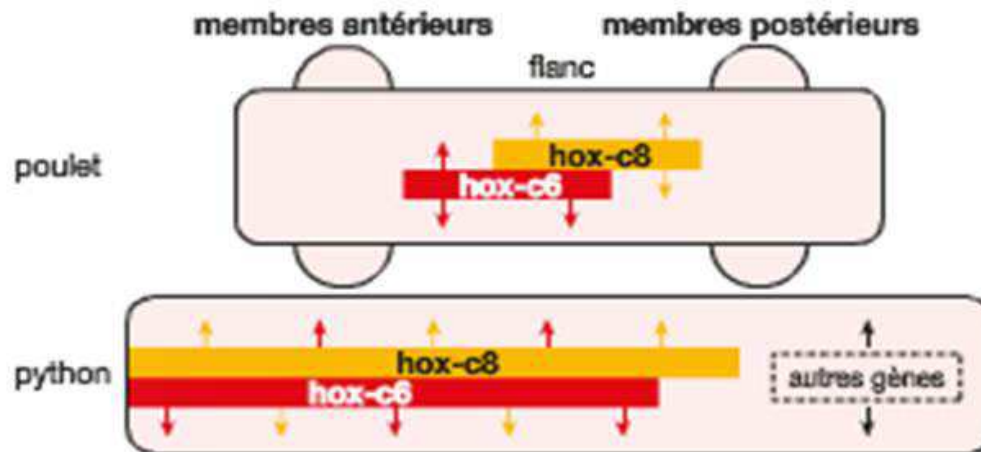
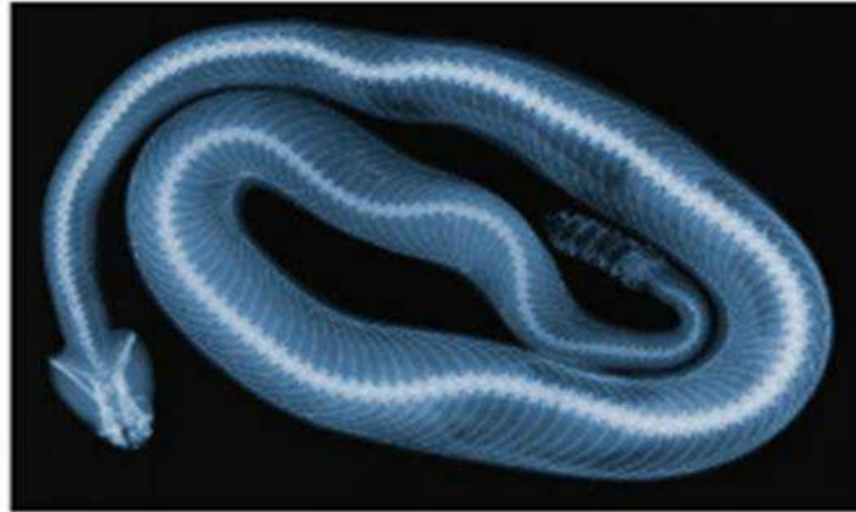


# Des modifications de la zone d'expression de gènes homéotiques

existe  
ciques  
n sont  
imaux

nt par  
' toute  
tre).

(crotale) ▶  
elette



Comparaison de l'expression de deux gènes Hox chez le poulet et le python

chez les serpents.

## Chapitre 2 :

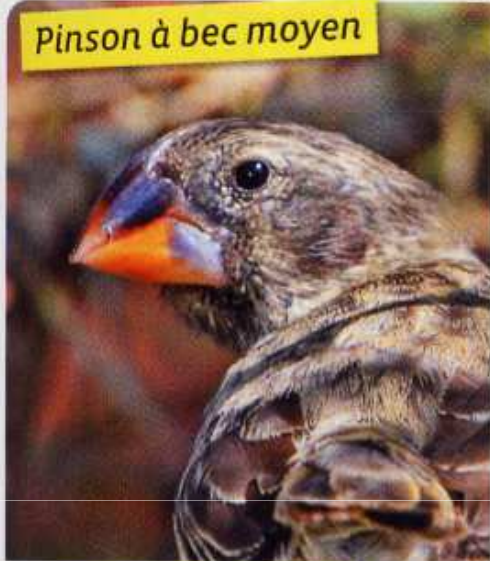
# Mécanismes de diversification du vivant

- I. Mécanismes génétiques de diversification du vivant ayant lieu au cours de la reproduction sexuée
- II. Modifications dans l'expression de gènes et diversification du vivant
  - A. Les gènes de développement
  - B. Des modifications de la zone d'expression des gènes de développement
  - C. Des modifications dans l'intensité, la durée ou la chronologie d'expression des gènes de développement
- III. Modification des génomes et diversification du vivant
- IIV Des processus de diversification du vivant non génétiques

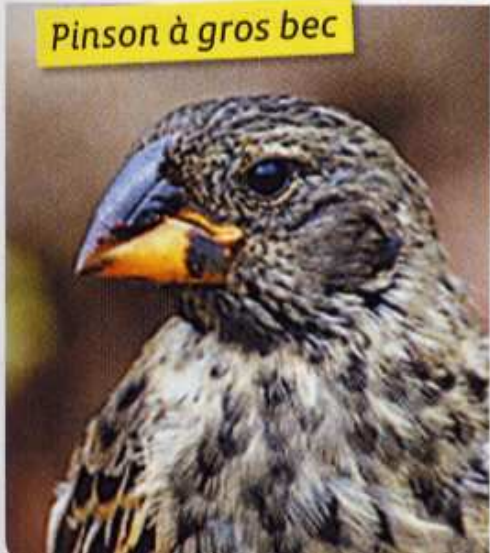
- Exemple de modifications de **l'intensité d'expression** de certains gènes du développement

# Variation de l'intensité d'expression d'un gène

Pinson à bec moyen



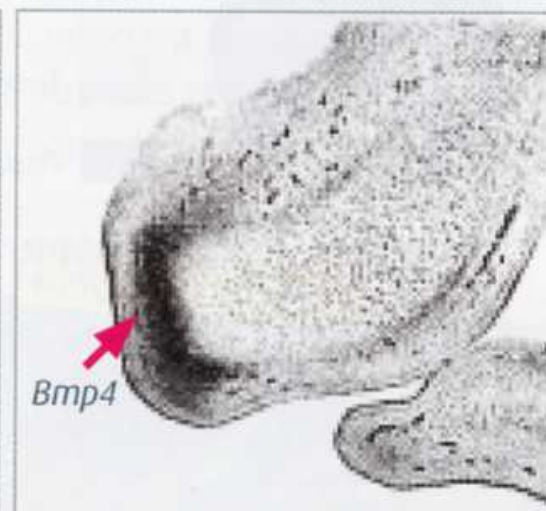
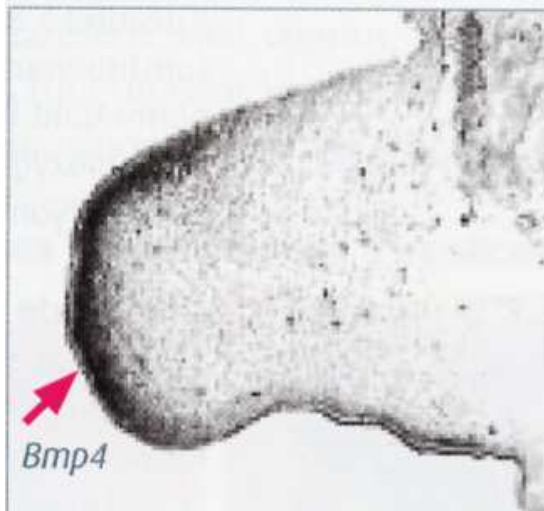
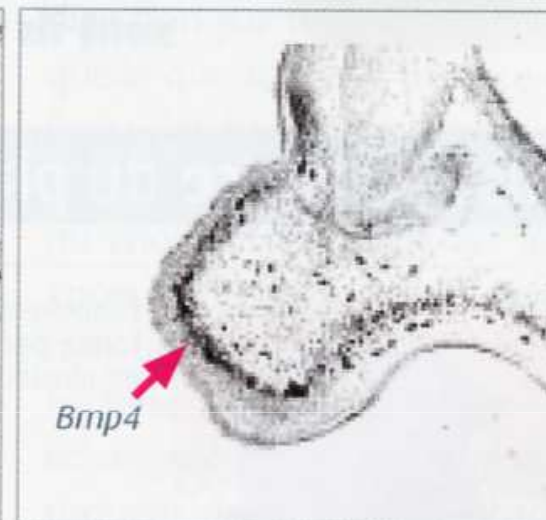
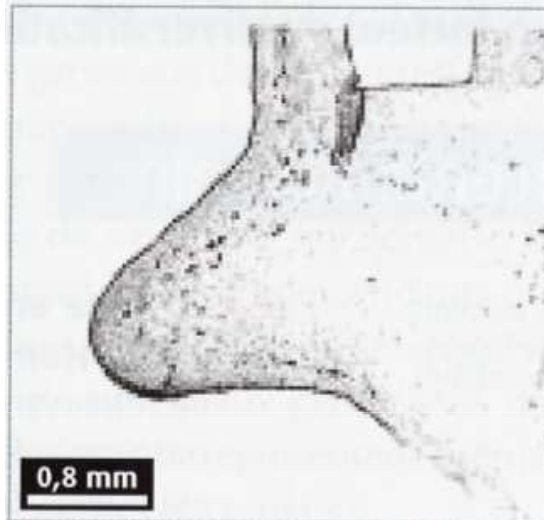
Pinson à gros bec



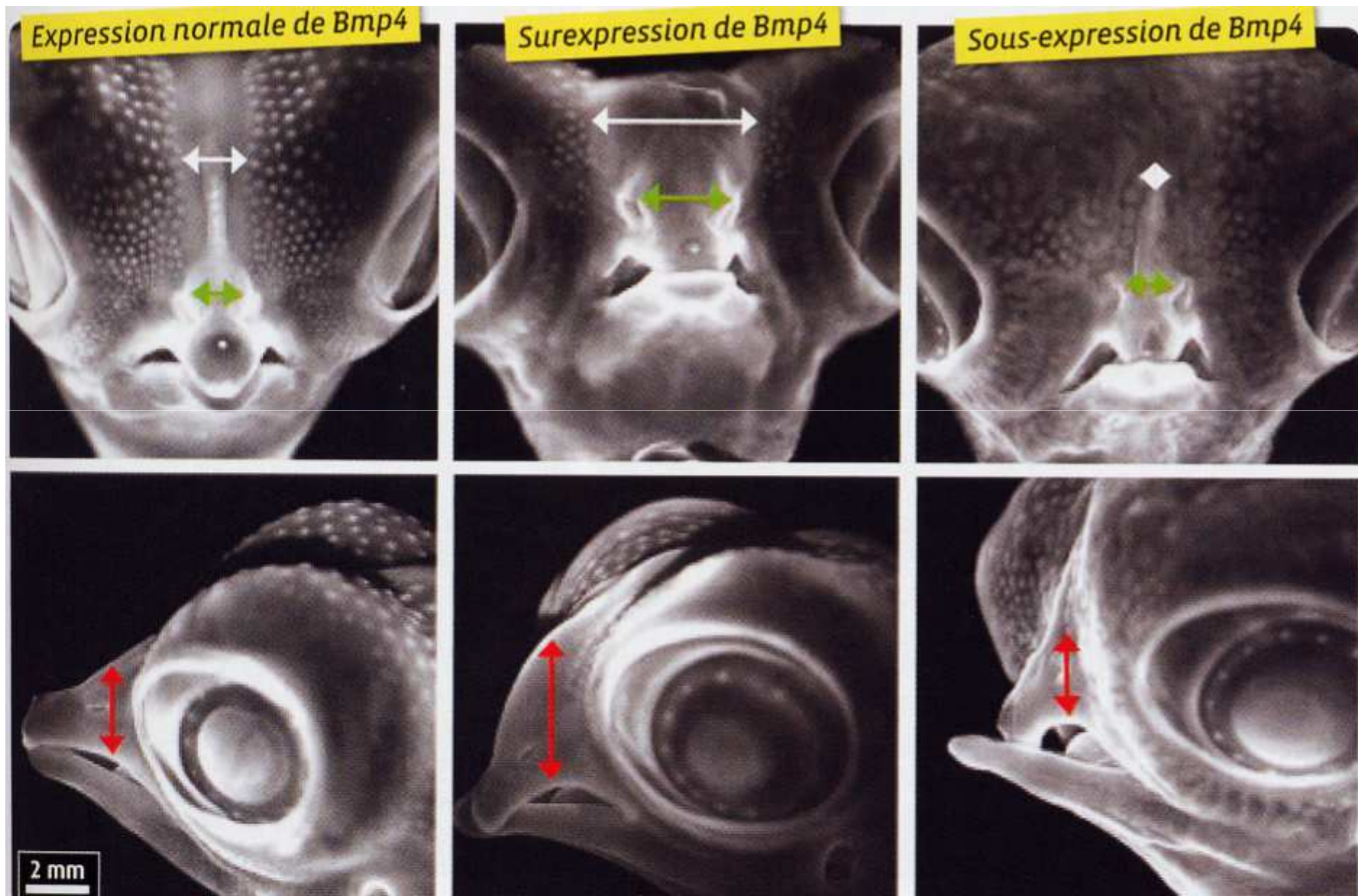
## Expression du gène *Bmp4*

Après 25 h de développement

Après 29 h de développement

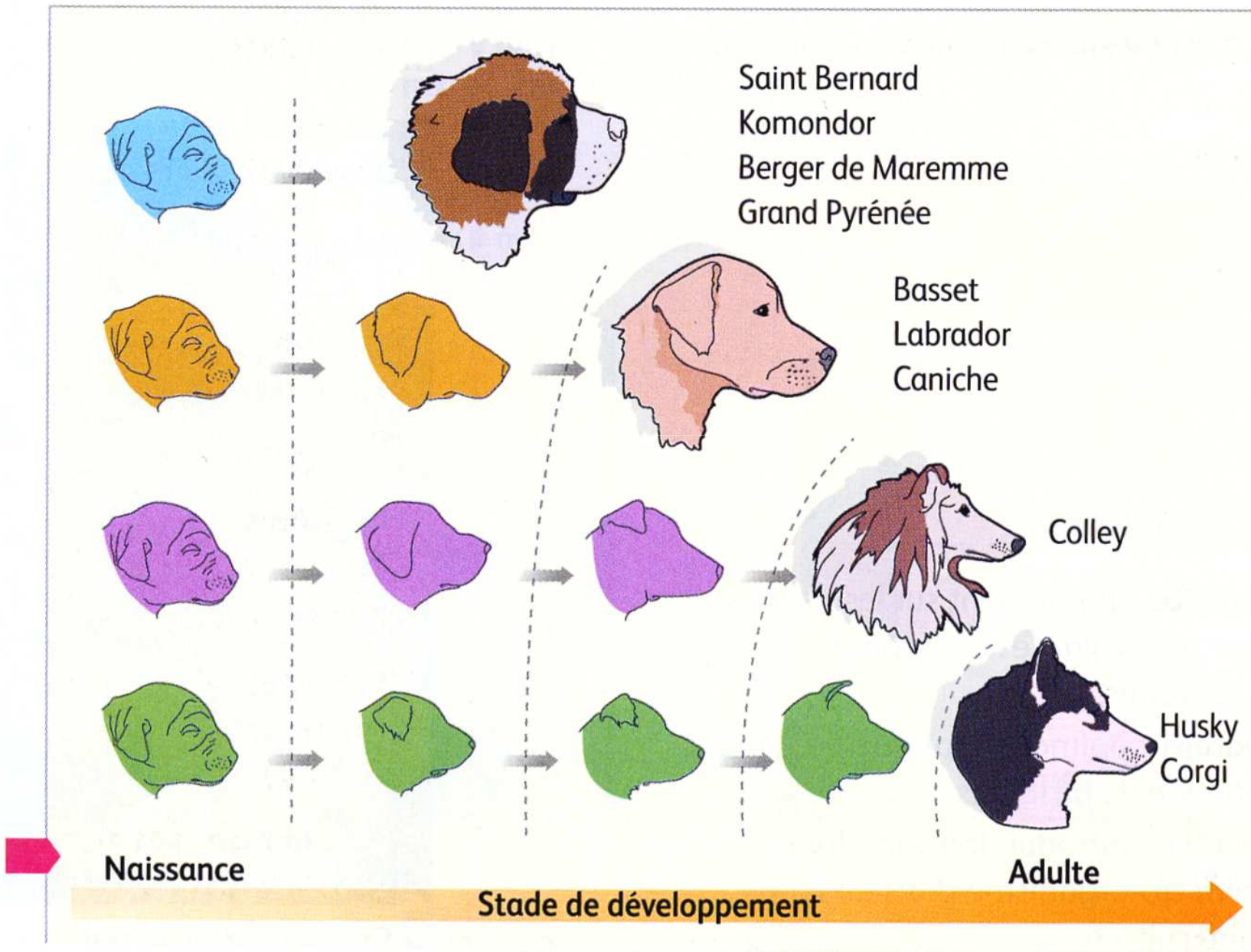


# Variation de l'intensité d'expression d'un gène

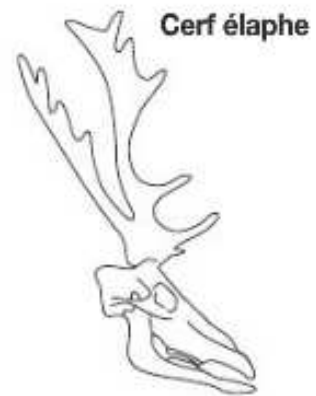


- Exemple de modifications de l'intensité d'expression de certains gènes du développement
- Exemples de modifications de la chronologie ou de la durée d'expression de certains gènes du développement (=hétérochronie)

# Hétérochronie chez les canidés



# Hétérochronie chez le cerf



phase juvénile phase adulte

**Cerf de Crête**



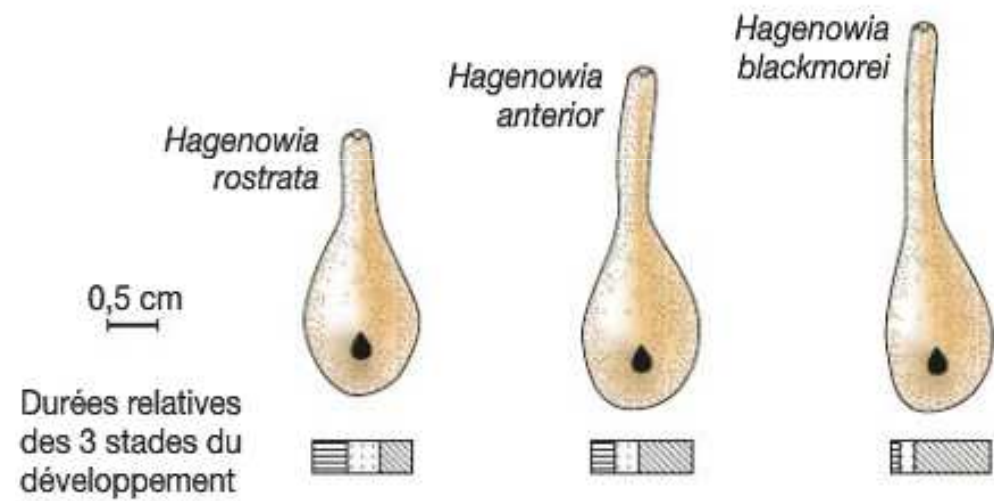
10 cm





# Hétérochronie chez l'oursin

Test d'Hagenowia ▶  
rostrata.



## Hétérochronie chez l'axolotl



# Bricolage de l'évolution

- *Utilisation des mêmes outils de manière différente*
- La diversité dans l'expression de gènes communs est source de diversité (*mutation des séquences régulatrices de l'expression gènes*)