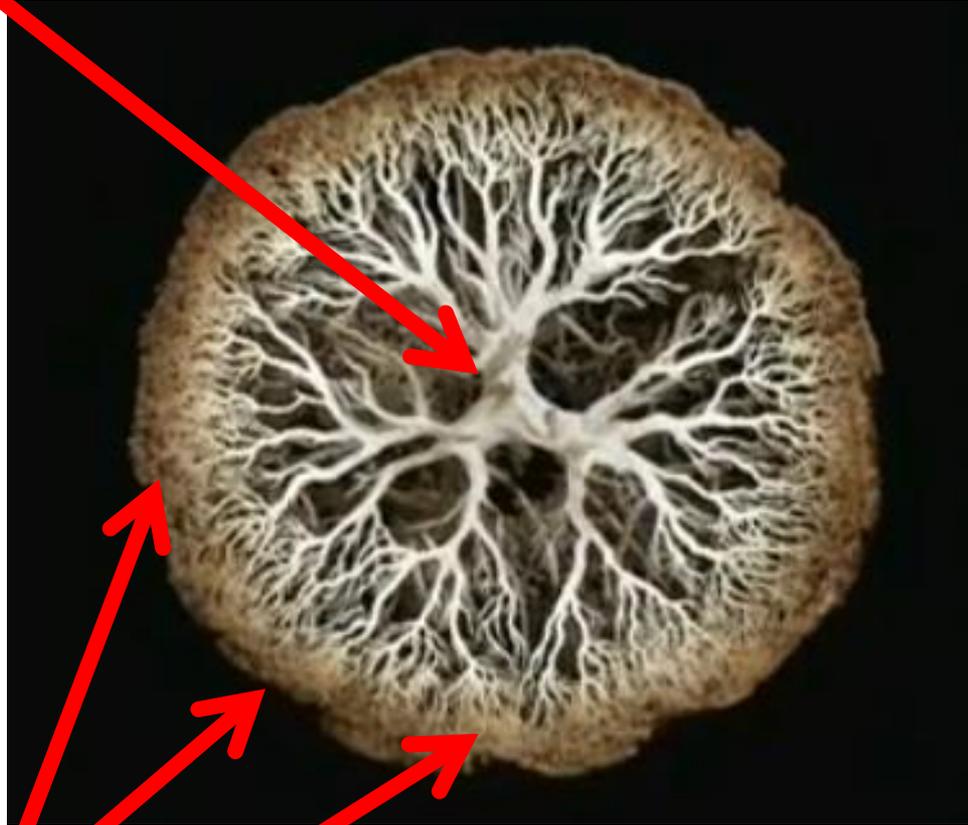


Thème I : Génétique et évolution

Chapitre 2 : Mécanismes de diversification du vivant.

L'arbre du vivant

Un ancêtre commun



Plusieurs millions
d'espèces actuelles
ou passées.

1^{ère} S : Les mutations produisent
de la diversité génétique

*Quels sont les autres
mécanismes générateurs de
diversité au sein du vivant ?*

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
- III. Modification des génomes et diversification du vivant
- IV. Des processus de diversification du vivant non génétiques

Diversification au cours de la reproduction sexuée



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. Rappels et conventions d'écriture

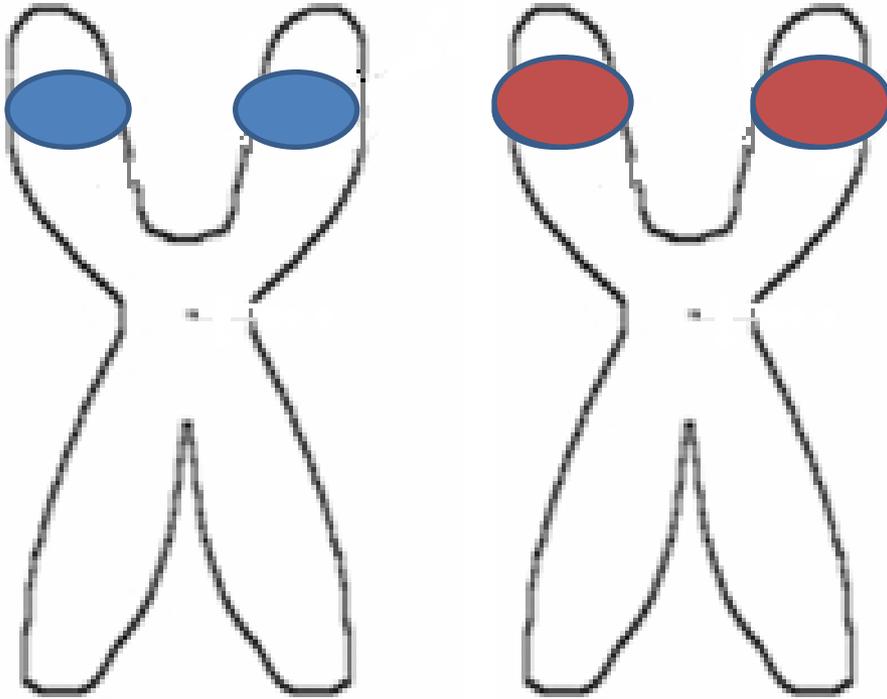
2. Les croisements test et leur intérêt
3. Le brassage inter chromosomique
- 4.. Le brassage intra chromosomique

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

Quelques rappels



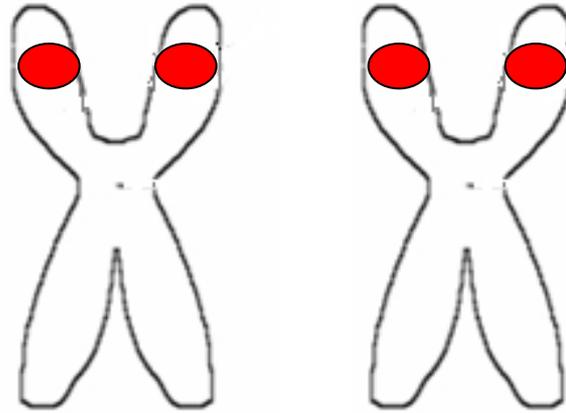
Même gène au même locus
sur deux chromosomes
homologues

Les deux chromosomes
homologues peuvent
porter des allèles
différents

Un chromosome à
deux chromatides

Une paire de chromosomes homologues

Quelques rappels

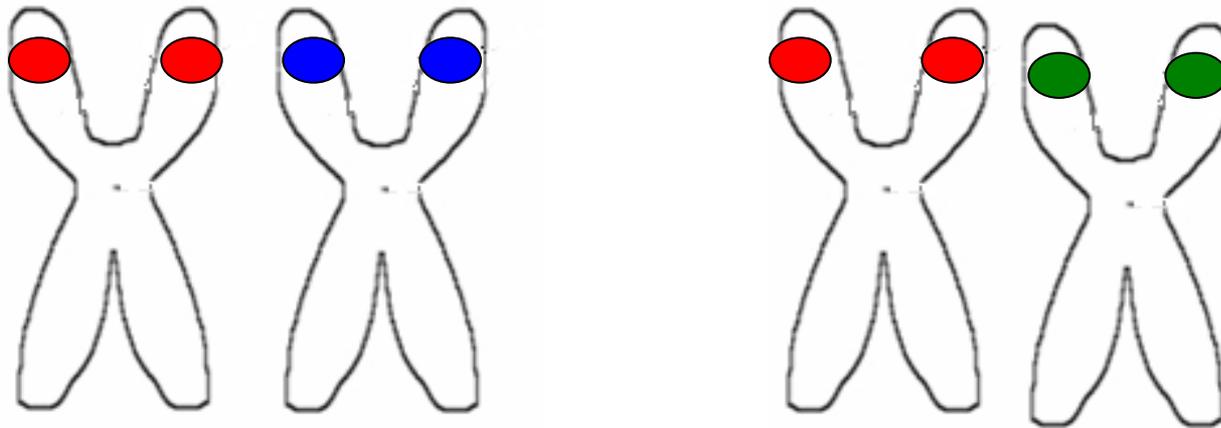


 Allèle A

 Allèle B

 Allèle O

Individu **homozygote** pour le gène
responsable des groupes sanguins



Individu **hétérozygote** pour le gène
responsable des groupes sanguins

Conventions d'écriture du phénotype et du génotype

phénotype



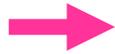
S'écrit entre []

génotype



S'écrit entre ()

Cellule diploïde



Les deux allèles sont séparés par deux barres obliques ou 2 traits de fraction symbolisant 2 chr. homologues

Cellule haploïde
(gamète)

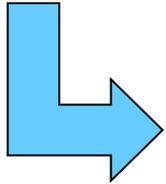


L'allèle est écrit avant une barre oblique symbolisant 1 K de la paire

Conventions d'écriture du phénotype et du génotype

Gène 1 Allèle A et a
Gène 2 allèle B et b

Si les deux gènes sont **indépendants**
(pas sur la même paire d'homologues)



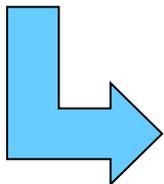
Génotype

- ★ (A//A , B//B)
- ★ (A//a , B//b)
- ★ (a//a , b//b)

Phénotype

- ★ [A ; B]
- ★ [A ; B]
- ★ [a ; b]

Si les deux gènes sont **liés** (sur la même paire d'homologues)



Génotype

- ★ (AB//AB)
- ★ (AB//ab)
- ★ (ab//ab)

Phénotype

- ★ [A ; B]
- ★ [A ; B]
- ★ [a ; b]

Ex d'un individu **homozygote** pour le gène « longueur des ailes »

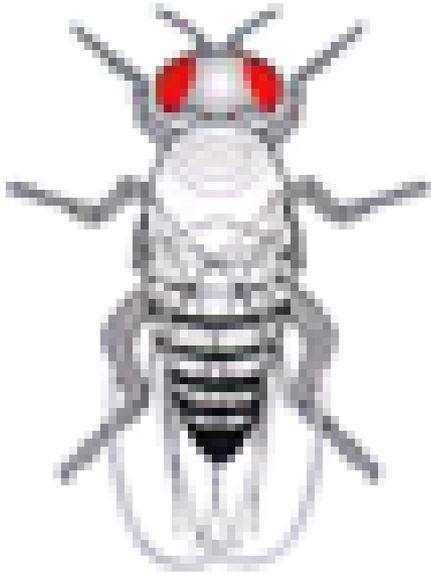
Gène taille des ailes **vg** → allèle **vg⁺**, dominant
→ allèle **vg**, récessif.
provoque des ailes raccourcies



Génotype	Phénotype
(vg ⁺ //vg ⁺)	[ailes longues] [vg ⁺]

Produit des gamètes	
100%	(vg ⁺ /)

Ex d'un individu **hétérozygote** pour le gène « longueur des ailes »



Génotype	Phénotype
(vg^{+}/vg)	[ailes longues] [vg^{+}]

Produit des gamètes	
50%	$(vg^{+}/)$
50%	$(vg/)$

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

Principe et intérêt des croisements tests

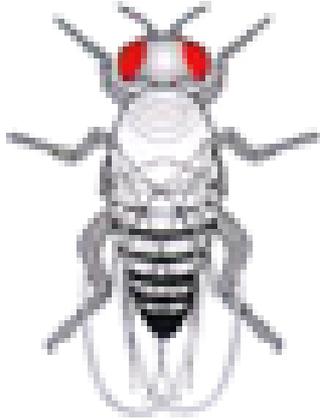


Phénotype
[vg]

Peut-on déduire son génotype ?

Génotype
(vg//vg)

Principe et intérêt des croisements tests



Phénotype
[ailes longues]

Peut-on déduire son génotype ?

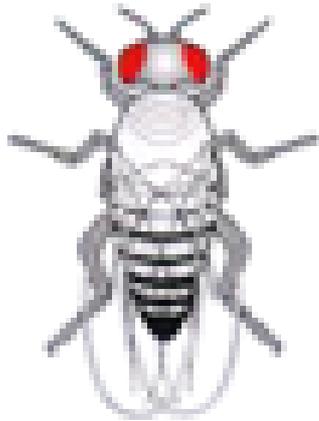
Génotype possible n°1	Génotype possible n°2
$(vg^{+//}vg)$	$(vg^{+//}vg^{+})$

Principe et intérêt des croisements tests

- **croisement test** = croisement d'un individu dont on ne connaît pas le génotype avec un individu homozygote récessif pour le ou les gènes étudiés.
- **croisement test = méthode d'analyse génétique** qui permet de déterminer **le génotype des gamètes** d'un individu et donc indirectement son génotype.
- Passe par **l'étude de la descendance** issue du croisement test

Principe et intérêt des croisements tests

A
Génotype
inconnu



croisement test



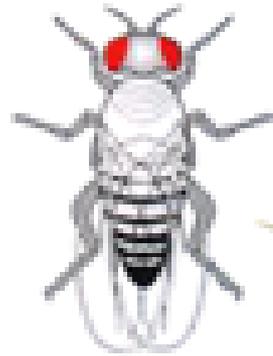
B
Individu **homozygote**
récessif pour le gène
étudié



Principe et intérêt des croisements tests

1^{er} cas: descendance **homogène**

A
Génotype
inconnu



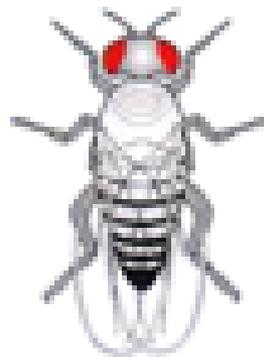
x



B
Individu homozygote
récessif pour le
gène étudié

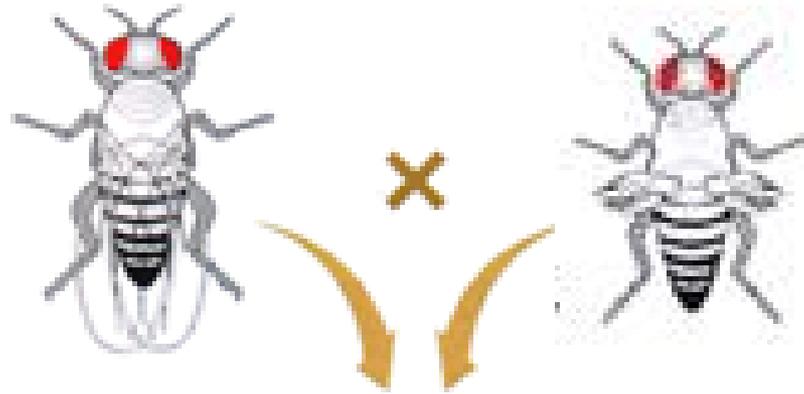
n

D
100%



Principe et intérêt des croisements tests

2nd cas : descendance **hétérogène**



50%

Drosophiles
à ailes vestigiales,
corps gris



D

50%

Drosophiles
à ailes longues,
corps gris



F

Le croisement test révèle...

les **phénotypes** de la descendance
et leurs **proportions**



les **génotypes** et les **proportions de gamètes**
produits par l'individu testé



Génotype de
l'individu testé



Si étude de 2 gènes

gènes indépendants ou liés

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

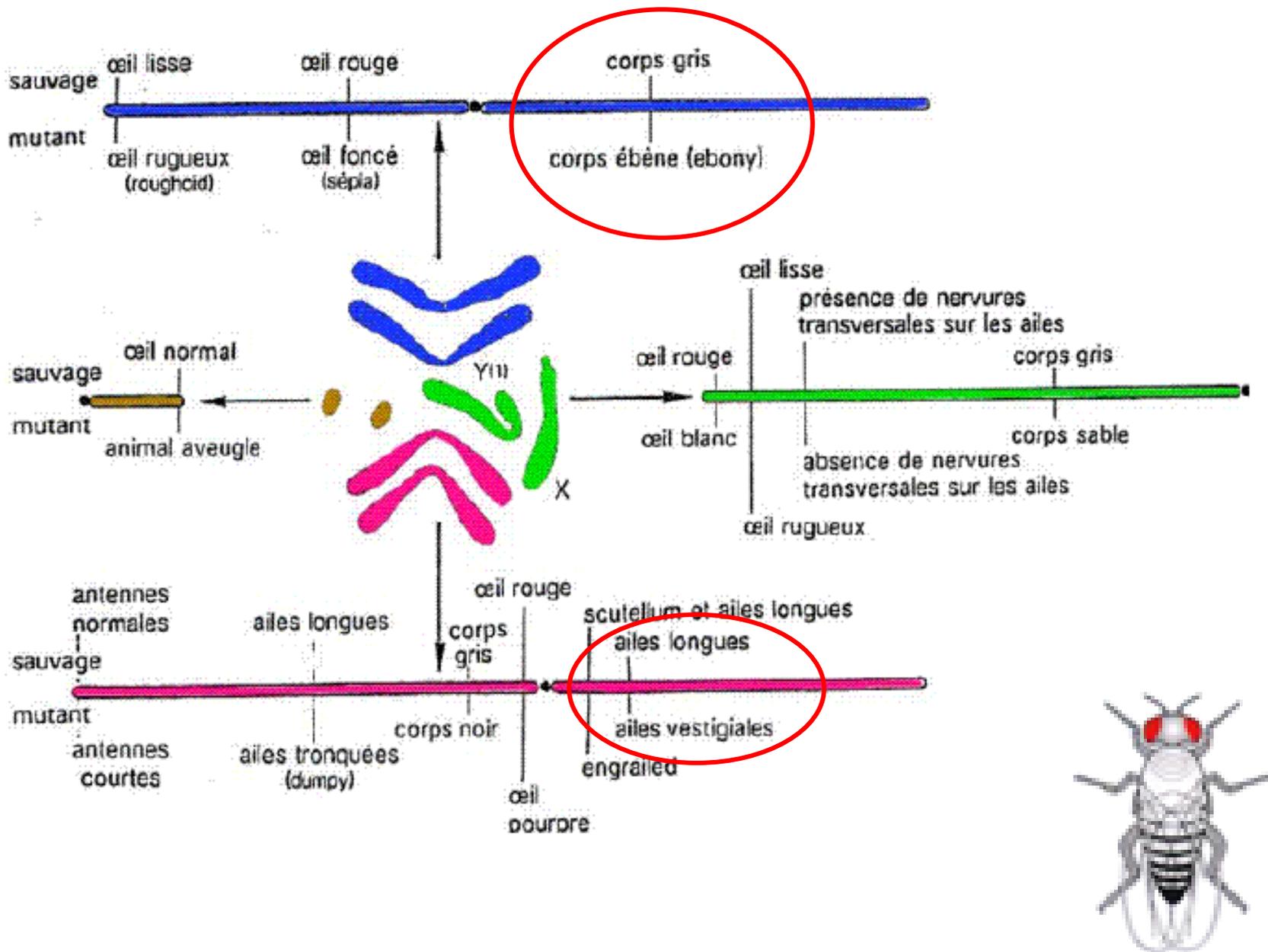
B. Le brassage génétique au cours de la fécondation

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

1. Des maladies liées à des anomalies du caryotype

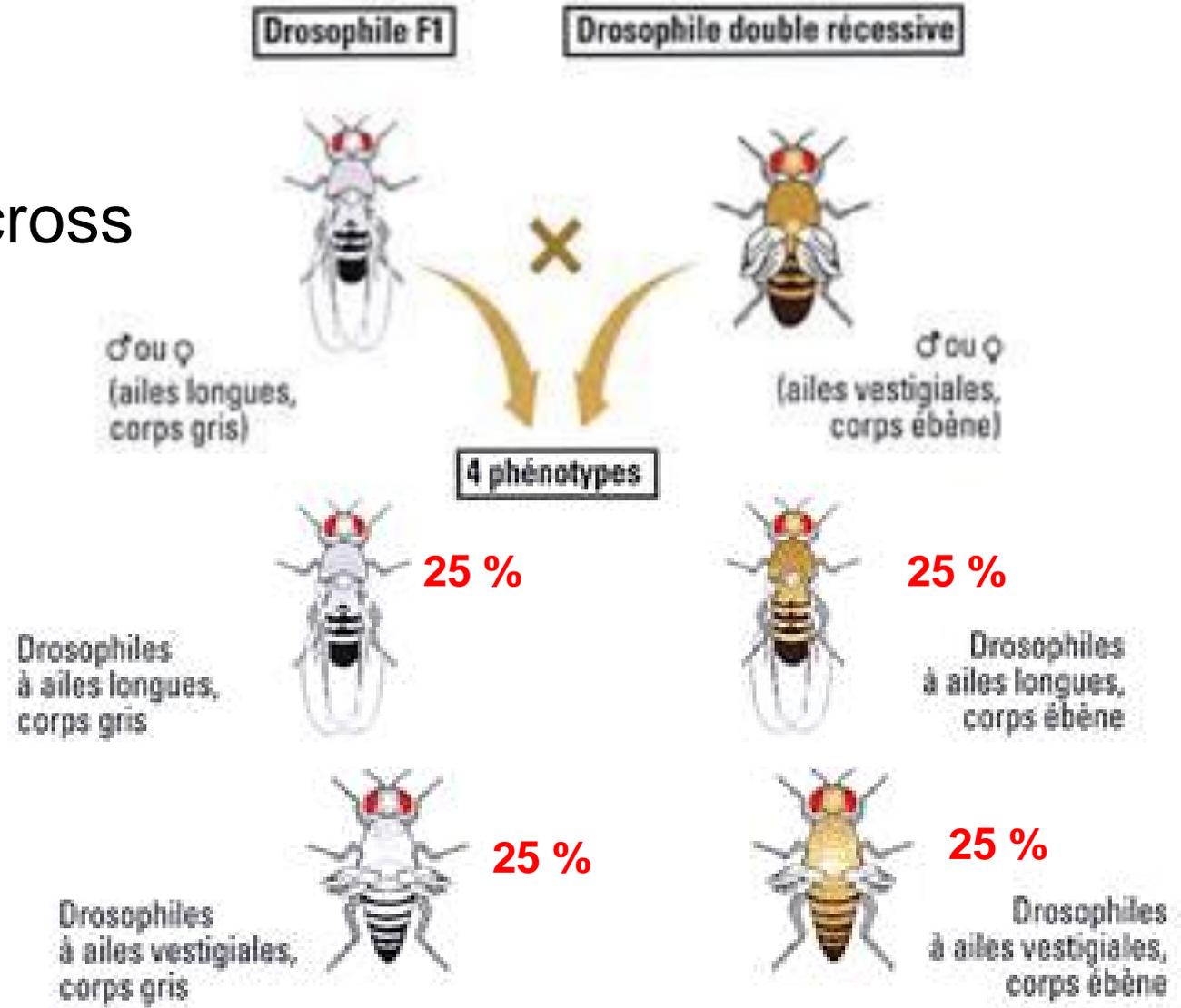
2. Anomalies du caryotype et diversification du génome

Localisation des gènes sur les chromosomes de la drosophile

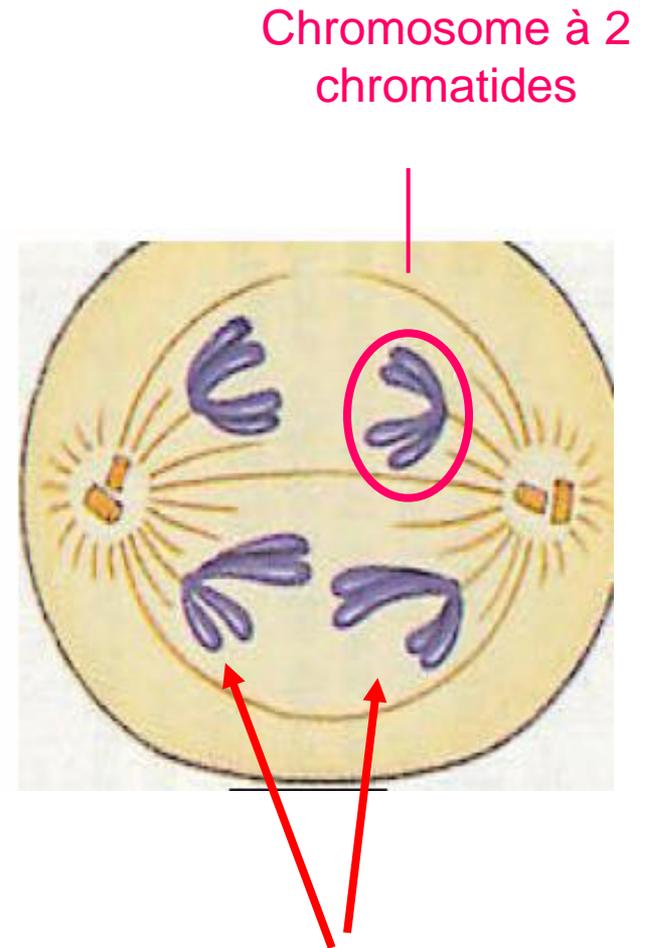


Etude de croisements chez la drosophile avec des gènes **indépendants**

Test cross



Anaphase I



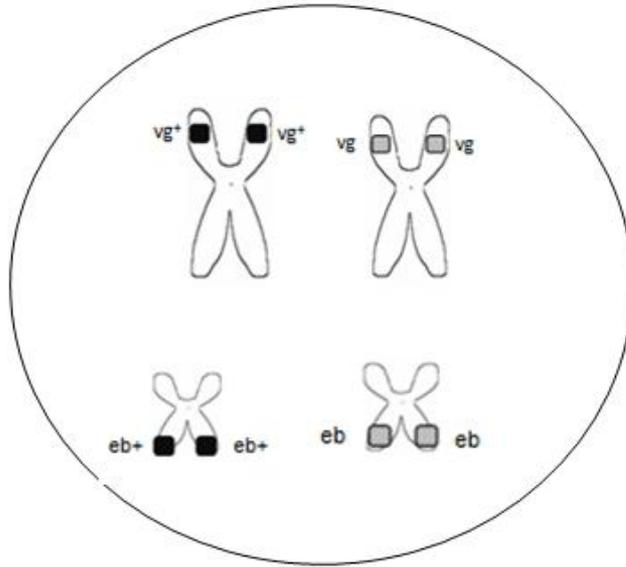
2 chromosomes homologues

Répartition aléatoire des chromosomes en anaphase 1 de méiose

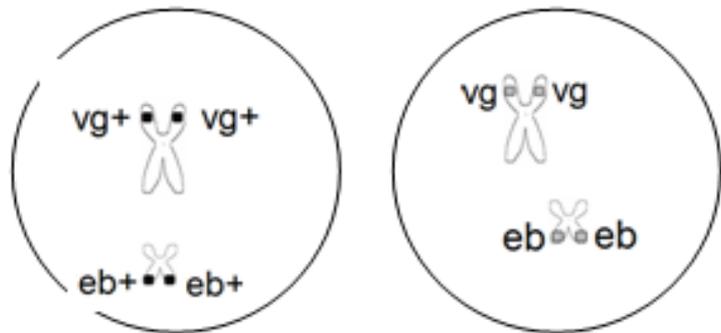
F1



♂ ou ♀
(ailes longues,
corps gris)



Anaphase 1



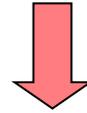
OU

Anaphase 1



Etude de croisements chez la drosophile avec des gènes **indépendants**

Gènes indépendants



L'hétérozygote F1 produit avec une **probabilité égale** quatre types de gamètes différents



4 phénotypes équiprobables



2 identiques aux parents

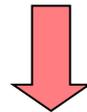


2 nouveaux



1 caractère d'un parent

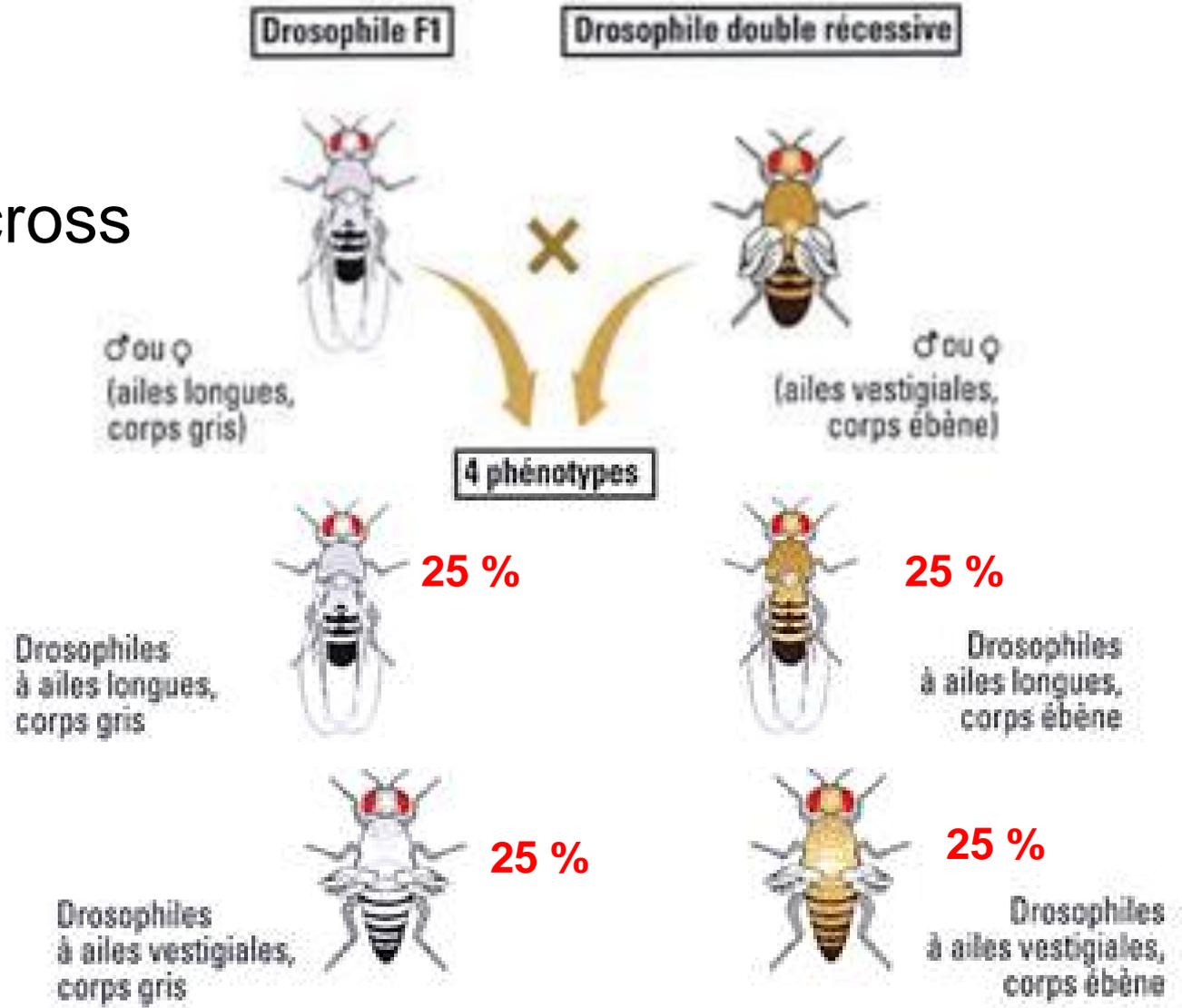
1 caractère de l'autre parent



Phénotypes recombinés

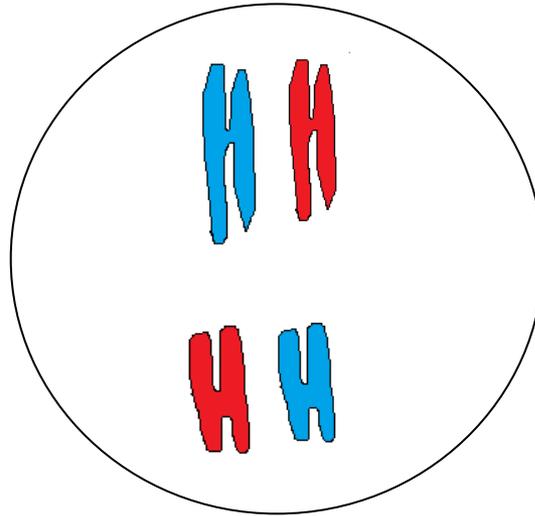
Etude de croisements chez la drosophile avec des gènes indépendants

Test cross



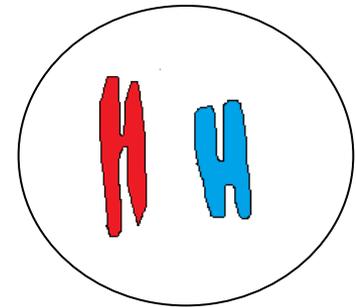
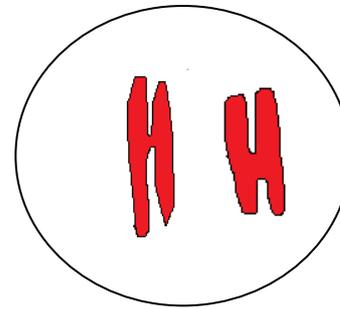
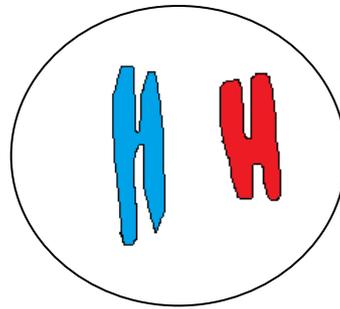
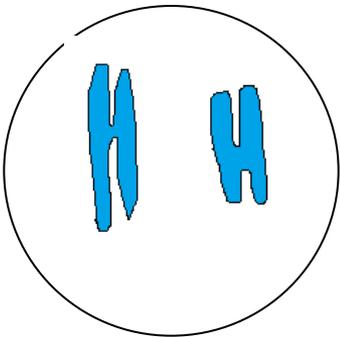
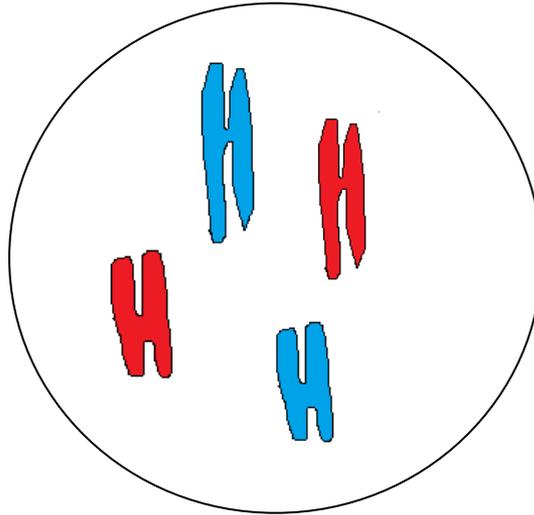
Répartition aléatoire des chromosomes en anaphase 1 de méiose

Combien de possibilités de combinaisons en fin de 1^{ère} division de méiose?



Répartition aléatoire des chromosomes en anaphase 1 de méiose

4 possibilités



Combien de combinaisons possibles chez l'homme?

$$2^{23}$$

- **Brassage génétique** au cours de la méiose : attribution d'une combinaison d'allèles originale à chacune des cellules issues de la méiose
- **Brassage interchromosomique**: association aléatoire de n chromosomes, chacun issu d'une paire de chromosomes homologues, au cours de la 1^{ère} division de méiose.

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

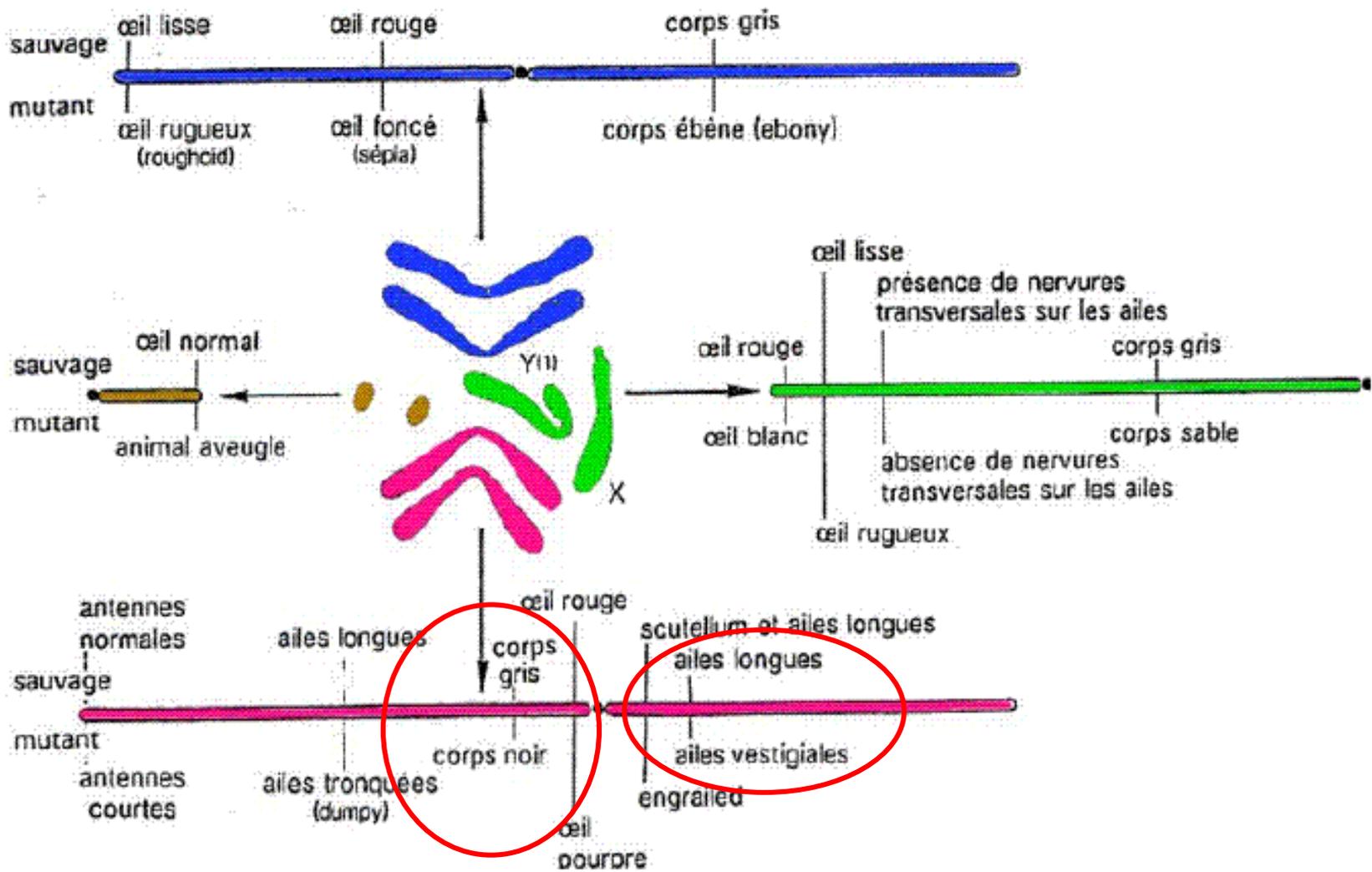
4. Le brassage intra chromosomique

B. Le brassage génétique au cours de la fécondation

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

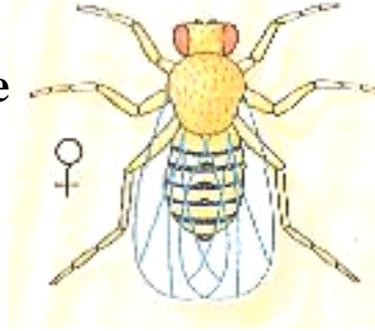
1. Des maladies liées à des anomalies du caryotype
2. Anomalies du caryotype et diversification du génome

Localisation des gènes sur les chromosomes de la drosophile



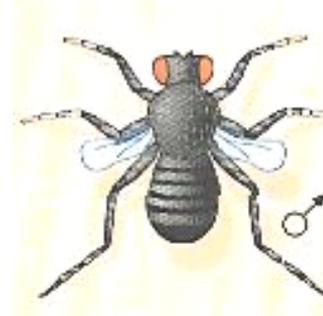
Etude d'un autre croisement chez la drosophile avec des gènes liés

Femelle de lignée pure



×

mâle de lignée pure



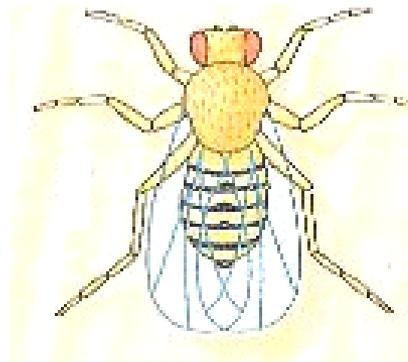
$(vg^+ b^+ // vg^+ b^+)$

$(vg b // vg b)$



100 %

$(vg^+ b^+ // vg b)$

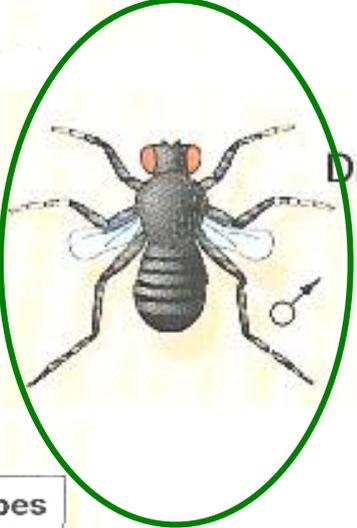
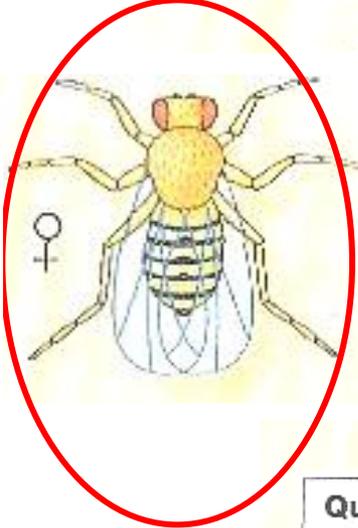


F1

Hétérozygote

Etude d'un autre croisement chez la drosophile avec des gènes liés

Test-cross



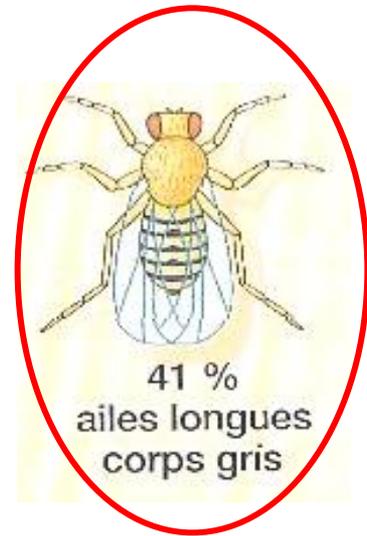
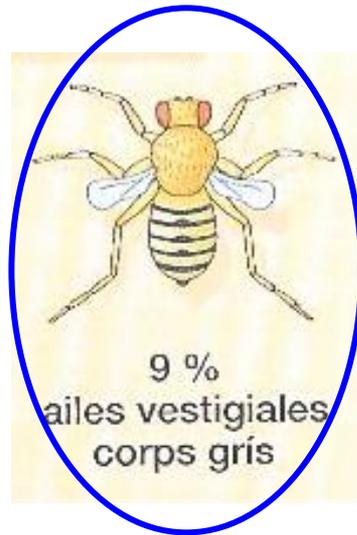
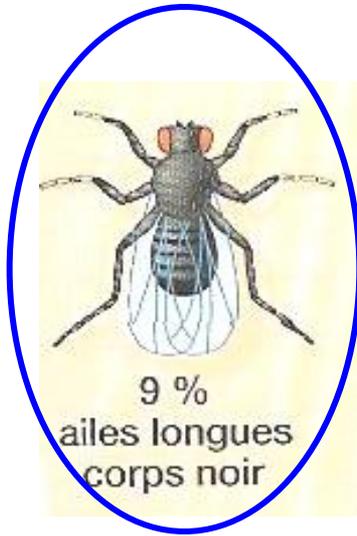
×



Quatre phénotypes

F1
(vg⁺b⁺//vg b)

P2
(vg b//vg b)



Prophase de la 1ère division méiotique

Appariement des chromosomes homologues

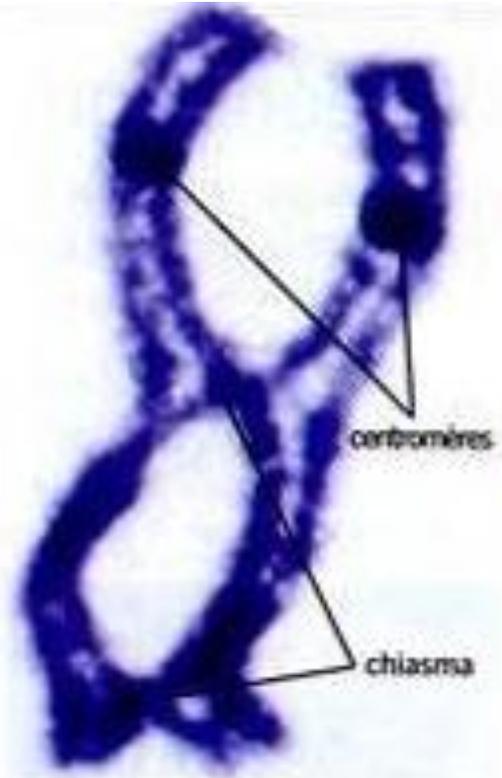


Chiasmata

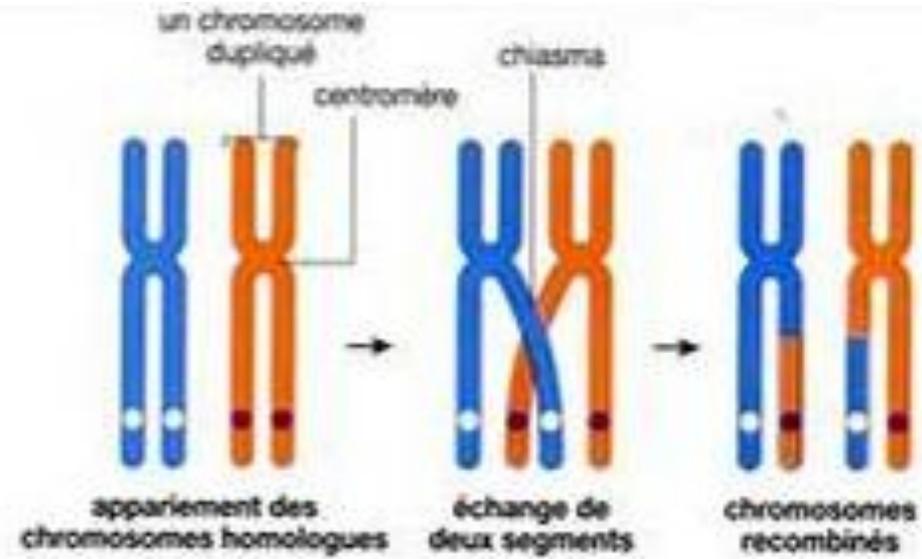
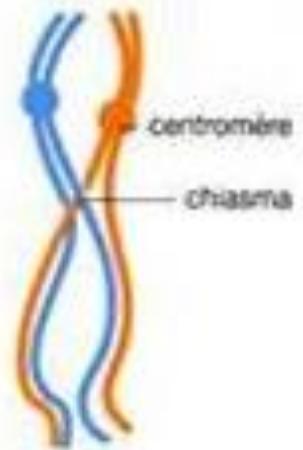


TETRADES

Mécanisme du **crossing over** (enjambement)

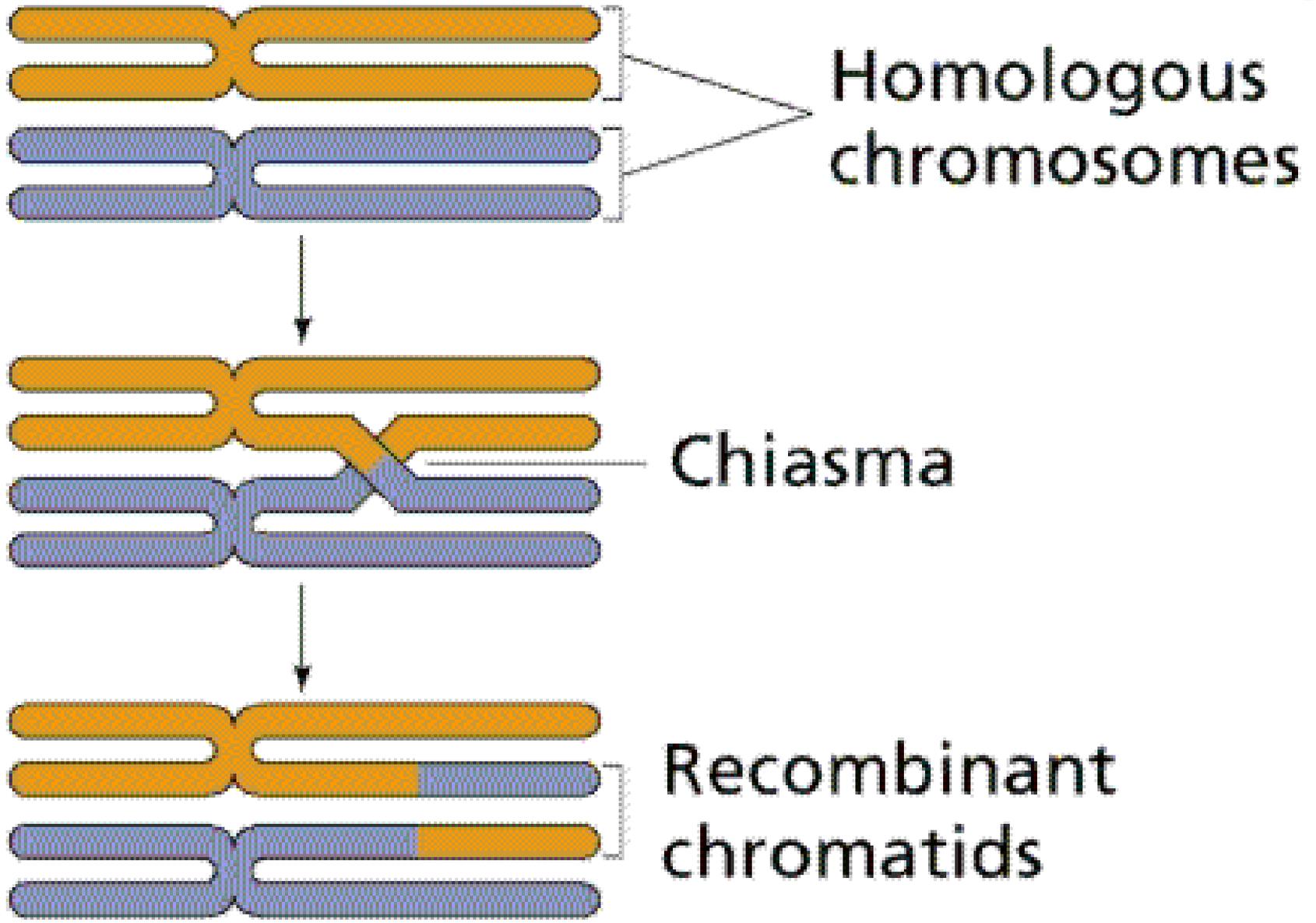


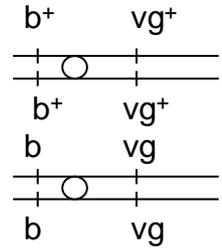
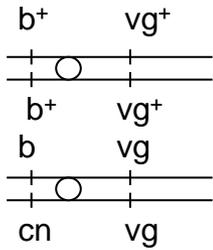
Deux chromosomes homologues appariés au cours de la prophase I de la méiose



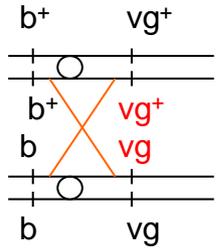
Echange de fragments de chromatides entre les 2 chromosomes homologues

Mécanisme du **crossing over** (enjambement)



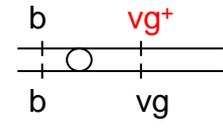
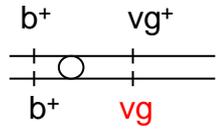
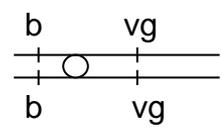
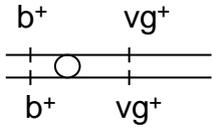


OU

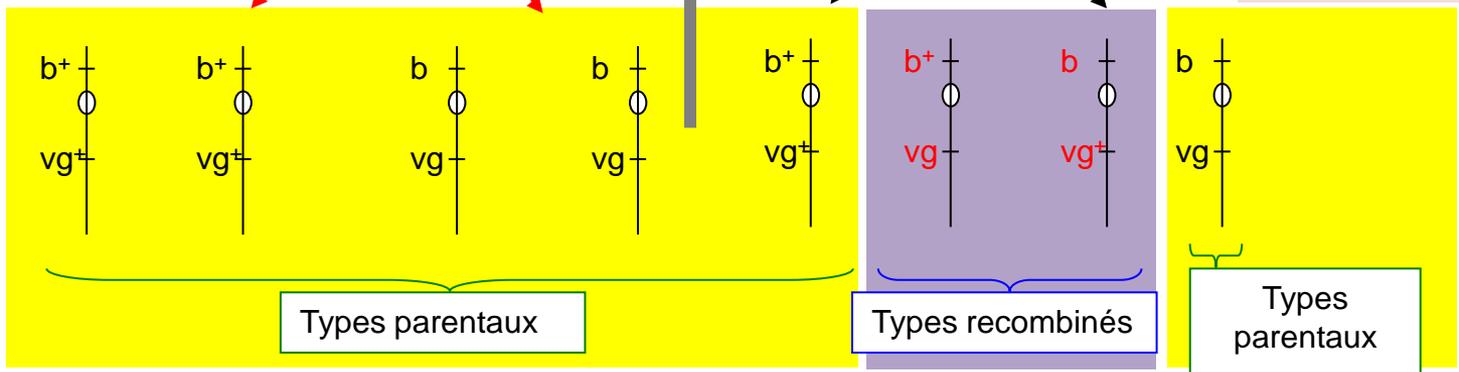


crossing over

Première division de méiose



Deuxième division de méiose



- **Brassage intrachromosomique:** brassage d'allèles liés à l'échange de segments de chromosomes entre chromosomes homologues, au cours de la prophase 1 de méiose

Si exercice avec 2 gènes

Croisement test

- Si 4 phénotypes équiprobables en F2: les gènes sont indépendants

Le **brassage interchromosomique** est responsable des phénotypes nouveaux

- Si 4 phénotypes non équiprobables en F2 : les gènes sont liés

Le **brassage intrachromosomique** est responsable des phénotypes nouveaux

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

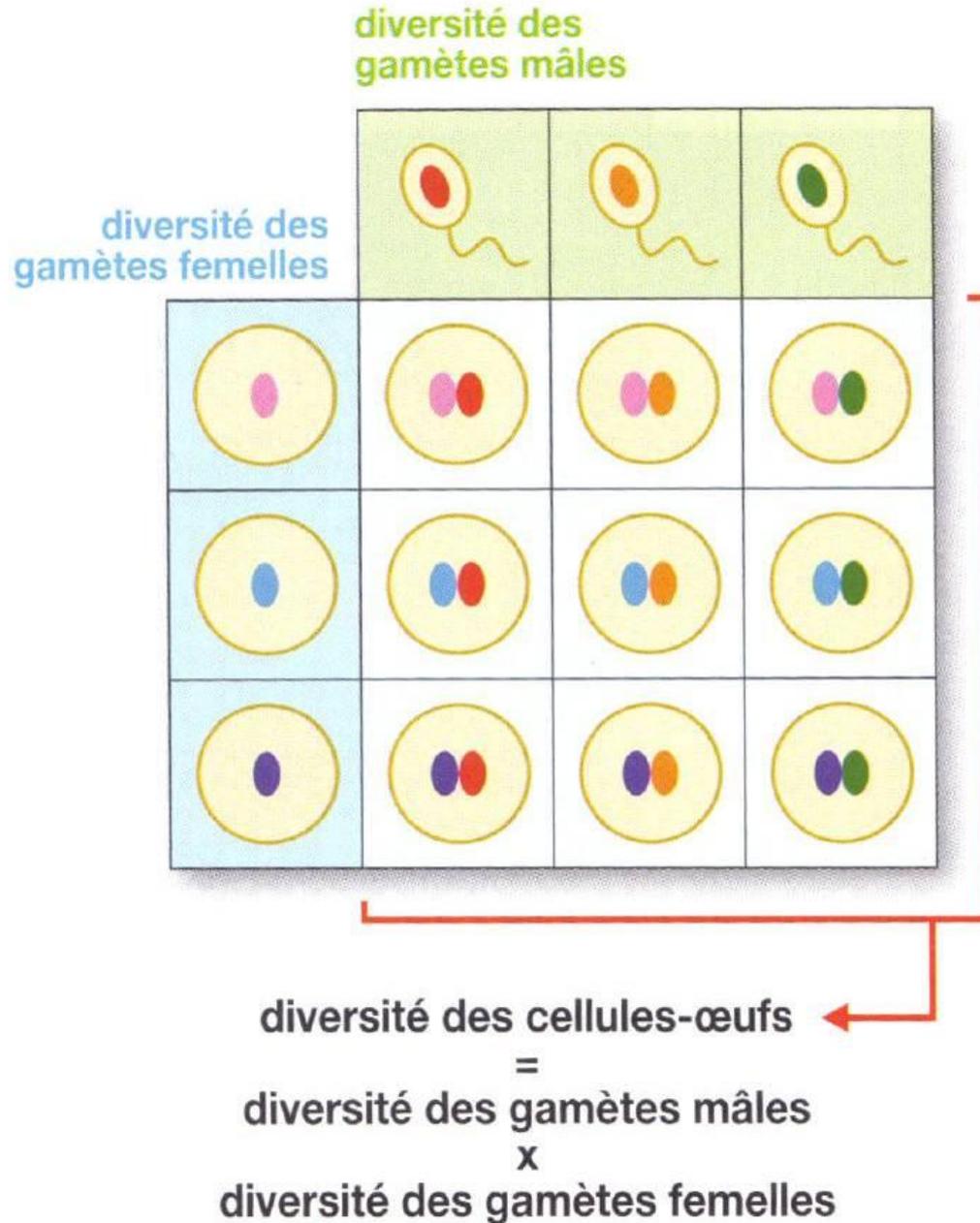
1. Quelques rappels
2. Les croisements test et leur intérêt
3. Le brassage inter chromosomique
4. Le brassage intra chromosomique

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

La fécondation amplifie le brassage génétique



Bilan sur les brassages intra et inter-chromosomiques

	Brassage inter-chromosomique	Brassage intra-chromosomique
Concerne des gènes liés ou indépendants?	des gènes indépendants (situés sur des paires de chromosomes différentes)	des gènes liés (situés sur la même paire de chromosome)
A quel moment de la méiose se produit t-il ?	Anaphase 1 Lorsque les 2 chromosomes homologues se séparent	Prophase 1 Lorsque les chromosomes homologues sont étroitement appariés au niveau des chiasmata
A quel mécanisme concret ce brassage d'allèles est-il du?	Dû à la répartition aléatoire des chromosomes homologues dans les gamètes (1 chromosome d'une paire a autant de chance de se retrouver avec l'un ou l'autre des chromosomes d'une autre paire°)	Du à l'échange de fragments de chromatides (crossing over) entre les 2 chromosomes homologues
Comment crée-t-il de la diversité ?	Grand nombre d'associations possibles de chromosomes => grand nombre de gamètes génétiquement différents : 2^{23} chez l'homme Gamètes équiprobables	Crée de nouvelles associations d'allèles sur les chromosomes => formation de gamètes recombinés en faible proportion (gamètes non équiprobables)
Schéma pour 2 gènes		

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

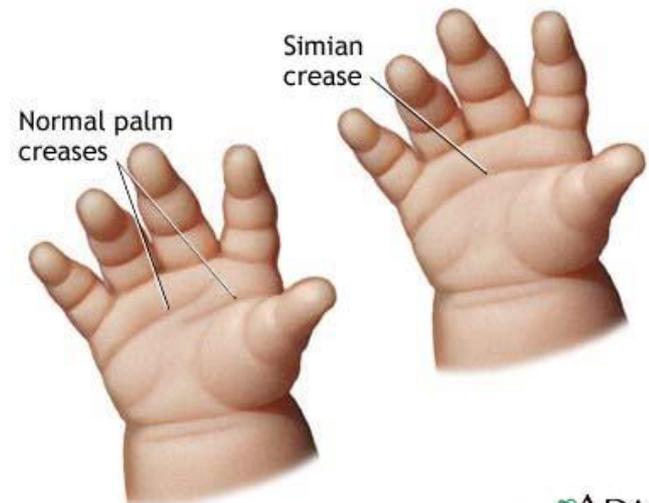
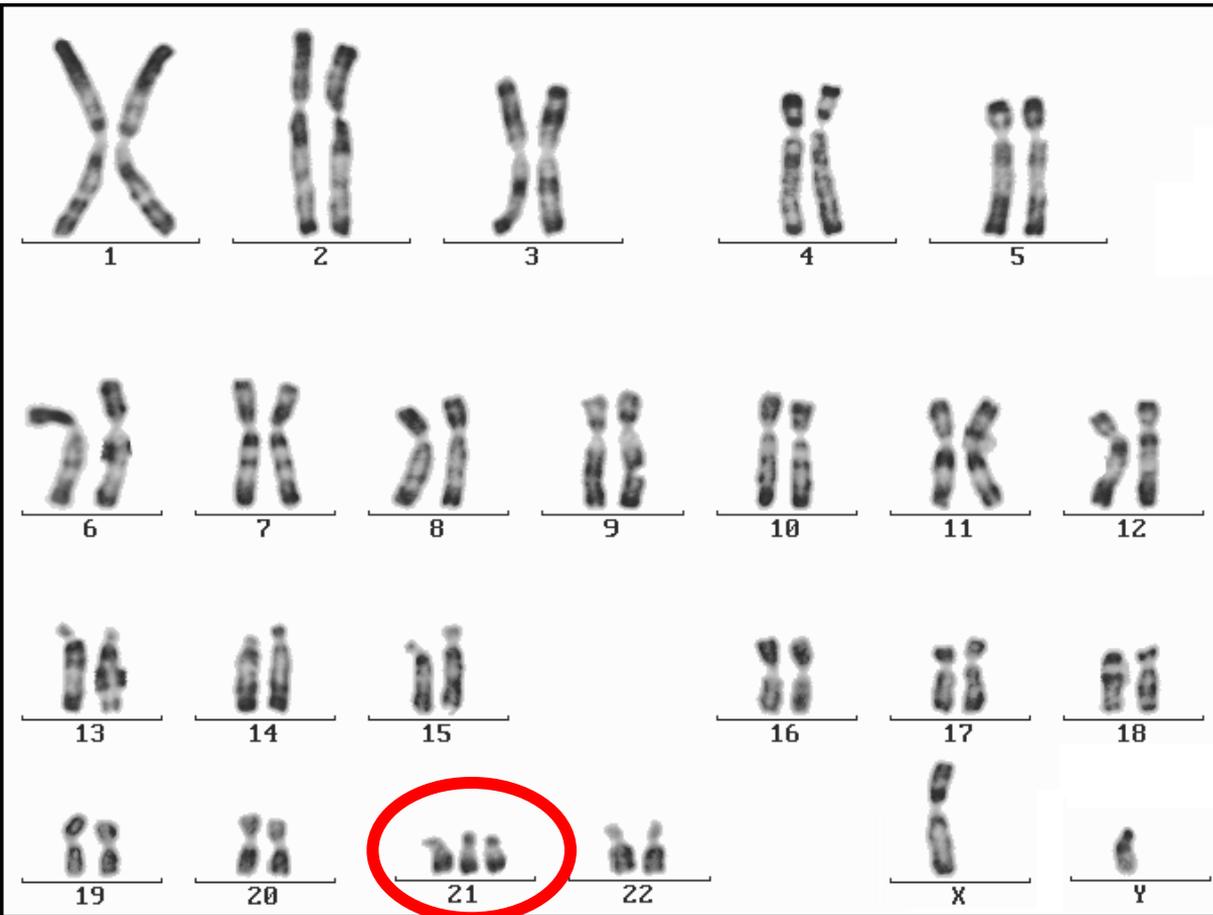
B. Le brassage génétique au cours de la fécondation

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



Trisomie 21

D'autres anomalies chromosomiques



Trisomie XXY – syndrome de Klinefelter

Trisomie
XXY



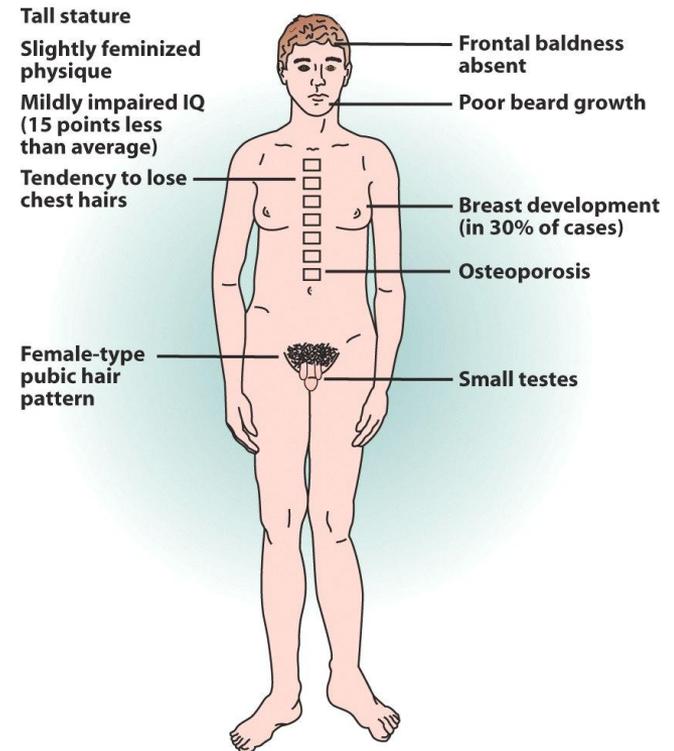
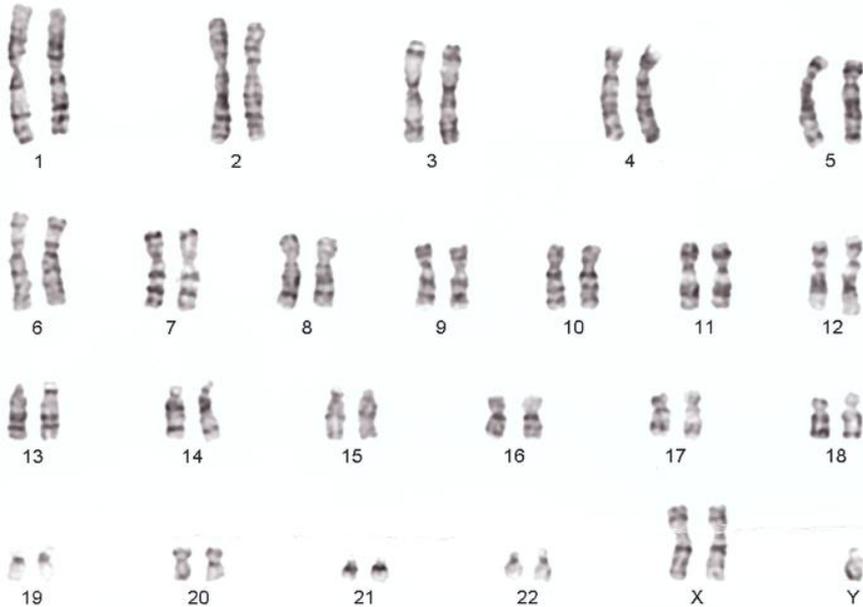
1/800



Syndrome de Klinefelter



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

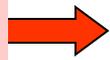


D'autres anomalies chromosomiques



Monosomie du X– syndrome de Turner

Monosomie X



1/800

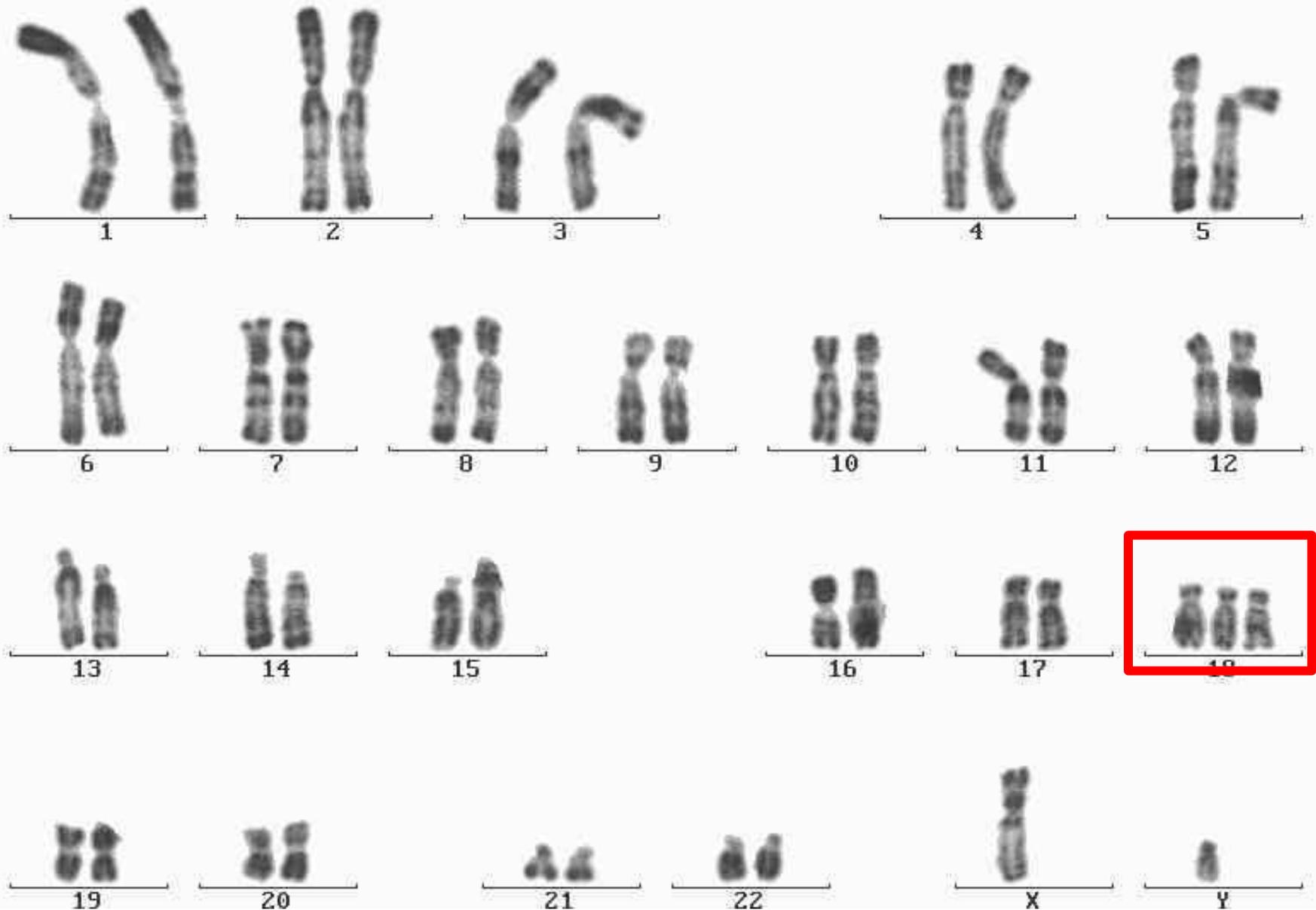


Syndrome de Turner



- Femme de petite taille, stérile
- absence de caractères sexuels secondaires
- Intelligence normale

D'autres anomalies chromosomiques



Trisomie 18 – syndrome d'Edwards

Trisomie 18



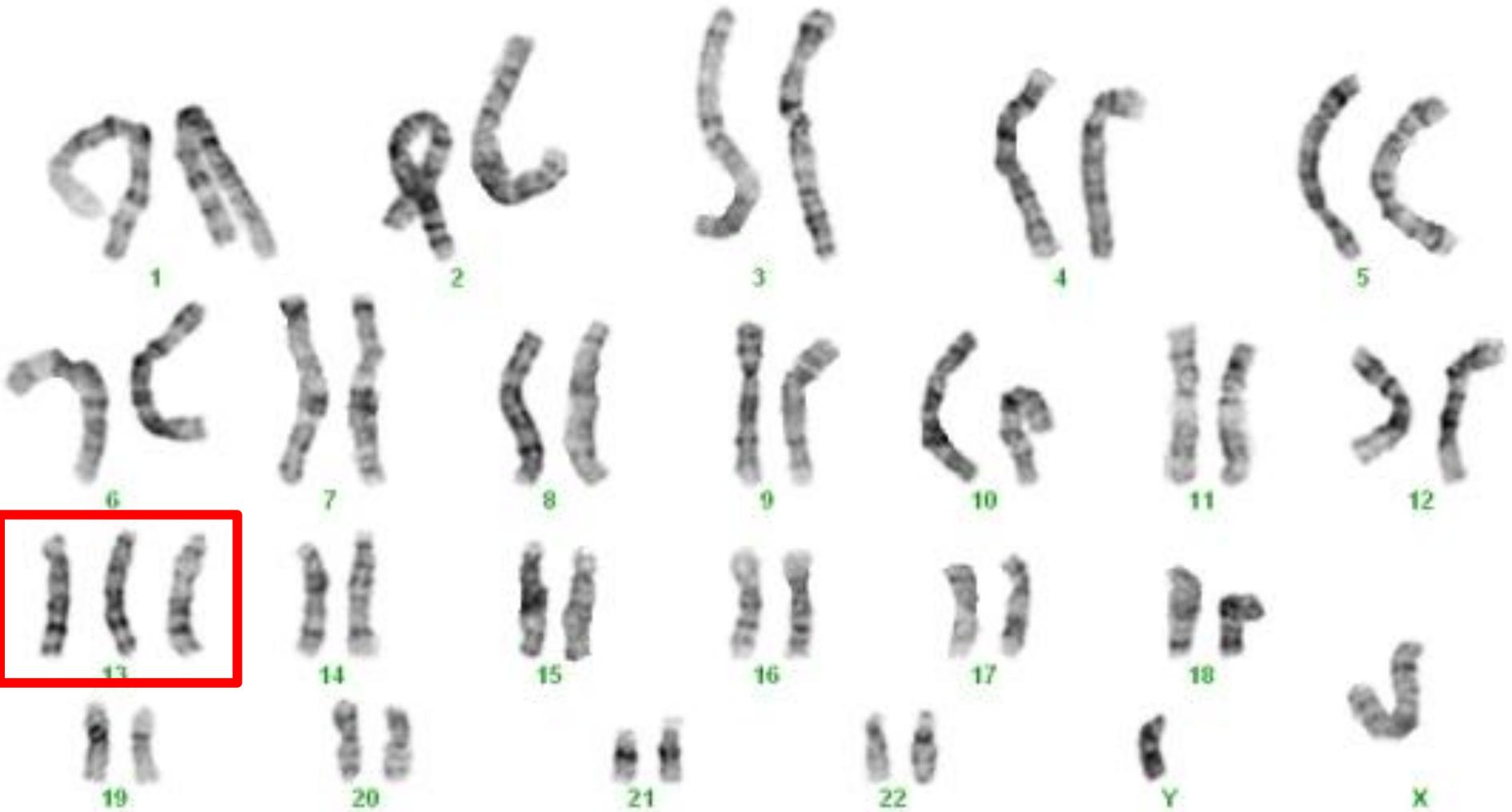
1/5000



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



D'autres anomalies chromosomiques

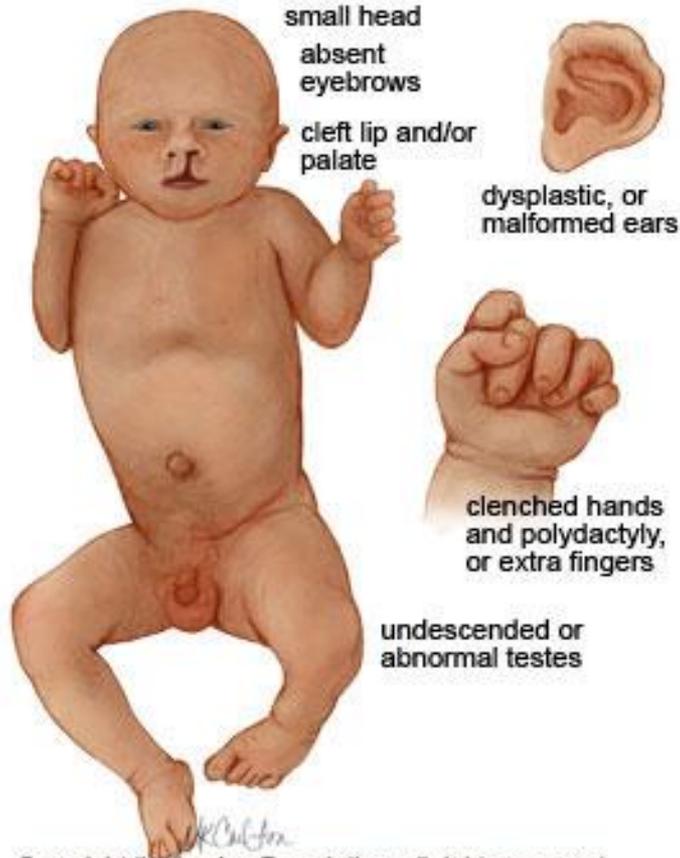


Trisomie 13 – syndrome de Patau

Trisomie 13

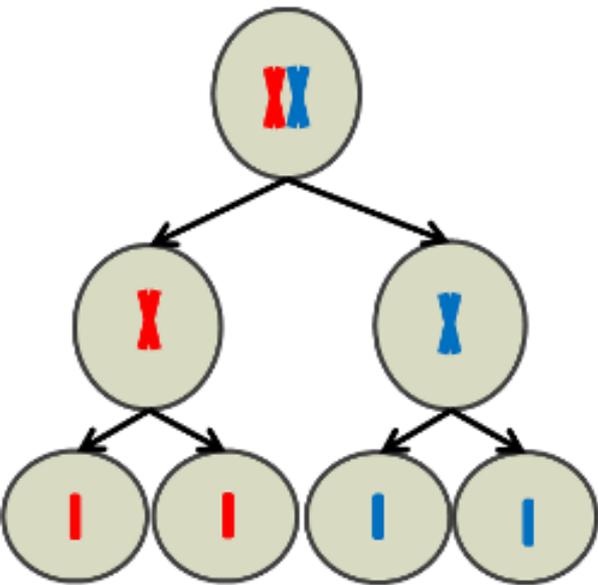


1/25 000

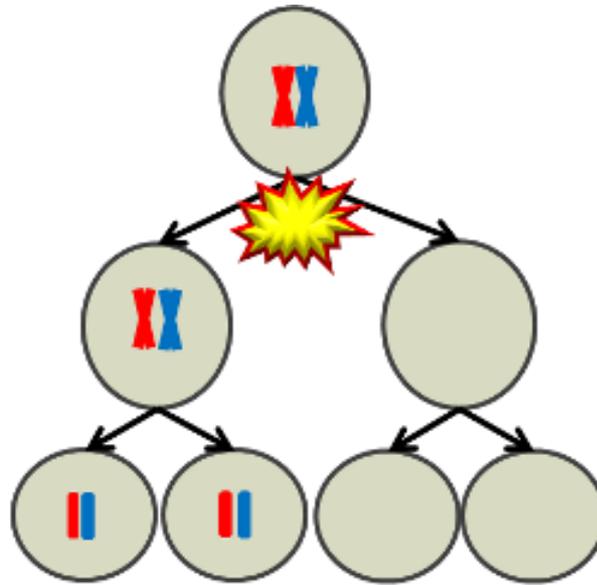


- mortalité pour 70 % avant les 6 mois
- malformations viscérales (cœur, rein)
- retard mental

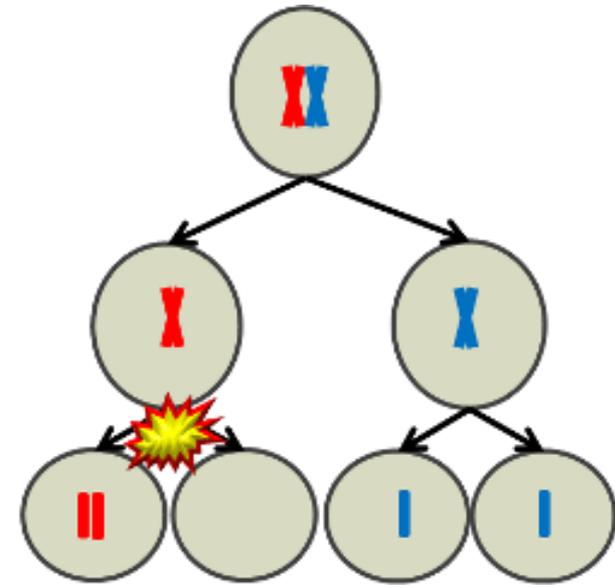
Origine des anomalies chromosomiques



Méiose normale

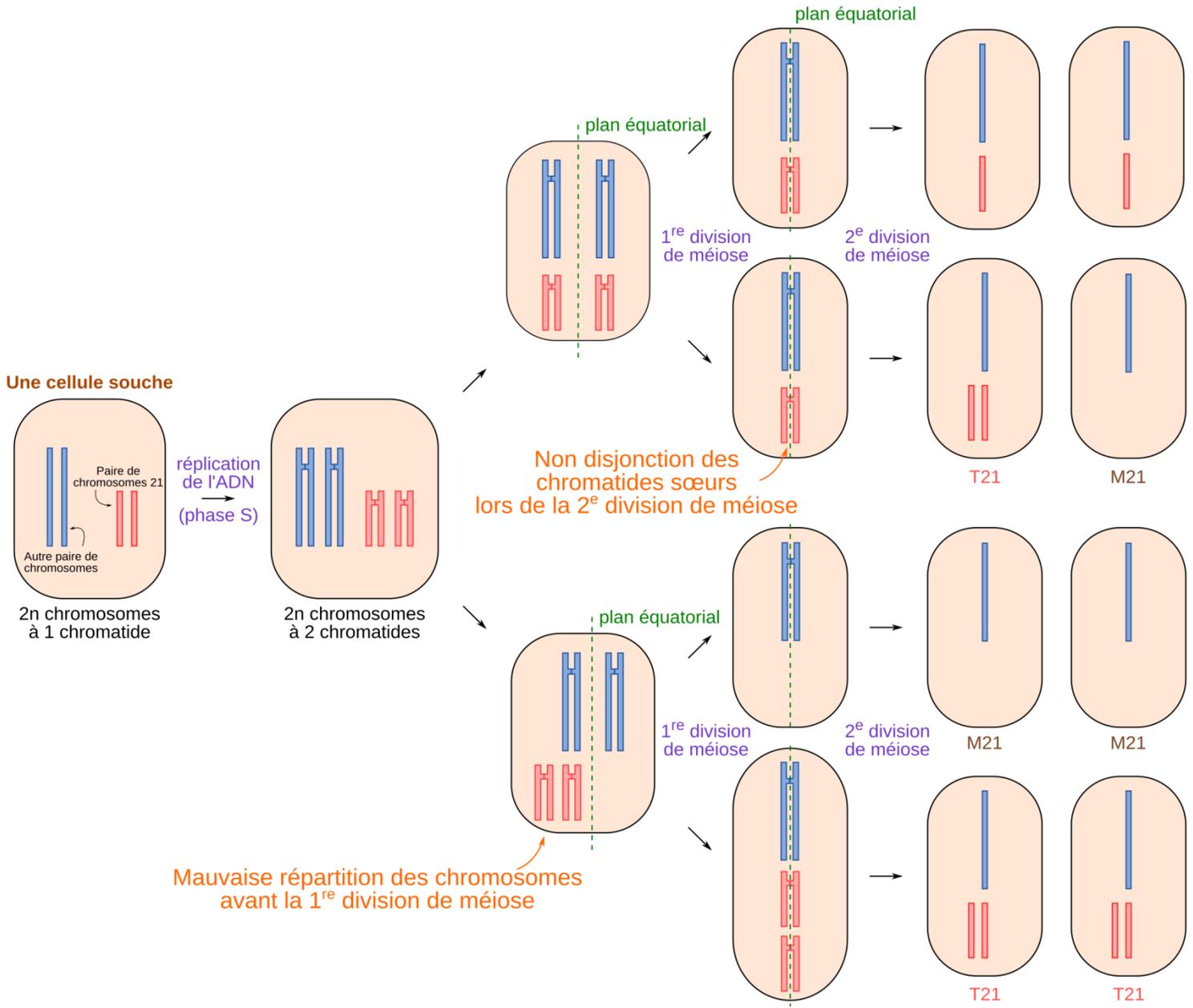


**Non-disjonction des chromosomes
en anaphase I**

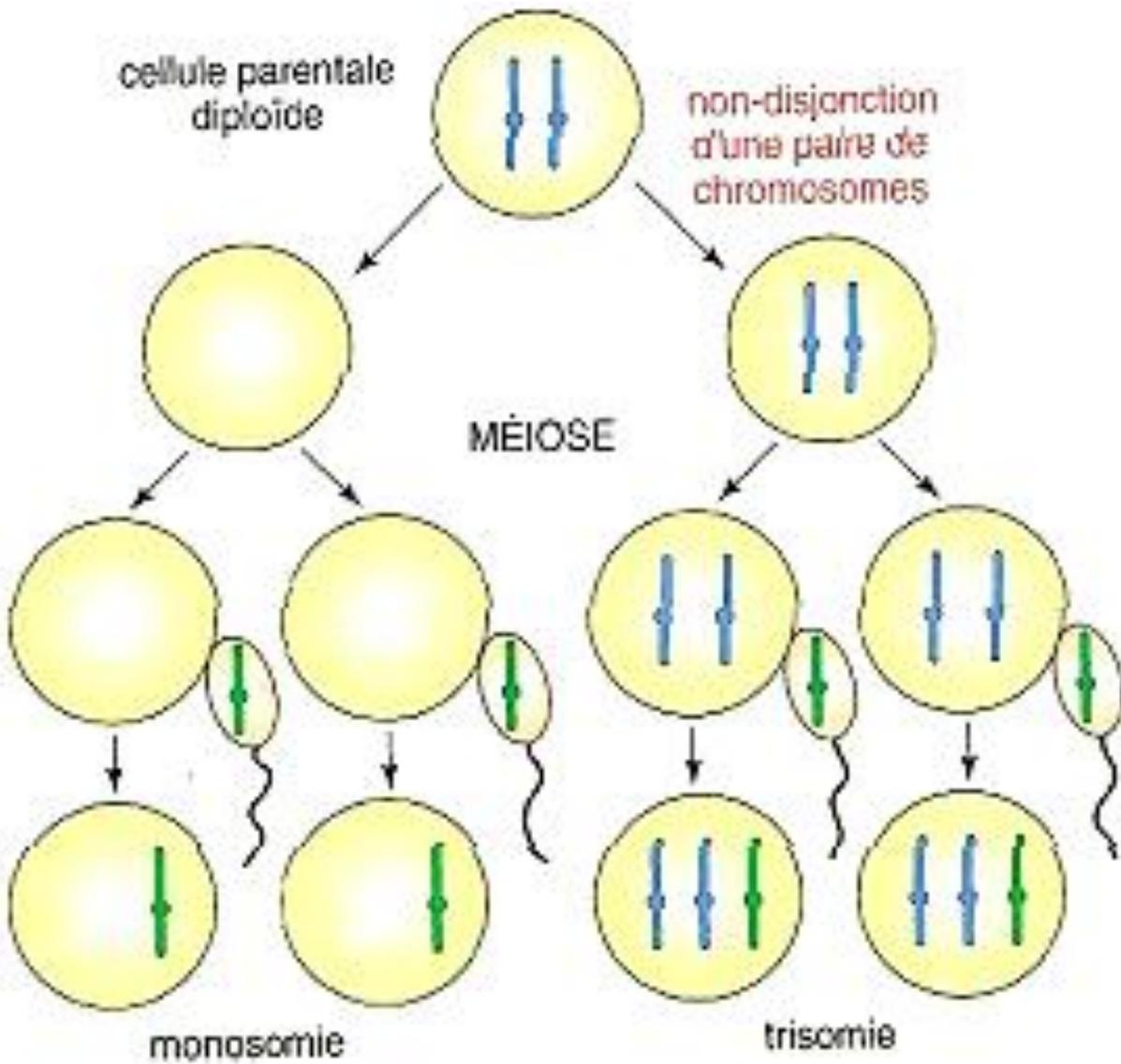


**Non-disjonction des chromatides
en anaphase II**

Origine des anomalies chromosomiques

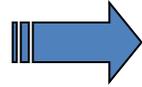


Origine des anomalies chromosomiques



Origine des anomalies chromosomiques

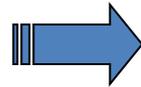
Maternelle



1ere division : 61,7%

2éme division : 15,3%

Paternelle



1ere division : 11,8%

2éme division : 11,2%

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

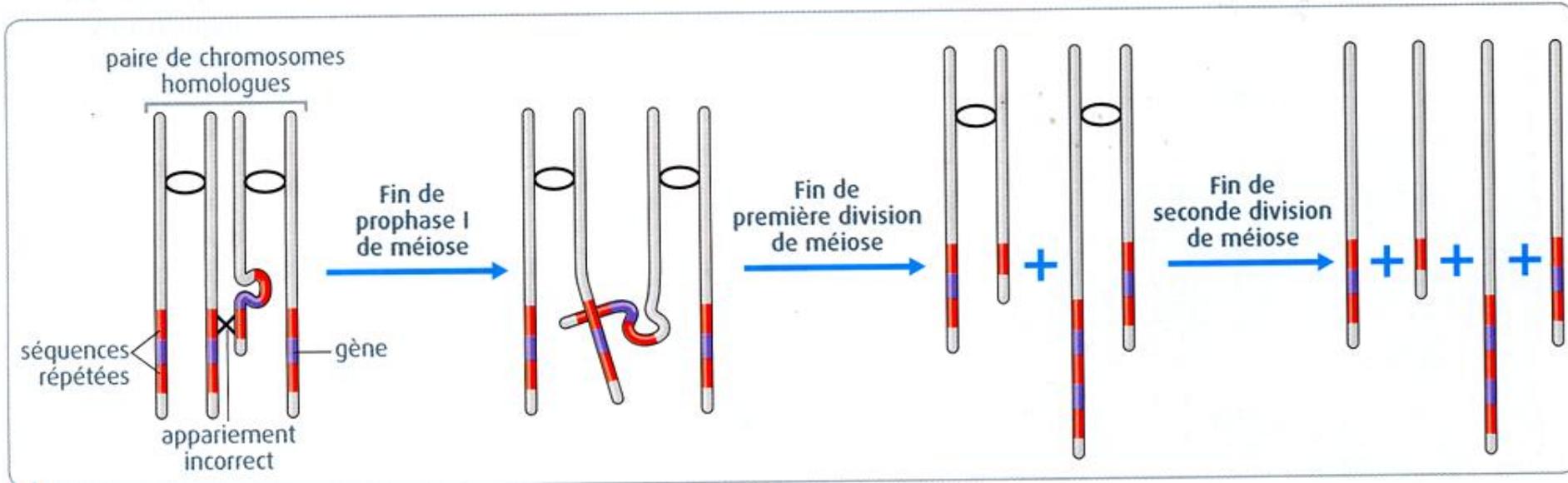
B. Le brassage génétique au cours de la fécondation

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

1. Des maladies liées à des anomalies du caryotype

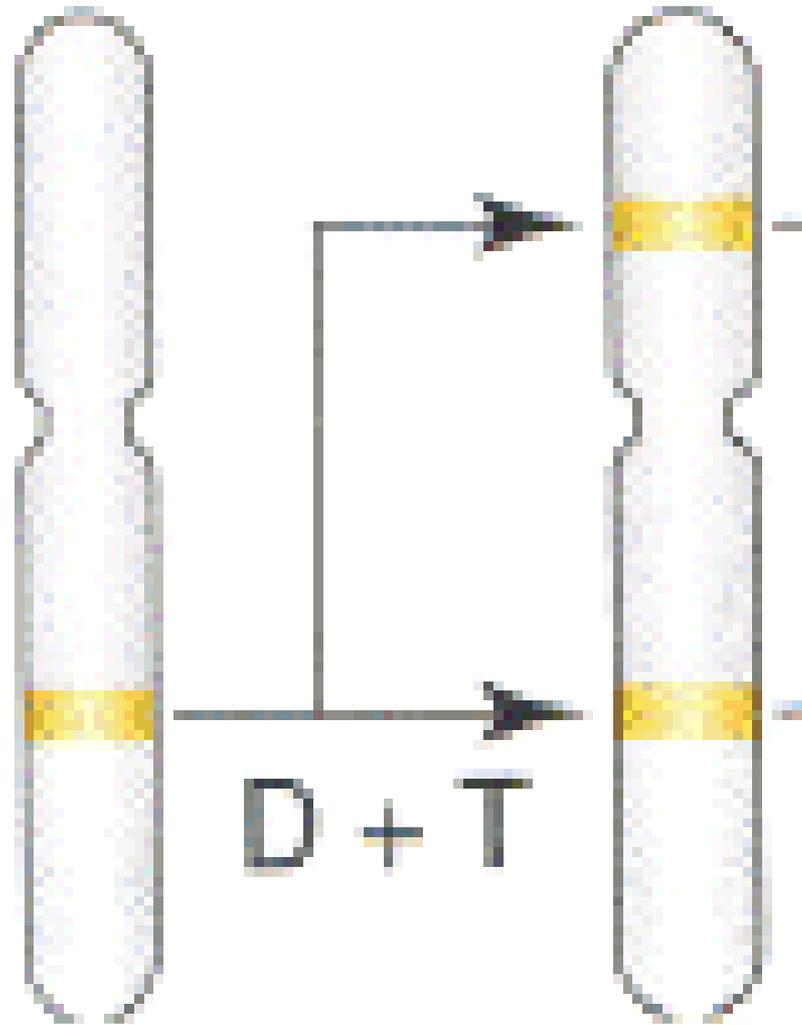
2. Anomalies de la méiose et diversification du génome

Crossing over inégaux

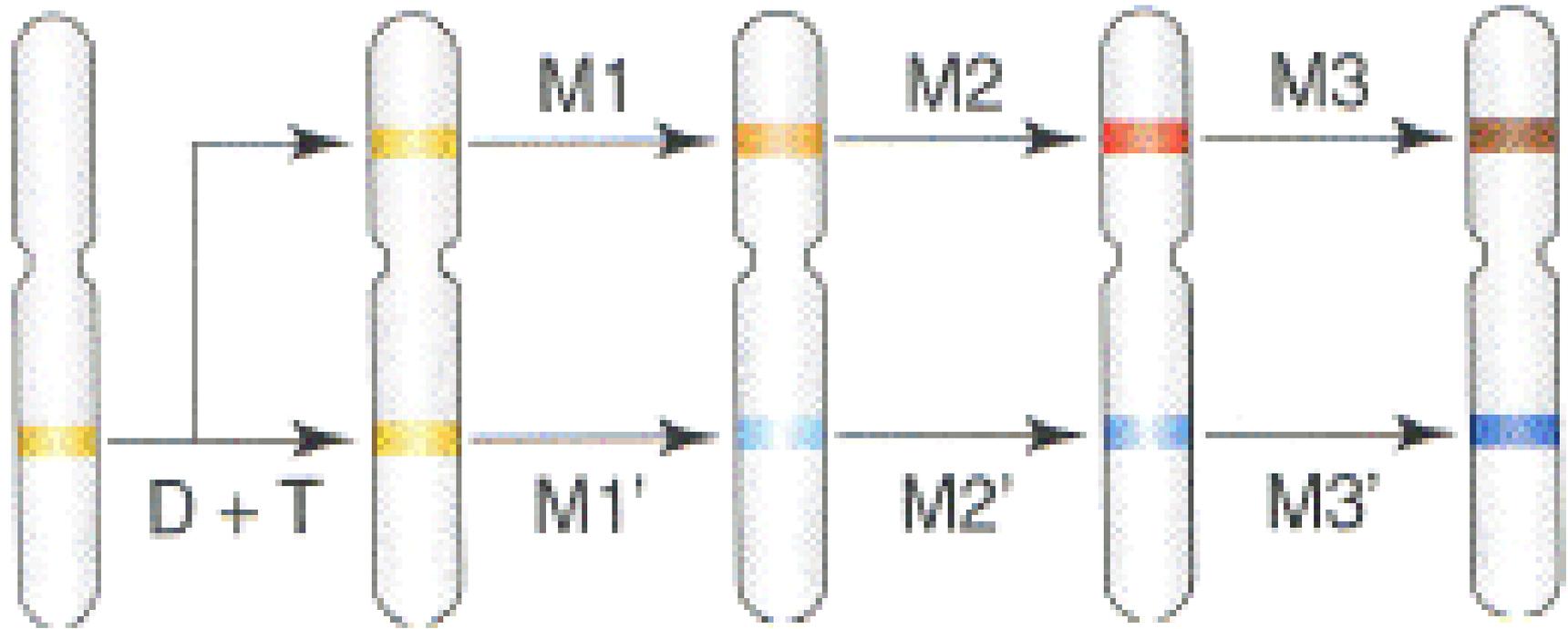


1 Les crossing-over inégaux. Dans certaines conditions, en prophase I de méiose, un appariement incorrect peut survenir, à l'origine d'un crossing-over qualifié d'inégal.

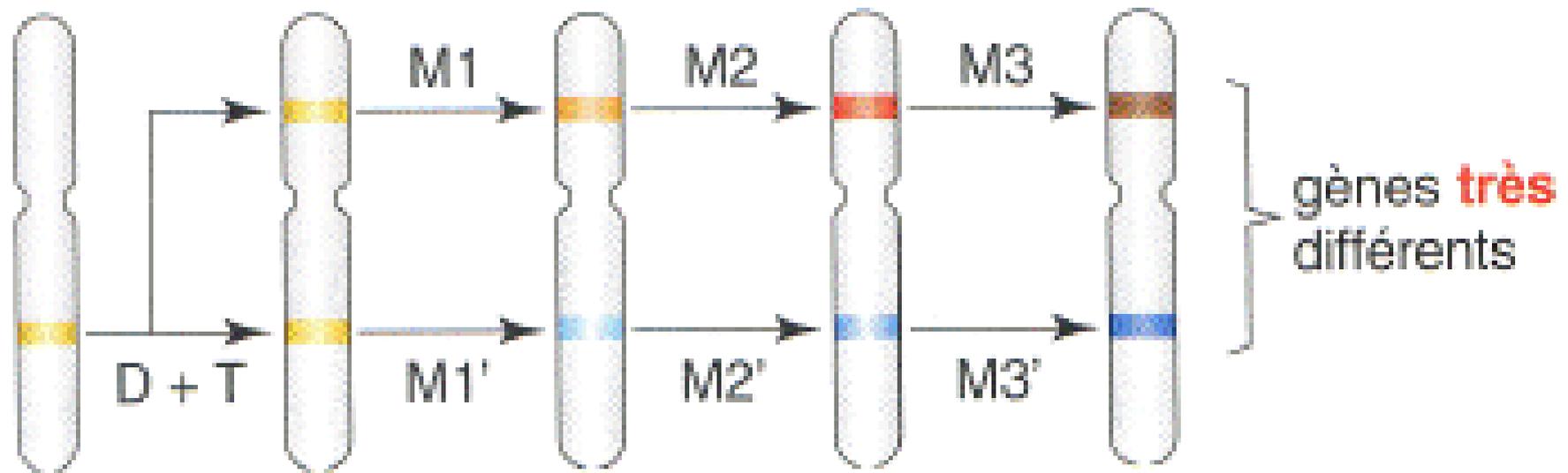
Duplication de gène



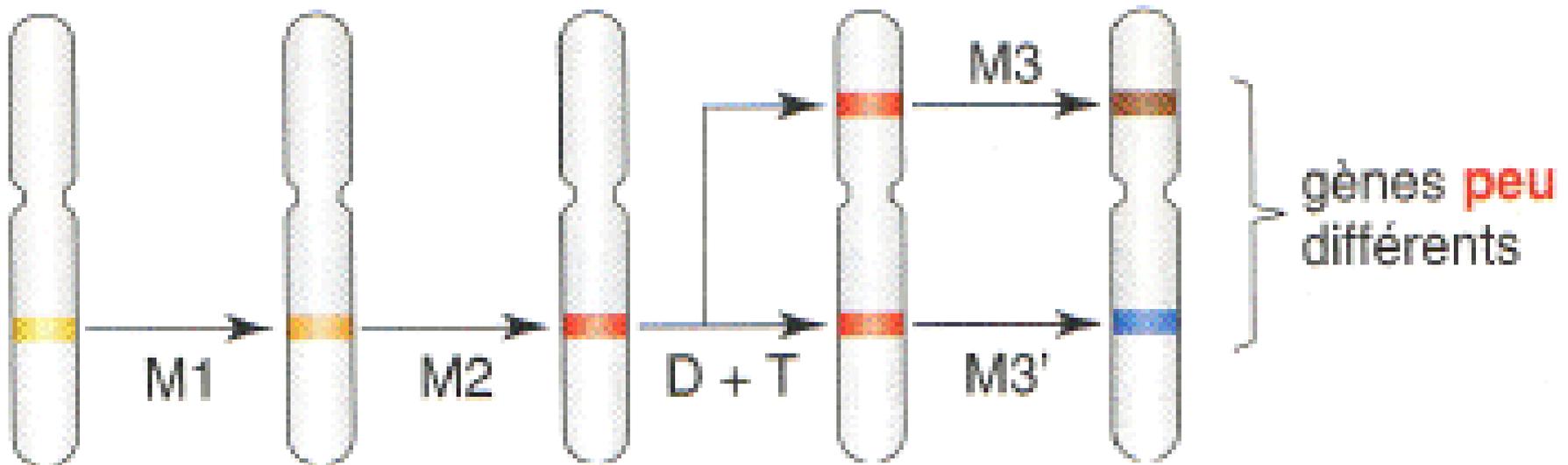
Divergence de séquences dupliquées par mutation



- 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*)

Localisation des gènes codant pour les pigments rétiniens

chromosome 3

chromosome 7

chromosome X



gène de la
rhodopsine

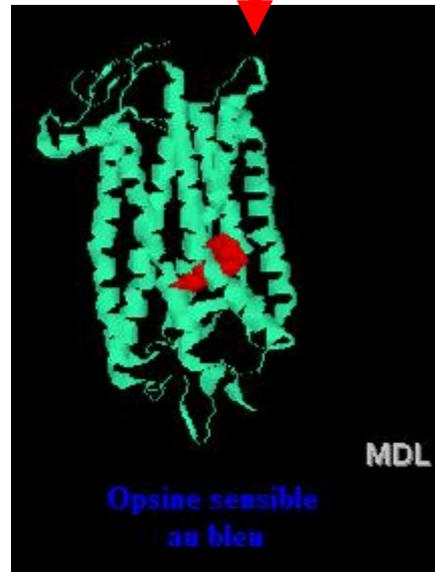
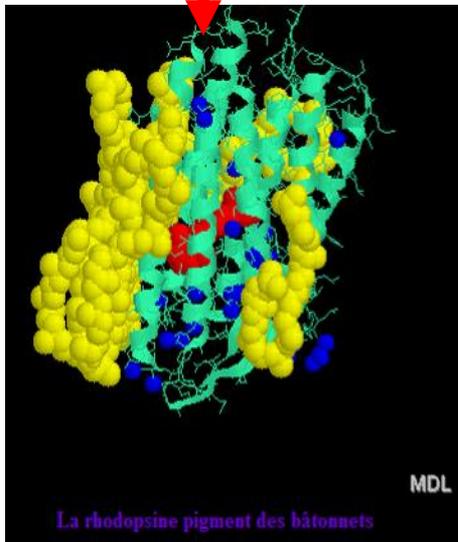


gène de
l'opsine bleue



gène de
l'opsine
verte

gène de
l'opsine
rouge



→ Conservation de la structure 3D (et de la fonction)

Comparaison des séquences de nucléotides des gènes des opsines

	175	180	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230																																													
opsine-rouge	T	G	G	A	T	G	A	T	C	T	T	T	G	T	G	G	T	C	A	T	T	G	C	A	T	C	C	G	T	C	T	T	C	A	C	A	A	A	T	G	G	G	C	T	T	G	T	G	C	T	G	G	C	G	G	C	C
opsine-verte	T	G	G	A	T	G	A	T	C	T	T	T	G	T	G	G	T	C	A	T	T	G	C	A	T	C	C	G	T	T	T	C	A	C	A	A	A	T	G	G	G	C	T	T	G	T	G	C	T	G	G	C	G	G	C	C	
opsine-bleue	T	T	C	A	T	G	G	G	C	A	C	T	G	T	C	T	T	C	T	T	A	T	A	G	G	G	T	T	C	C	C	A	C	T	C	A	A	T	G	C	C	A	T	G	G	T	G	C	T	G	G	T	G	G	C	C	

Demi matrice des distances

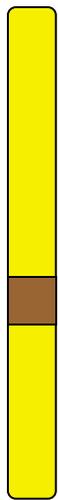
	opsine-rouge	opsine-verte	opsine-bleue
opsine-rouge	0	1.69	39.8
opsine-verte		0	39.9
opsine-bleue			0

% de différences
entre le gène de
l'opsine bleue et
le gène de
l'opsine rouge

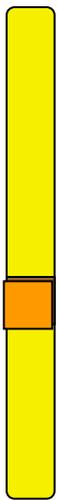
**Les gènes des opsines ont plus de 60%
de leurs séquences en commun**

D = Duplication
M = Mutation

Chr X



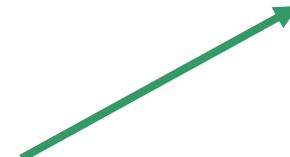
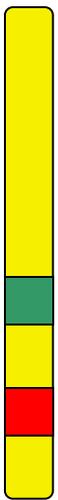
M



D



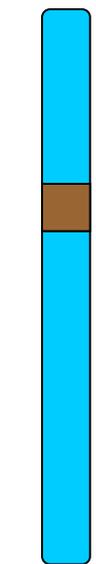
M



opsine sensible au vert



opsine sensible au rouge



D



M



M



M



opsine sensible au bleu

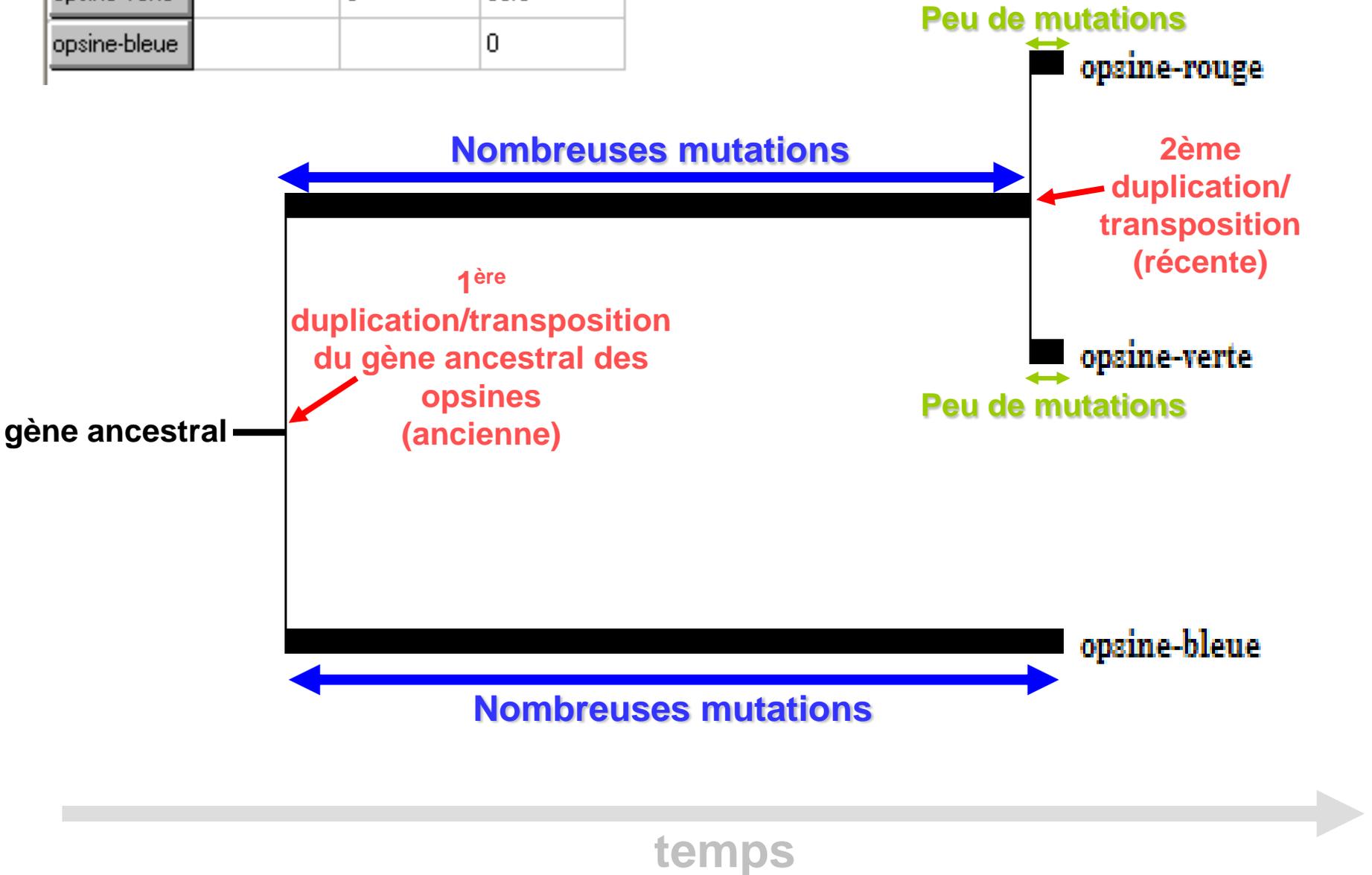
Chr 7

Temps



Arbre de filiation

	opsine-rouge	opsine-verte	opsine-bleue
opsine-rouge	0	1.69	39.8
opsine-verte		0	39.9
opsine-bleue			0

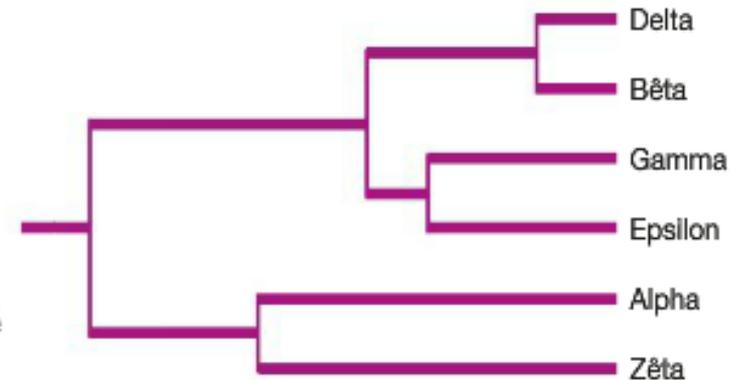


Exemple d'une famille multigénique : les globines

- 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.

Exemple d'une famille multigénique : les globines

				5				10					15					20					25					30					35					40					45					50					55			
alpha1	-	M	V	L	S	P	A	D	K	T	N	V	K	A	A	W	G	K	V	G	A	H	A	G	E	Y	G	A	E	A	L	E	R	M	F	L	S	F	P	T	T	K	T	Y	F	P	H	F	-	D	L	S	-	-	H	-
alpha2	-	M	V	L	S	P	A	D	K	T	N	V	K	A	A	W	G	K	V	G	A	H	A	G	E	Y	G	A	E	A	L	E	R	M	F	L	S	F	P	T	T	K	T	Y	F	P	H	F	-	D	L	S	-	-	H	-
theta	-	M	A	L	S	A	E	D	R	A	L	V	R	A	L	W	K	K	L	G	S	N	V	G	V	Y	T	T	E	A	L	E	R	T	F	L	A	F	P	A	T	K	T	Y	F	S	H	L	-	D	L	S	-	-	P	-
zeta	-	M	S	L	T	K	T	E	R	T	I	I	V	S	M	W	A	K	I	S	T	Q	A	D	T	I	G	T	E	T	L	E	R	L	F	L	S	H	P	Q	T	K	T	Y	F	P	H	F	-	D	L	H	-	-	P	-
gammaA	M	G	H	F	T	E	E	D	K	A	T	I	T	S	L	W	G	K	V	N	-	-	V	E	D	A	G	G	E	T	L	G	R	L	L	V	V	Y	P	W	T	Q	R	F	F	D	S	F	G	N	L	S	S	A	S	A
gammaG	M	G	H	F	T	E	E	D	K	A	T	I	T	S	L	W	G	K	V	N	-	-	V	E	D	A	G	G	E	T	L	G	R	L	L	V	V	Y	P	W	T	Q	R	F	F	D	S	F	G	N	L	S	S	A	S	A
epsilon	M	V	H	F	T	A	E	E	K	A	A	V	T	S	L	W	S	K	M	N	-	-	V	E	E	A	G	G	E	A	L	G	R	L	L	V	V	Y	P	W	T	Q	R	F	F	D	S	F	G	N	L	S	S	P	S	A

Exemple d'une famille multigénique : les globines

Famille de l' α - globine (chromosome n° 16)



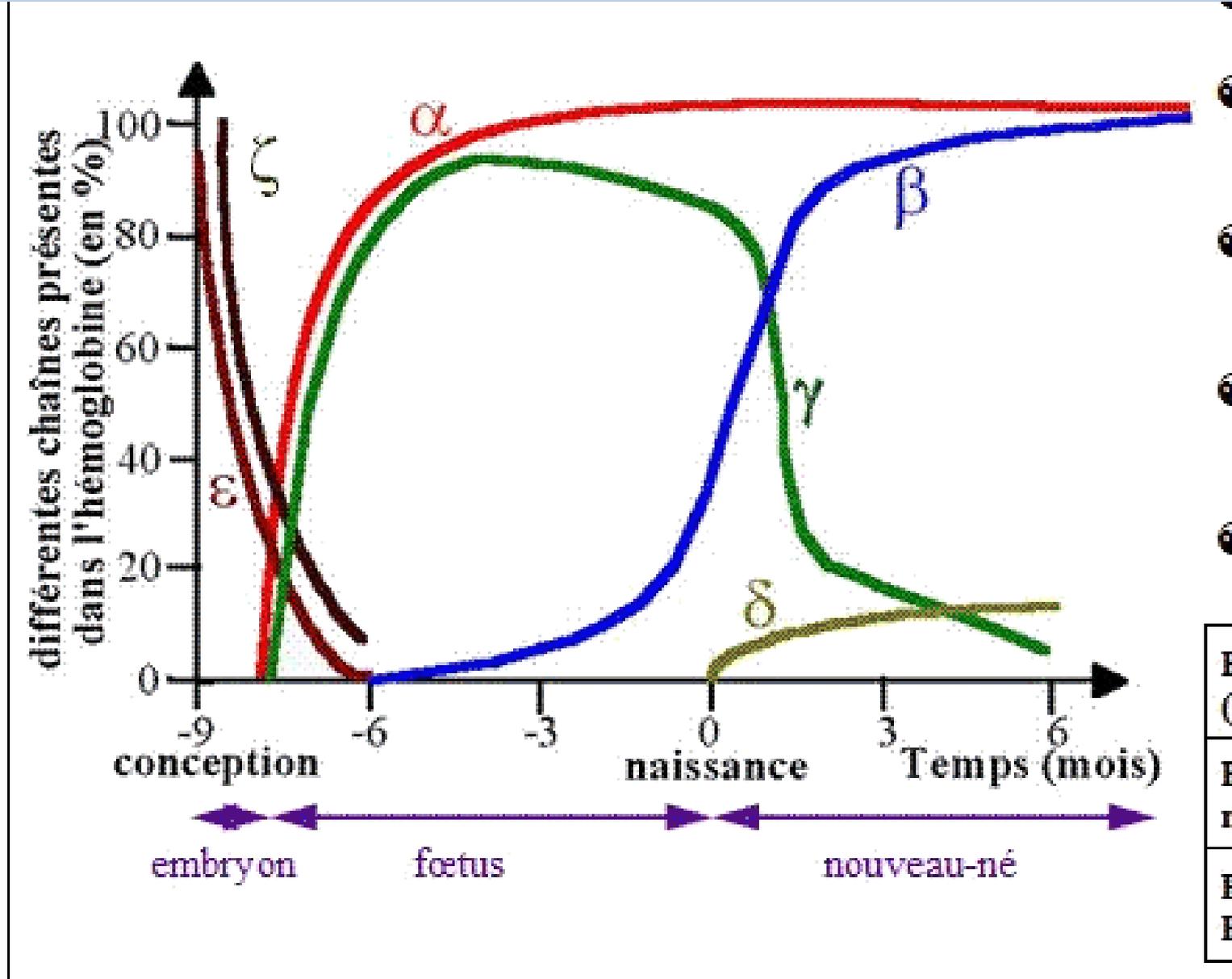
Famille de la β - globine (chromosome n° 11)



Myoglobine (chromosome n° 22)

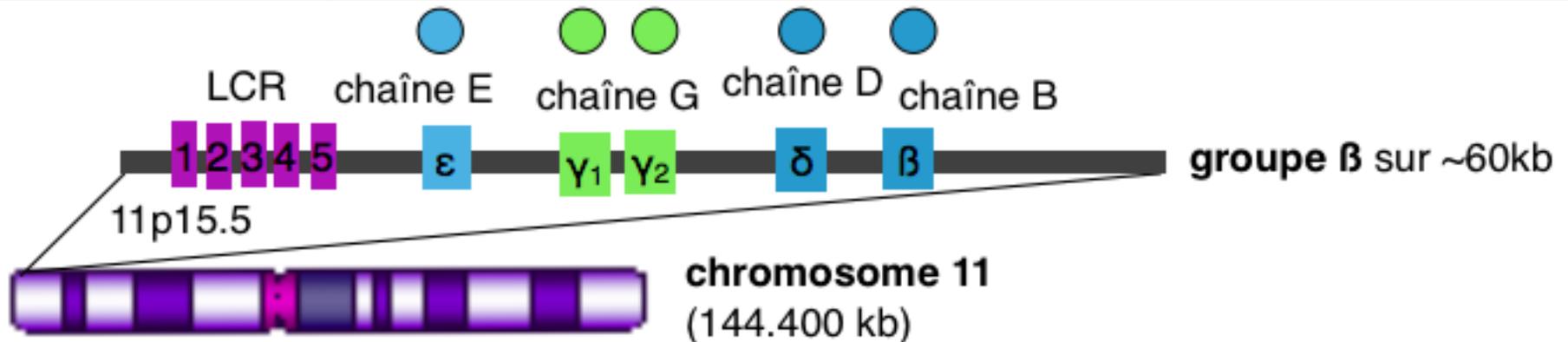
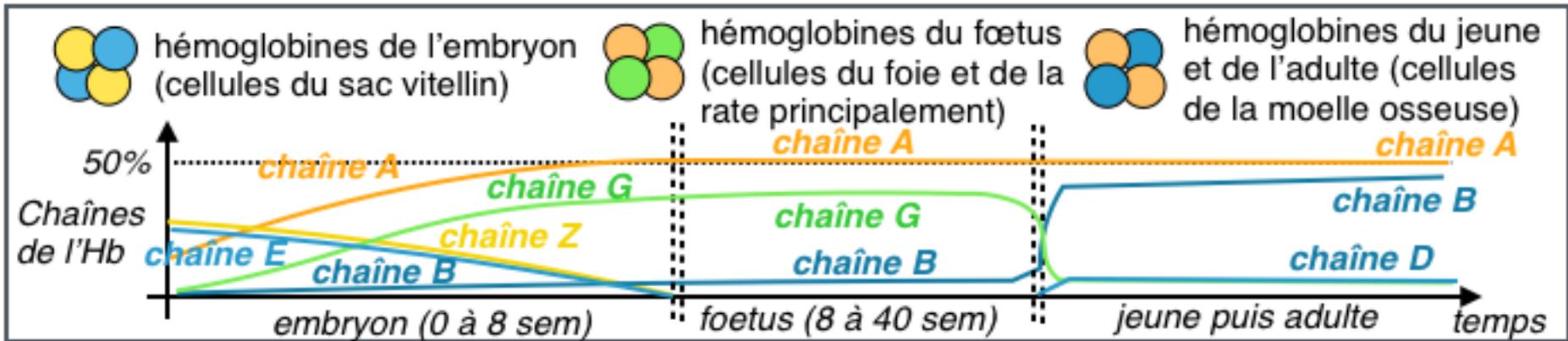
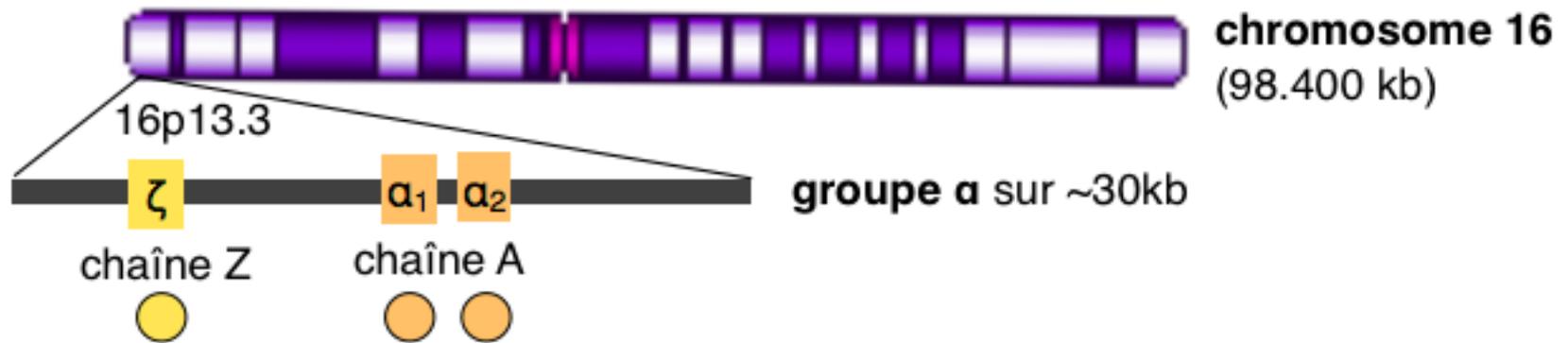


Exemple d'une famille multigénique : les globines



F
(
F
II
F
F

Exemple d'une famille multigénique : les globines

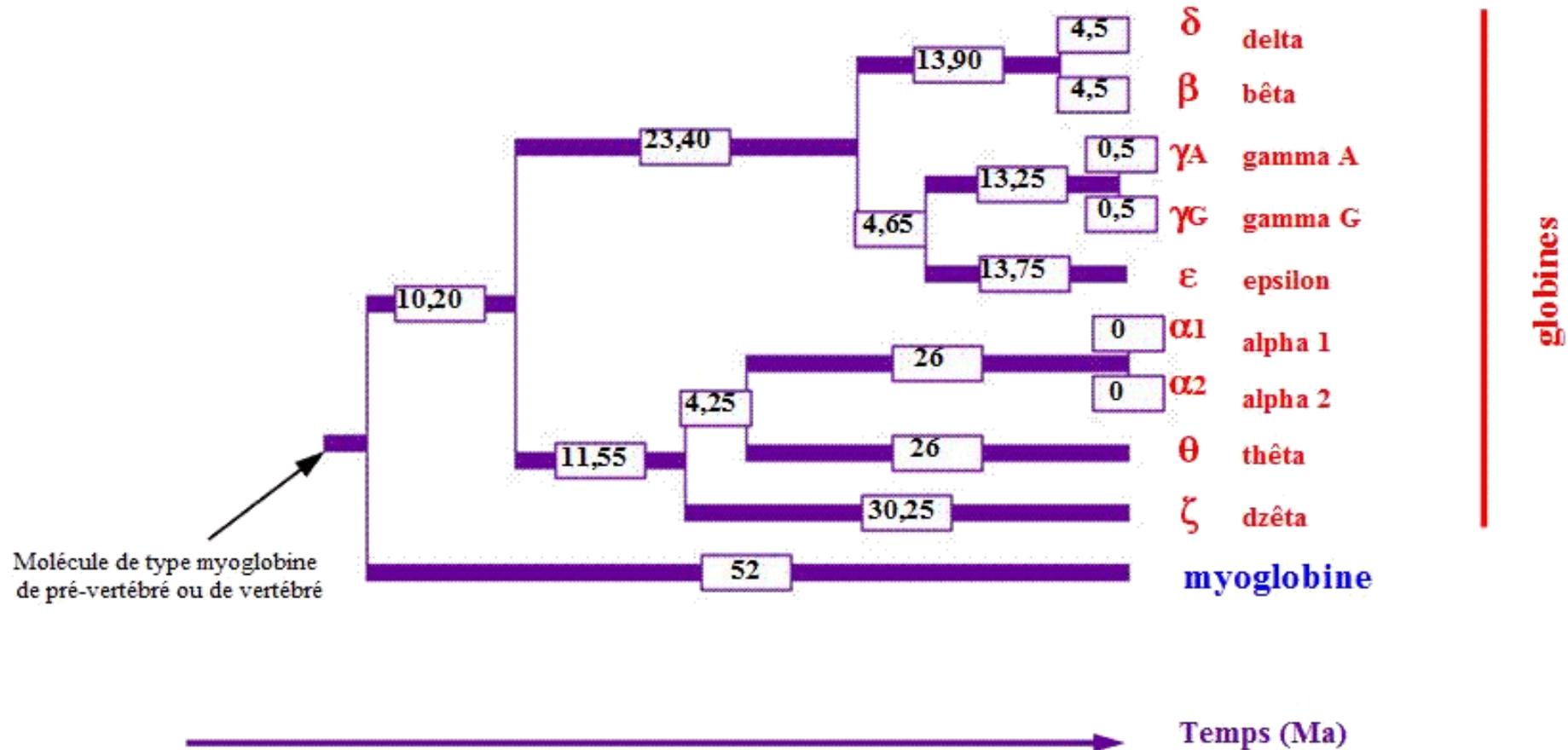


Exemple d'une **famille multigénique** : les globines

	alpha1	alpha2	theta	zeta	gammaA	gammaG	epsilon	delta	beta
alpha1	0	0	52	55	81	81	85	78	77
alpha2		0	52	55	81	81	85	78	77
theta			0	66	84	84	87	84	85
zeta				0	83	83	83	85	87
gammaA					0	1	27	40	37
gammaG						0	28	39	36
epsilon							0	38	33
delta								0	9

Nombres d'acides aminés différents

Exemple d'une famille multigénique : les globines



- 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

4. Hypothèse= D'après les proportions obtenues en F2 je suppose que les deux gènes étudiés sont liés, car les gamètes contenant les gamètes **parentaux** sont plus fréquents que les gamètes contenant les gamètes **recombinés**.

5. Schéma

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

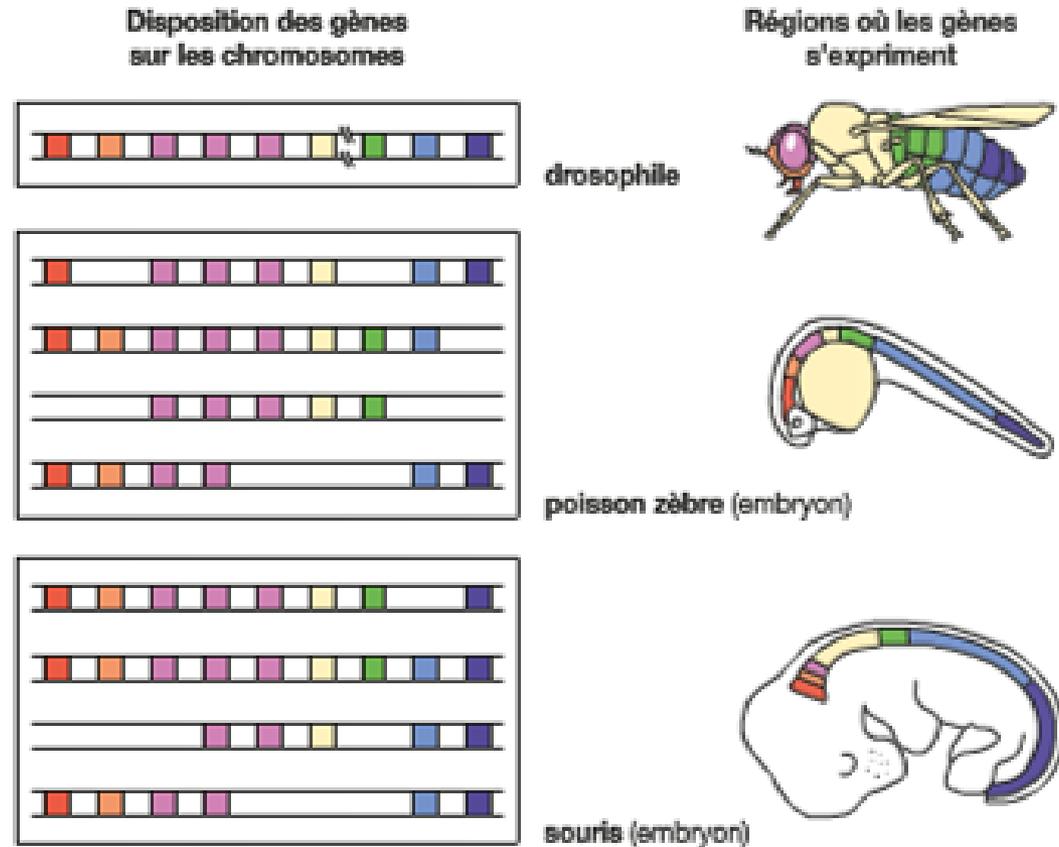
C. Des modifications dans l'intensité, la durée ou la chronologie d'expression des gènes de développement

III. Modification des génomes et diversification du vivant

IV. Des processus de diversification du vivant non génétiques

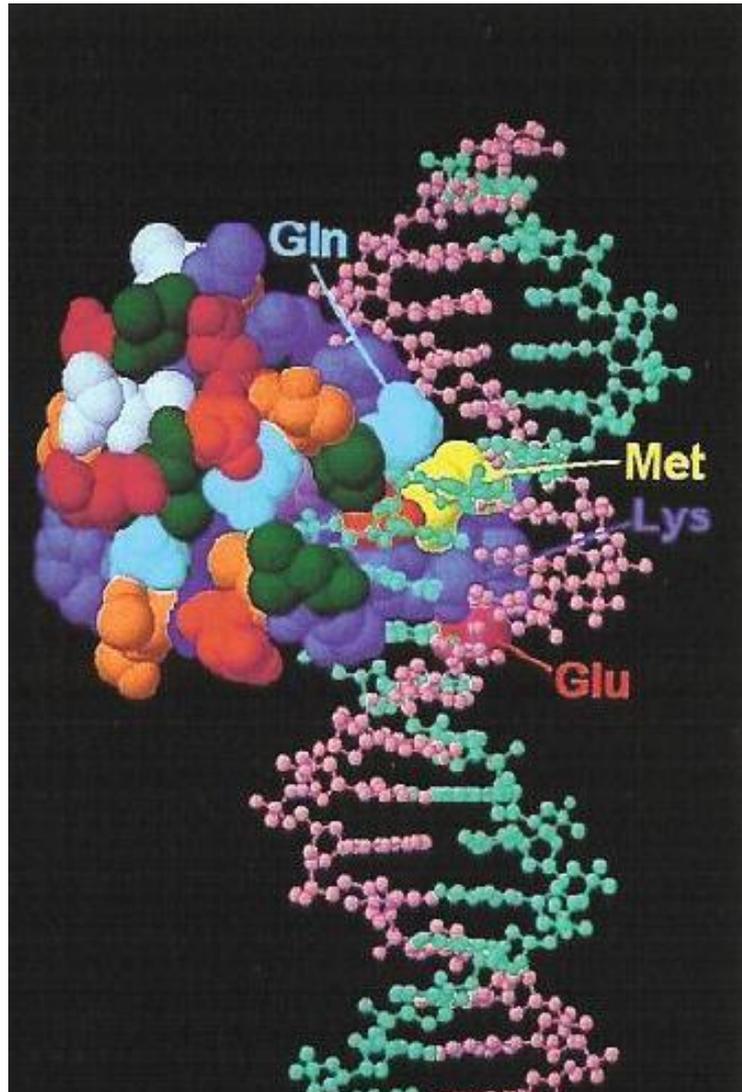
Des gènes de développement

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

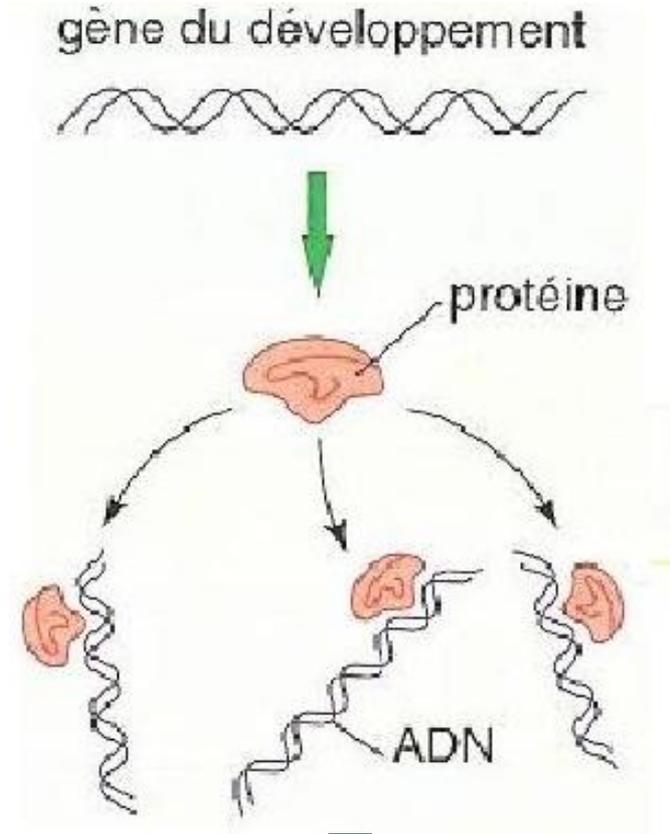


Les gènes de développements existent chez de nombreux animaux

Des gènes de développement

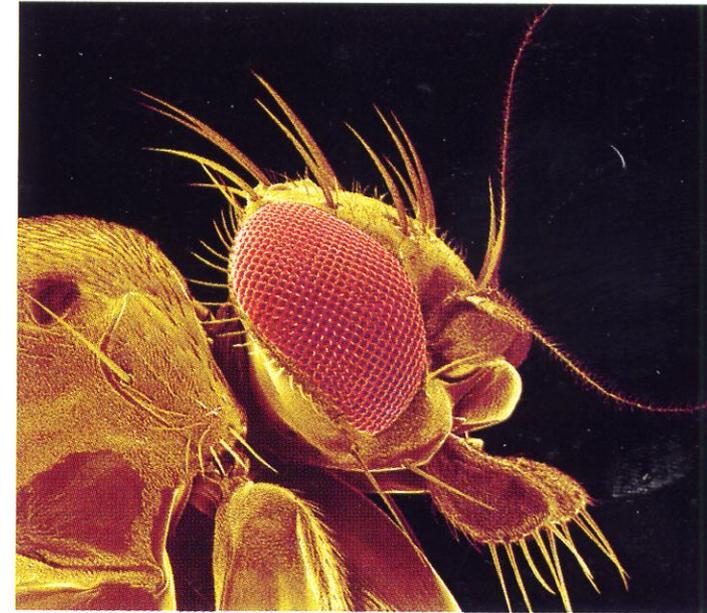
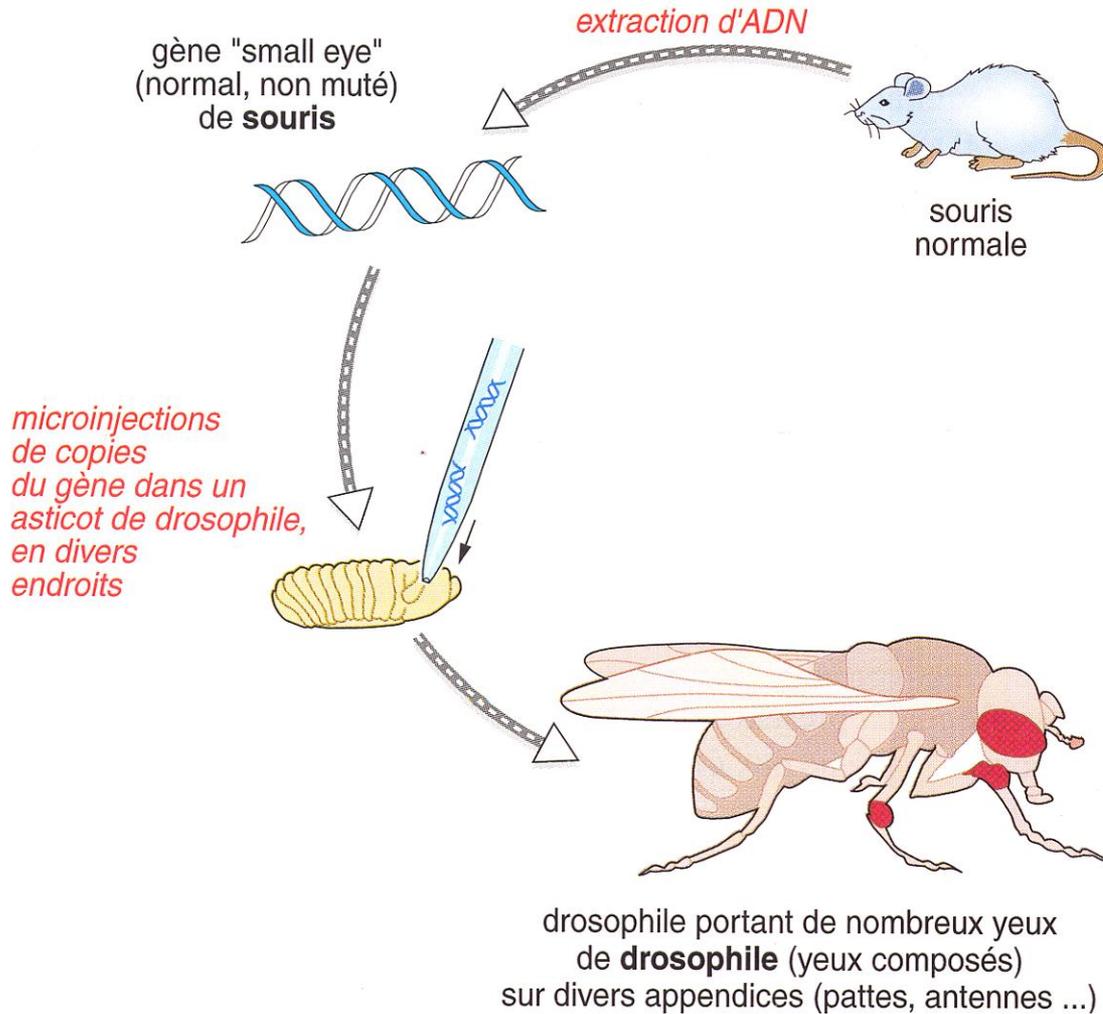


Fixation à l'ADN



**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 !

Les gènes architectes sont capables de commander des gènes « ouvriers » d'une autre espèce
-> **Origine commune** de ces gènes.

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

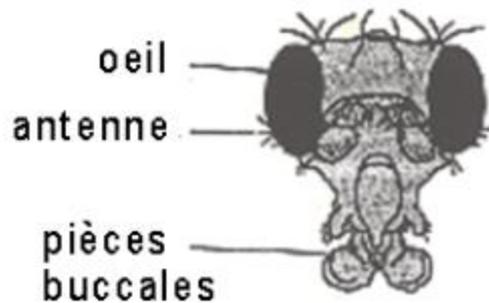
- C. Des modifications dans l'intensité, la durée ou la chronologie d'expression des gènes de développement
- III. Modification des génomes et diversification du vivant
- IIV Des processus de diversification du vivant non génétiques

Des mutants **homéotiques**

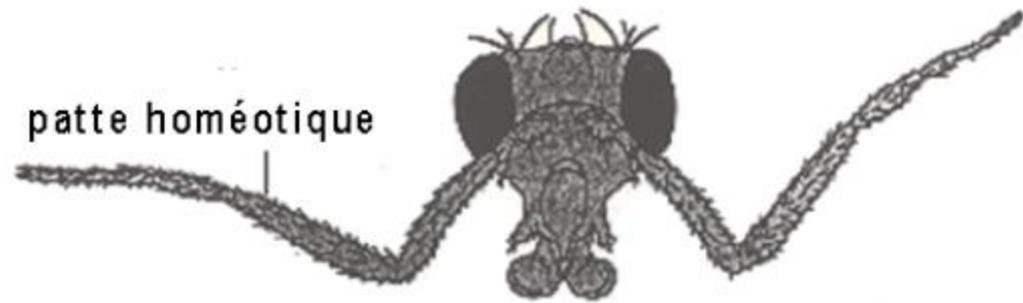
antennapedia

wild-type *drosophila*

antennapedia mutant



TÊTE DE DROSOPHILE SAUVAGE



TÊTE DE DROSOPHILE MUTÉE

Des mutants **homéotiques**

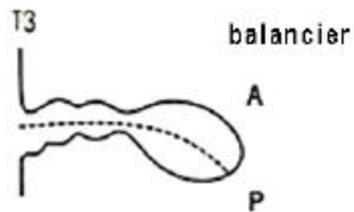
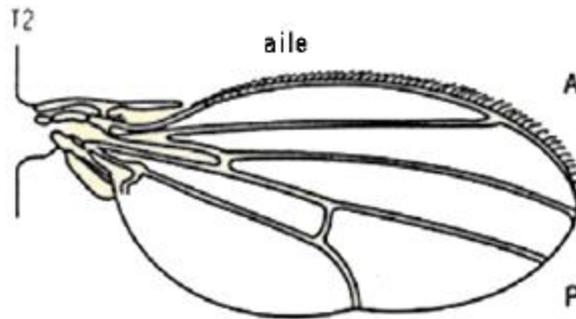
bithorax

The Story with
the Flies

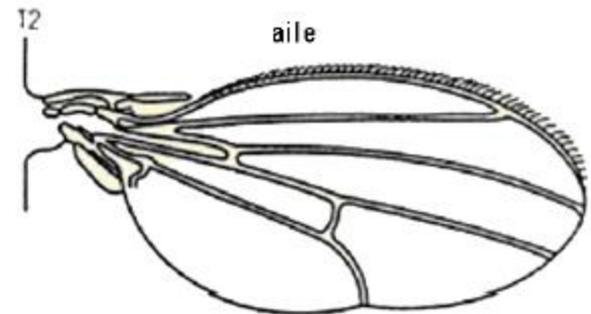
Haltere

An extra pair of
wings instead of
halteres

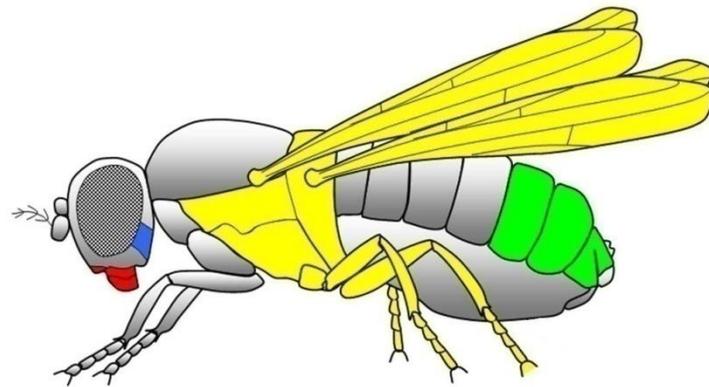
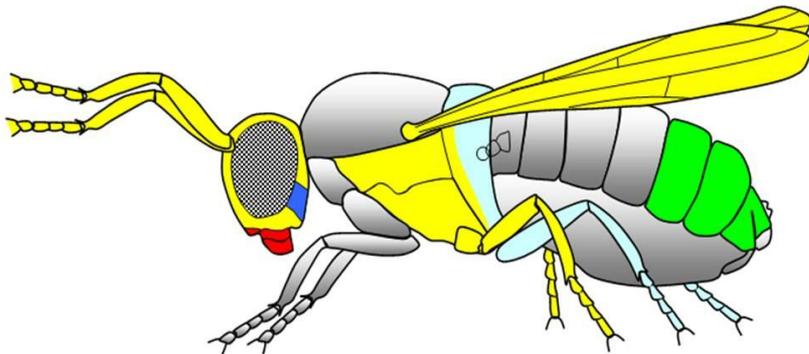
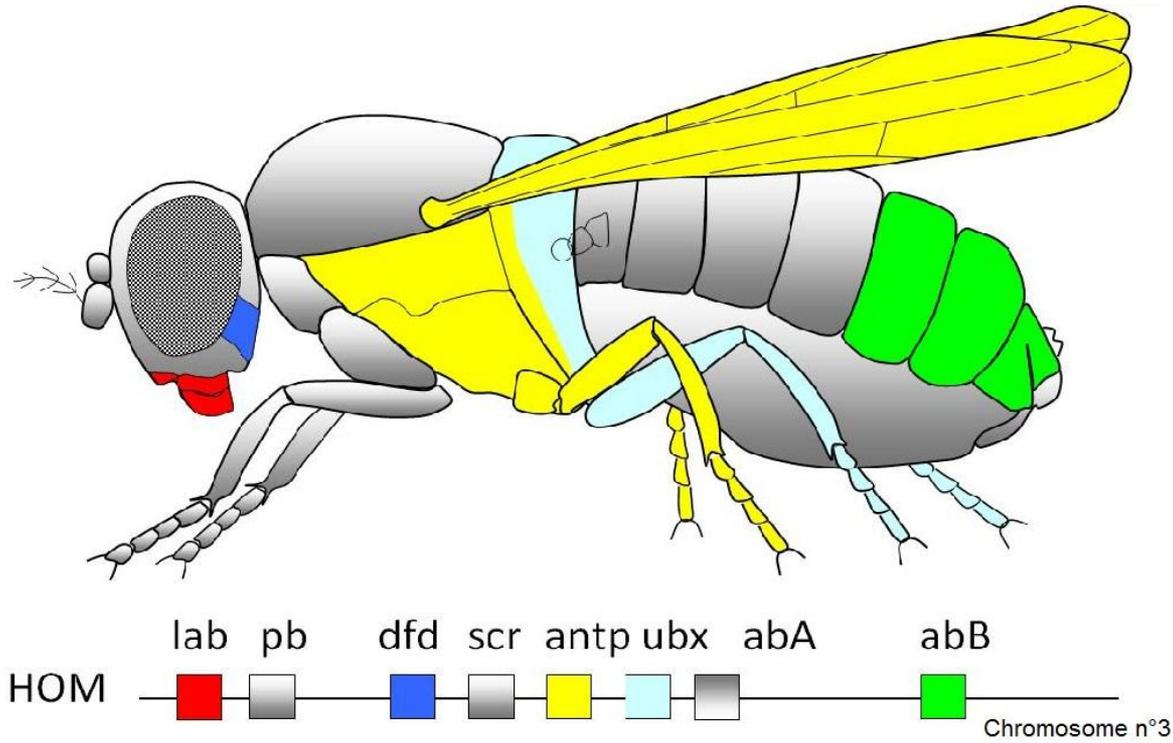
TYPE SAUVAGE



TYPE BITHORAX



Des modifications de la zone d'expression de gènes homéotiques



Territoires d'expression des gènes :

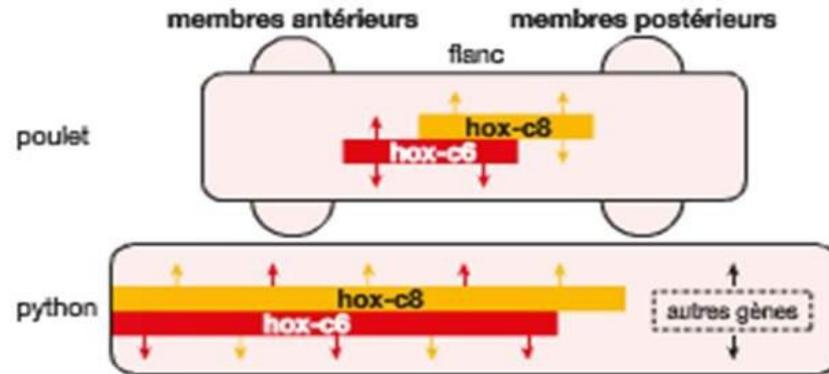
- lab
- pb
- dfd
- scr
- antp
- ubx
- abA
- abB

Des modifications de la zone d'expression de gènes homéotiques

existe
ciques
n sont
imaux

nt par
' toute
tre).

(crotale) ►
telette



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

Le maintien de l'expression des gènes *hoxc6* et *hoxc8* aboutit à l'absence de pattes et le maintien des côtes.

Des modifications de la zone d'expression de gènes homéotiques



le Seps strié – 4 pattes atrophiées (lézard)

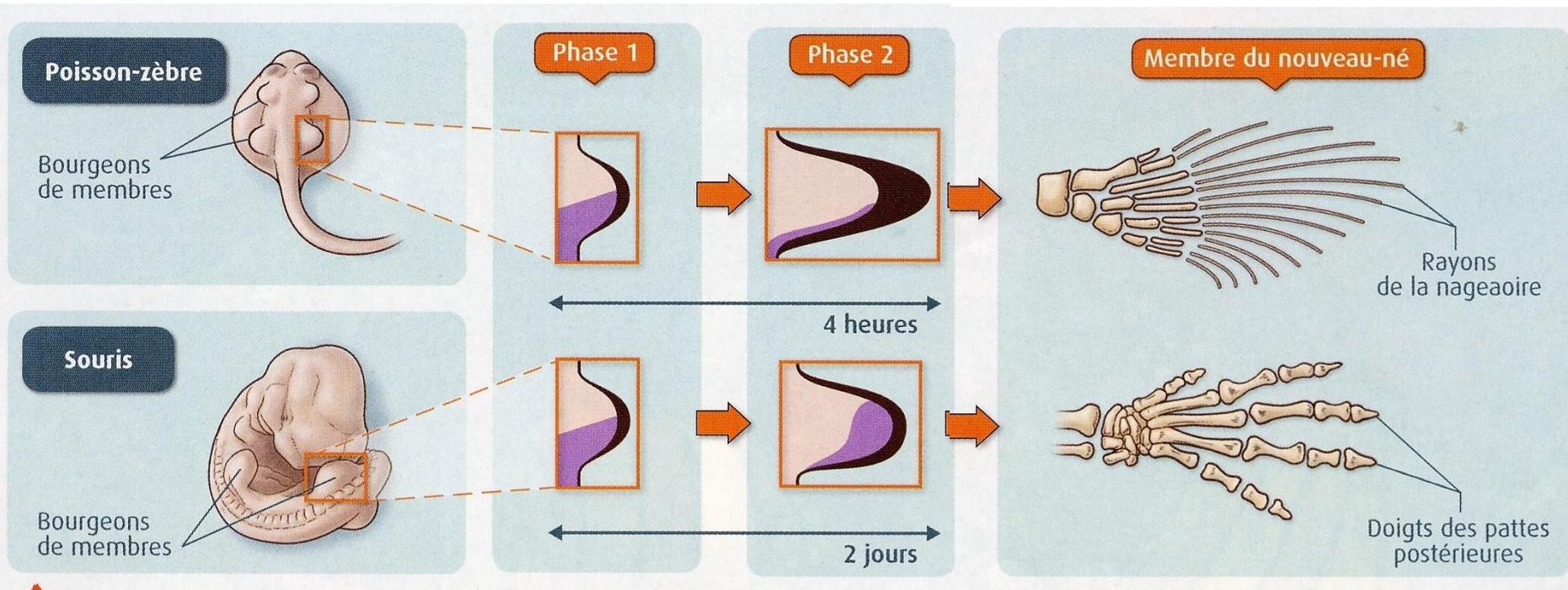
Des modifications de la zone d'expression de gènes homéotiques



**Lezard ajolote – Mexique
2 pattes**



Modification du territoire d'expression de gènes du développement chez la souris



Le territoire d'expression des gènes contribue à déterminer la nature du membre

Chapitre 2 :

Mécanismes de diversification du vivant

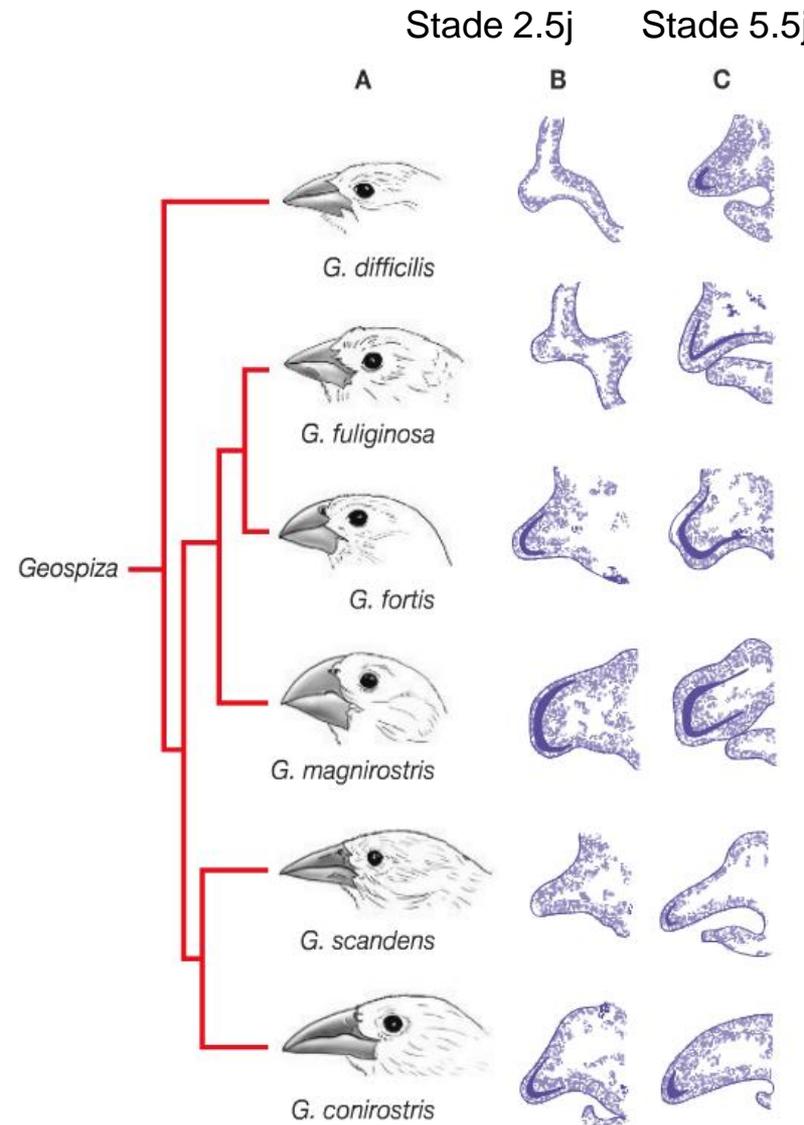
- I. Mécanismes génétiques de diversification du vivant ayant lieu au cours de la reproduction sexuée
- II. Modifications dans l'expression de gènes et diversification du vivant
 - A. Les gènes de développement
 - B. Des modifications de la zone d'expression des gènes de développement
 - C. Des modifications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

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

Variation de la zone et de l'intensité d'expression d'un gène

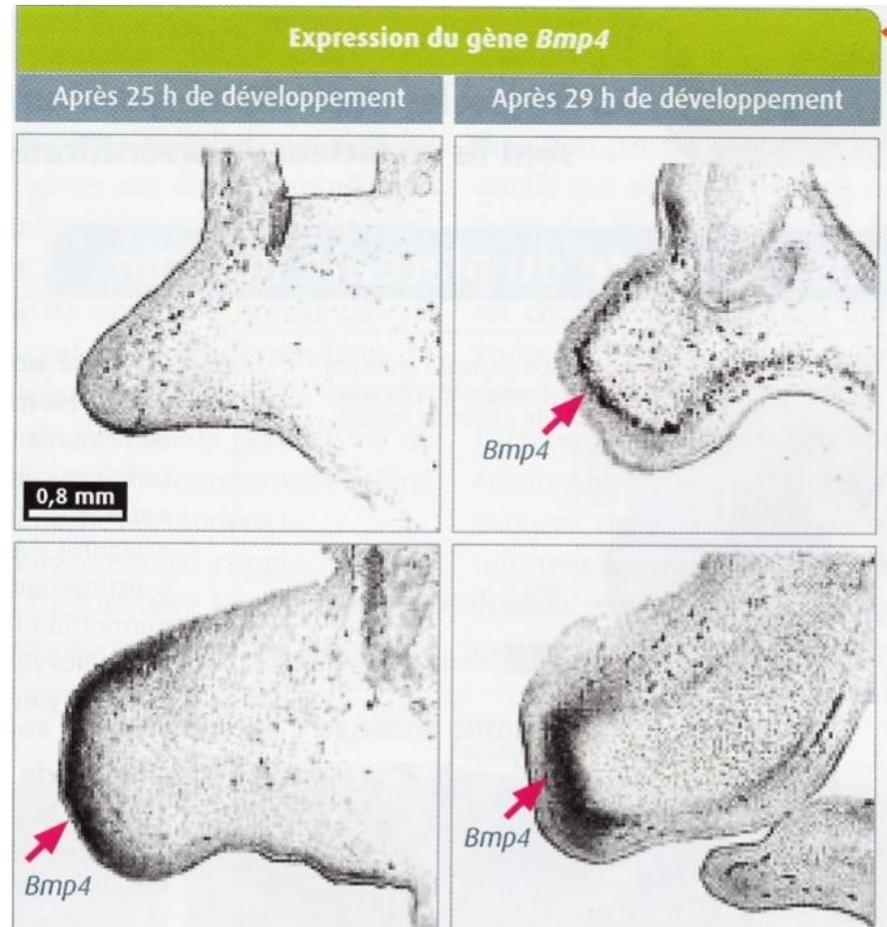
Zone violette = zone d'**expression** du gène Bmp4

Intensité du violet = intensité d'expression du gène Bmp4



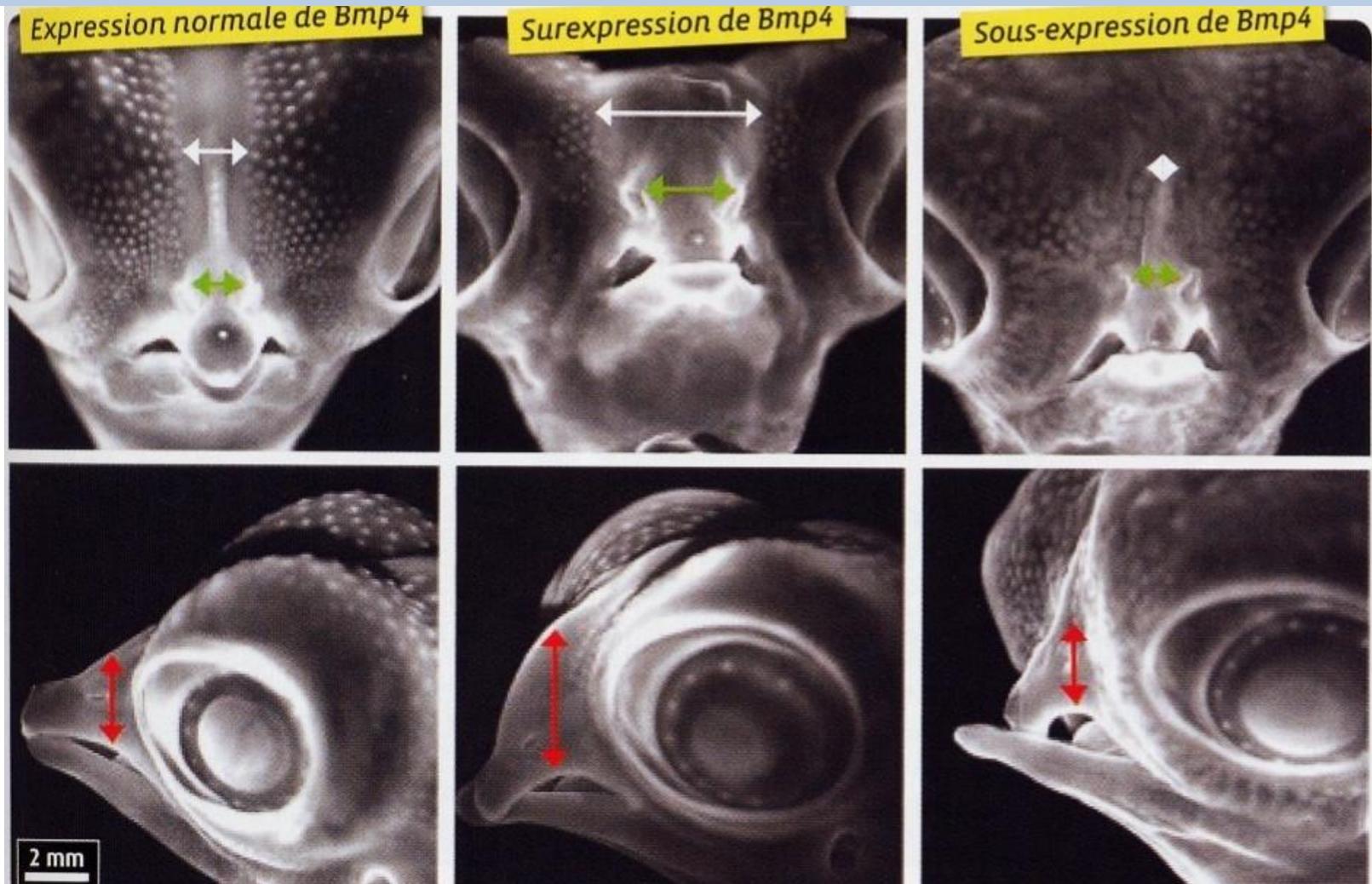
Plus le gène Bmp4 est exprimé tôt, et plus il est exprimé intensément, plus le bec obtenu est fort.

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



Plus le gène *Bmp4* est exprimé tôt, et plus il est exprimé intensément, plus le bec obtenu est fort.

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

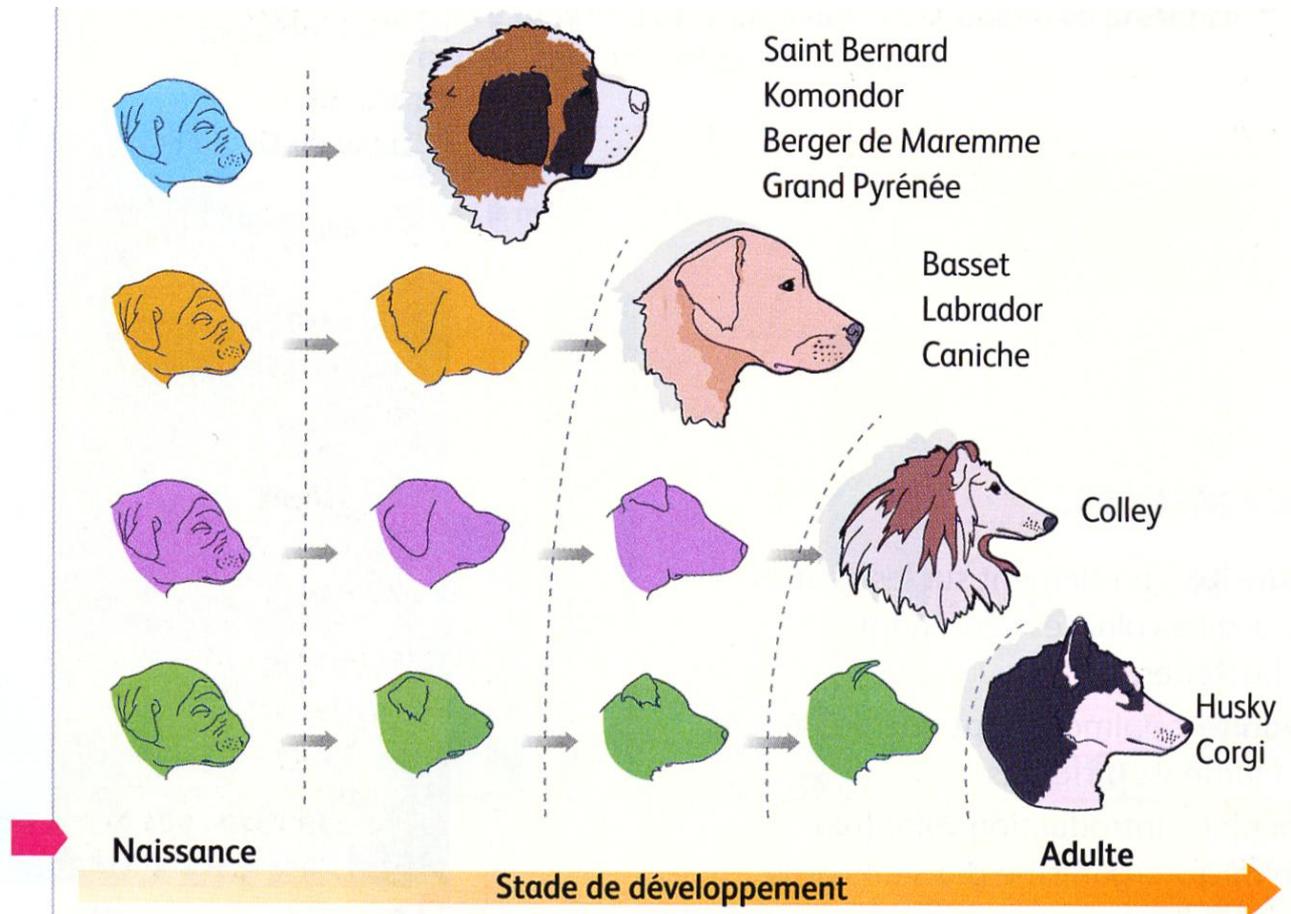


Les expériences de **transgénèse** confirme le rôle de **bmp4** dans le déterminisme de la taille du bec

- 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



Grande diversité morphologique du chien alors que la diversité génétique est faible (même espèce)

- Variation de la durée d'intensité de certains gènes, maintien de certains caractères au stade juvénile

Hétérochronie chez le cerf



Cerf élaphe

Cerf de Crète



10 cm



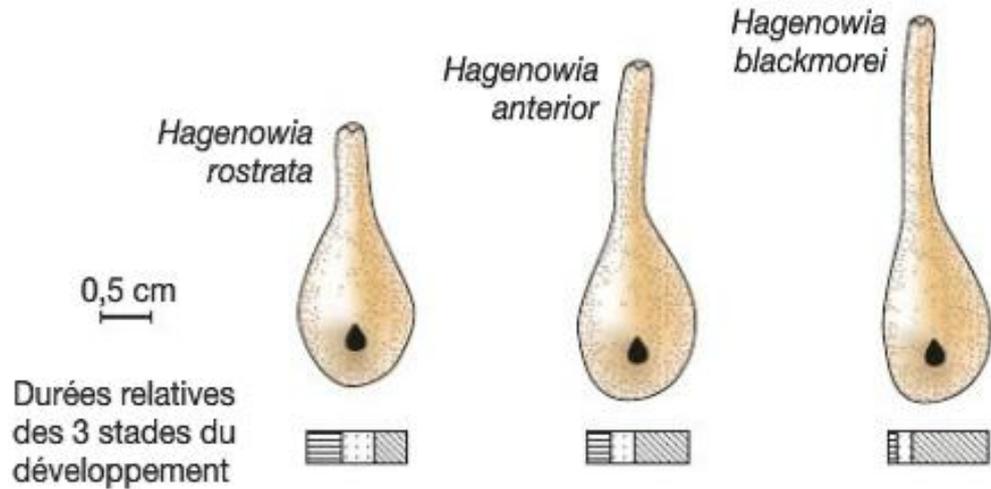
phase juvénile phase adulte

Morphologie juvénile : blocage de l'expression génétique de certains gènes

Hétérochronie chez l'oursin



Test d'Hagenowia rostrata. ▶



Modification de la durée d'expression relative de certains gènes.

Hétérochronie chez l'axolotl (néoténie)

Maintien d'un caractère larvaire (branchies) à l'âge adulte



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*)

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

III. Modification des génomes et diversification du vivant

A. Hybridation et polyploïdisation

B. Les transferts horizontaux de matériel génétique

IV Des processus de diversification du vivant non génétiques

Quelques définitions

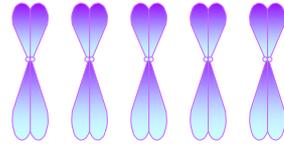
- **Polyploïde** = cellule ou noyau ou organisme possédant plus de deux jeux complets de chromosomes.

Différent des trisomies qui ne conservent qu'un chromosome !

Polyploïdie

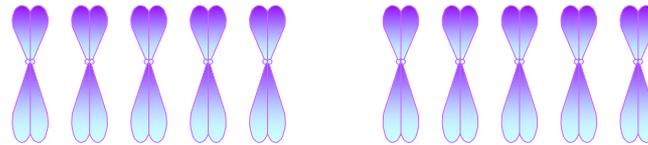
Notons $x = 1$ lot complet de chromosomes

Haploïde
 $x=5$



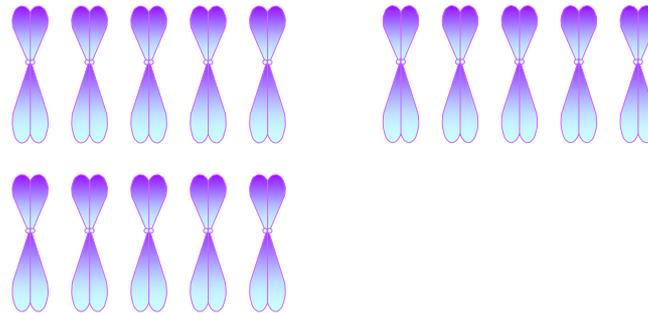
Cas de nos gamètes

Diploïde
 $2x=10$

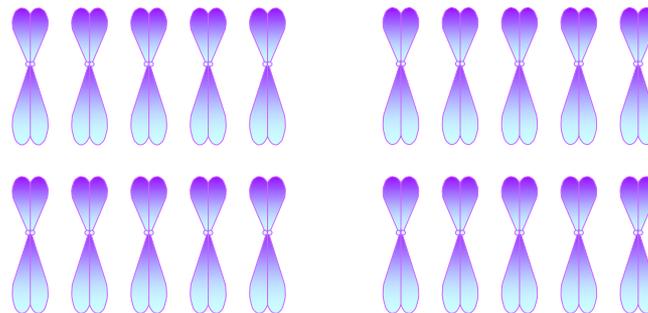


Cas de nos cellules somatiques

Triploïde
 $3x=15$



Tétraploïde
 $4x=20$



Pentaploïde (5x)
Hexaploïde (6x)
Heptaploïde (7x)
Octaploïde (8x)

Quelques définitions

- **Polyploïde** = cellule ou noyau ou organisme possédant plus de deux jeux complets de chromosomes.

Autoploïde (*si les lots de chromosomes proviennent de la même espèce*).

Alloploïde (*si les lots de chromosomes proviennent de deux espèces différentes*)

Hybridation = croisement entre deux espèces différentes
(*ou entre deux races /variétés différentes*).

Deux origines pour les polyploïdes

AUTOPOLYPLOÏDE : duplication des chromosomes au sein de la même espèce

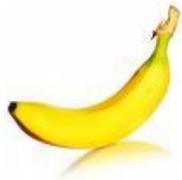


Pomme de terre - 4x - 48 chromosomes

Banane - 3x - 33 chromosomes

Cacahuète - 4x - 40 chromosomes

Patate douce - 6x - 90 chromosomes



ALLOPOLYPLOÏDE : Hybridation entre deux ou plusieurs espèces



Tabac - 4x - 48 chromosomes

Coton - 4x - 52 chromosomes

Blé tendre - 6x - 42 chromosomes

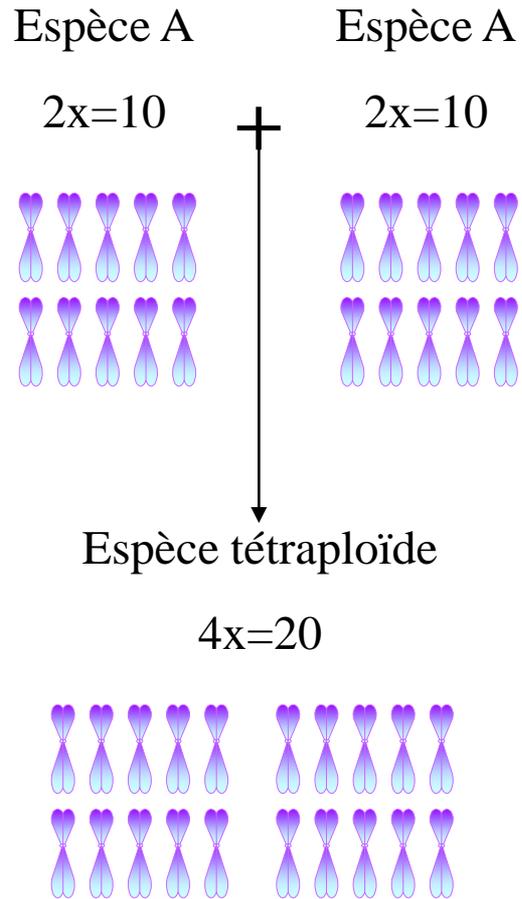
Avoine - 6x - 42 chromosomes

Canne à sucre - 8x - 80 chromosomes

Fraise - 8x - 56 chromosomes

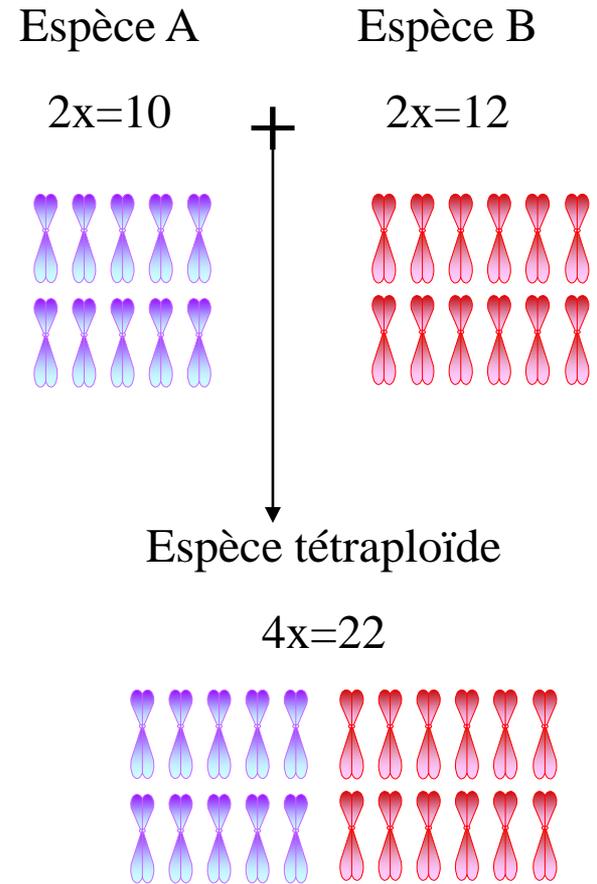


Autoploïdie



duplication du même génome

Allopoloïdie

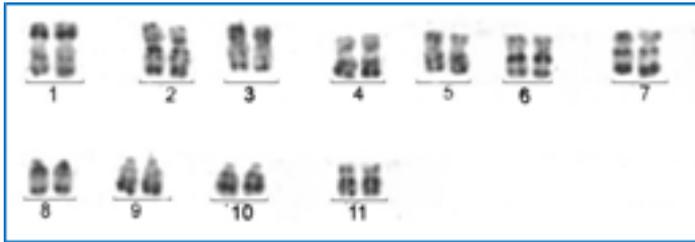
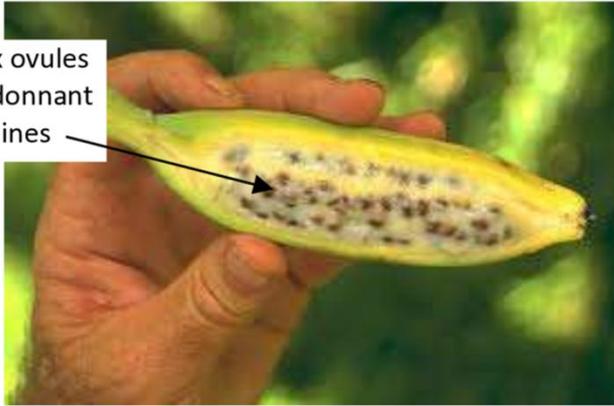


association de génomes différents

La banane, un autoploïde

Banane sauvage

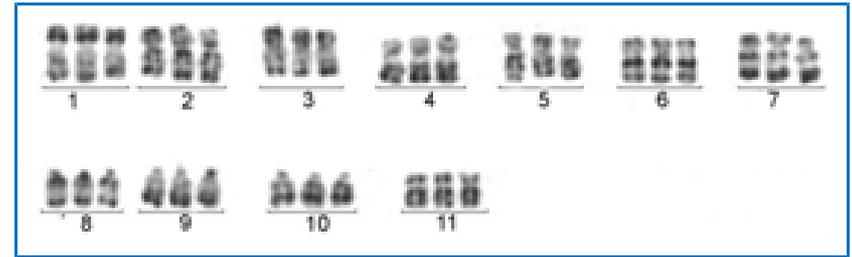
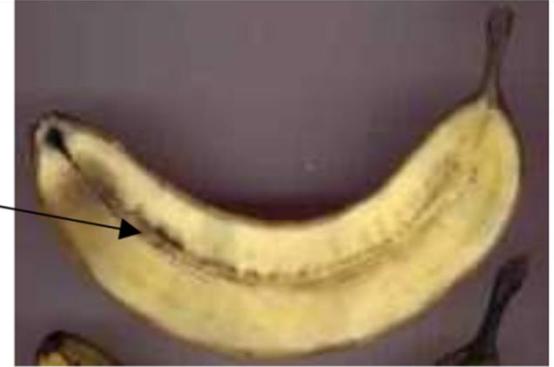
Nombreux ovules fécondés donnant des graines



$$2n=22$$

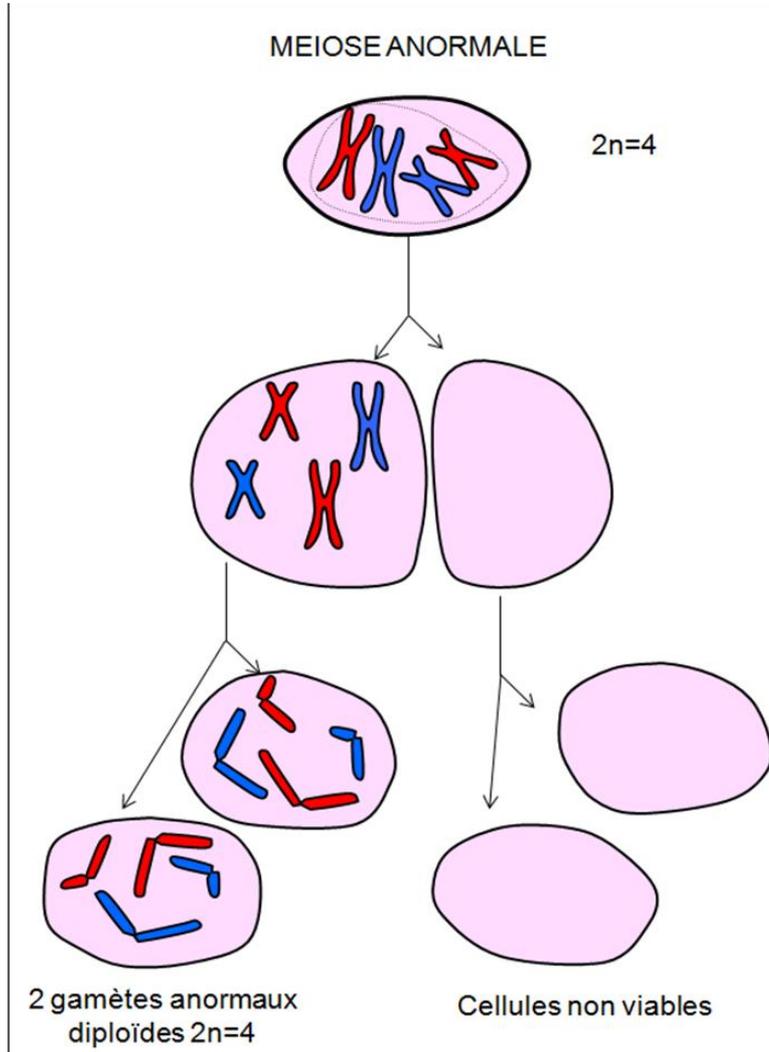
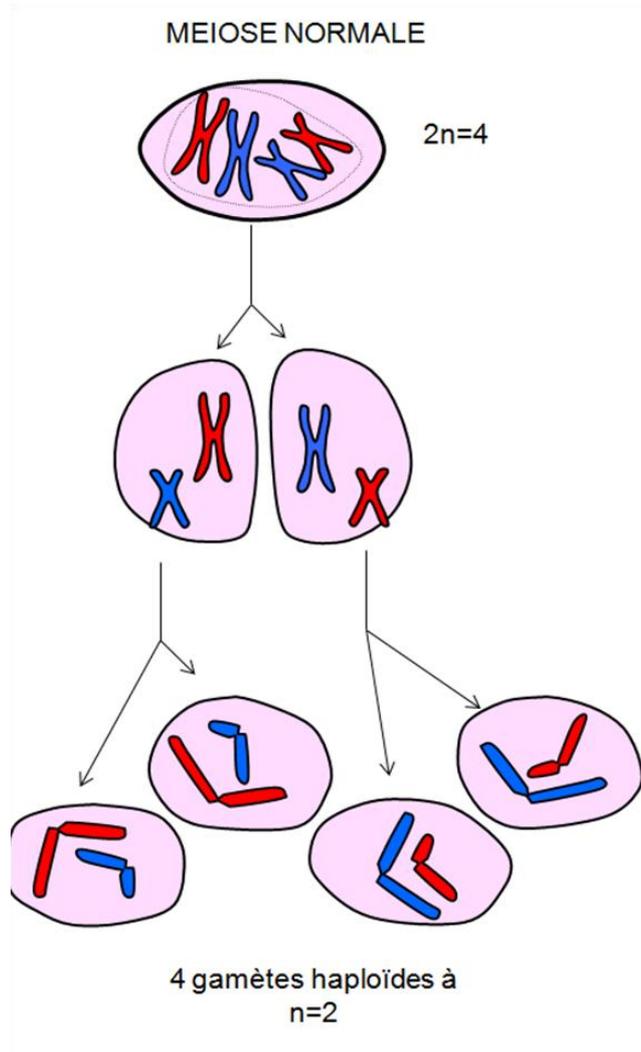
Banane domestique

Nombreux ovules avortés ne donnant jamais de graines

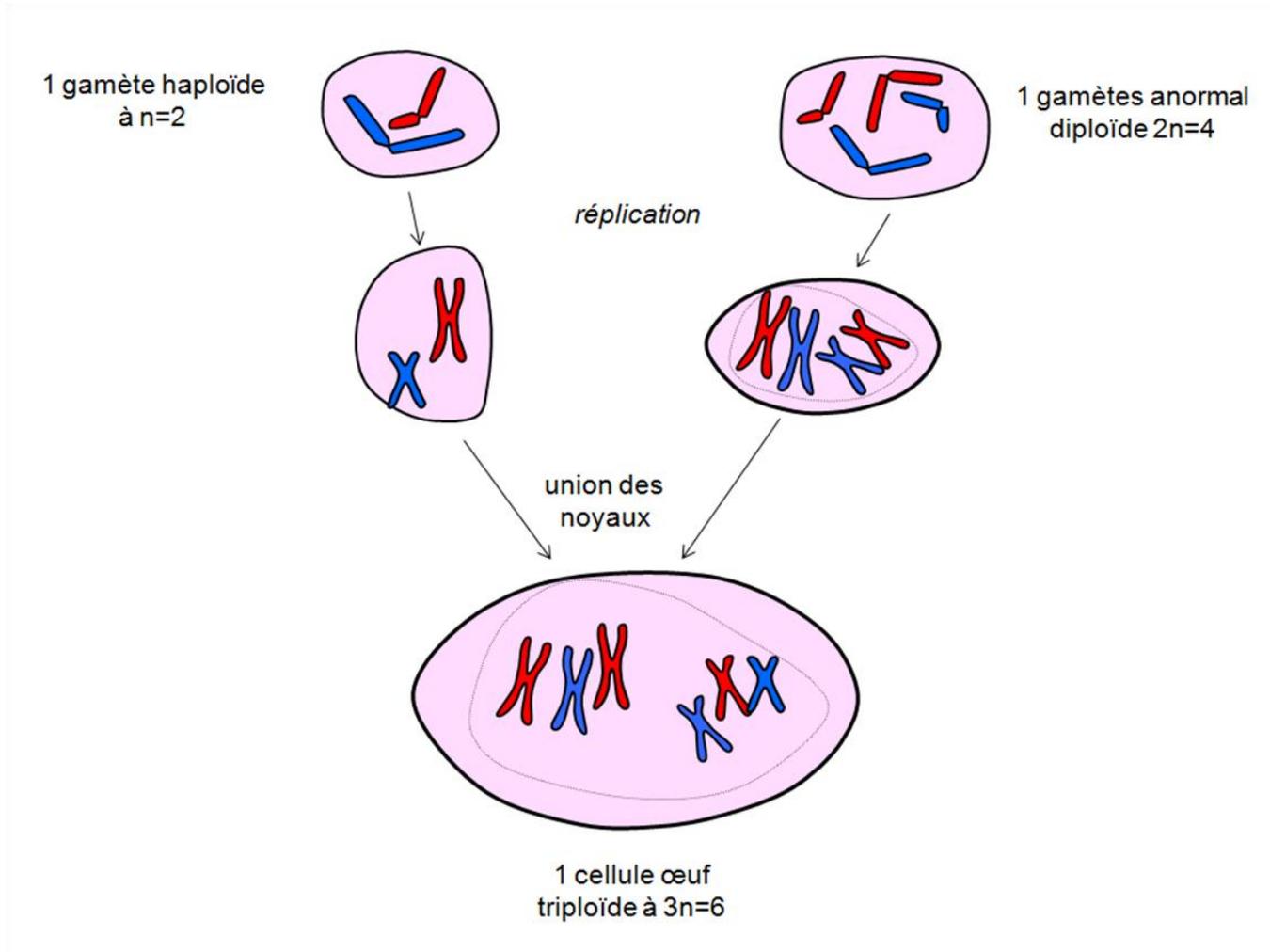


$$3n=33$$

La banane, un autoploïde



La banane, un autoploïde



L'histoire d'une nouvelle espèce



2n=60

Spartina maritima

Gamète x=30

2n=62

Spartina alterniflora

Gamète x=31



Evènement accidentel
(mitose anormale)
=>doublement du
nombre de K

1

Spartina townsendii

stérile

2x=61 chromosomes



2

Spartina anglica

4x=122

2n=122

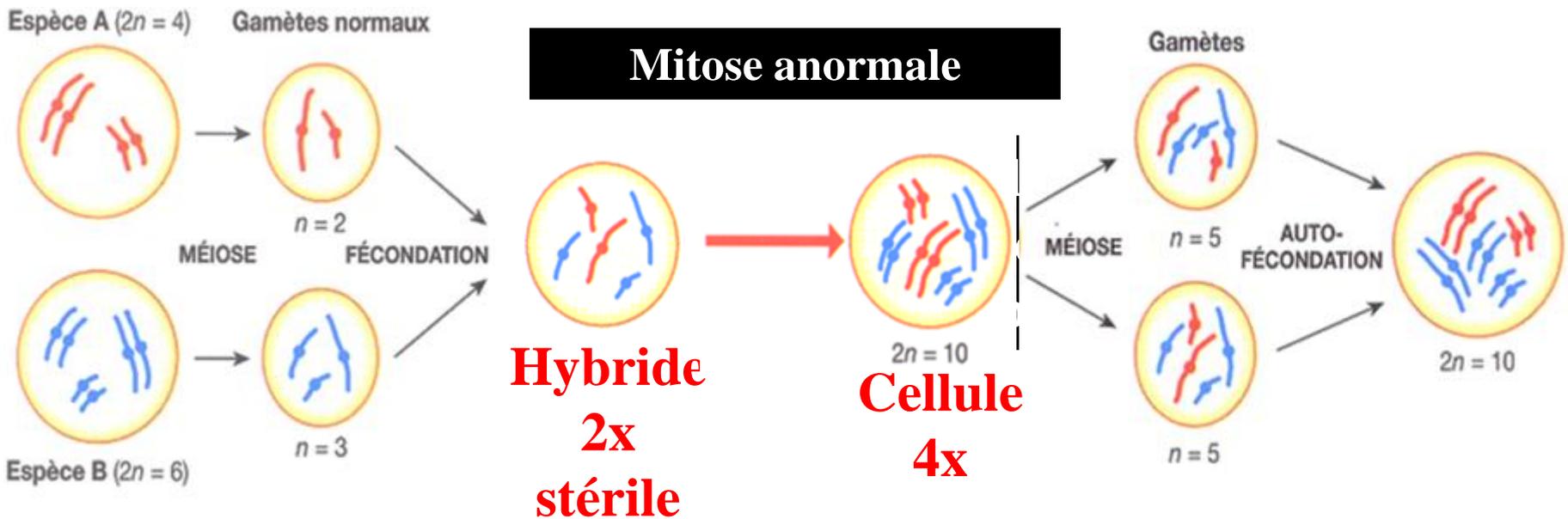
Présence de caractères différents



Nouvelle espèce

Exemple de mécanisme permettant l'apparition d'une espèce polyploïde : **allopoloïdie**

Gamète normal x



Gamète normal x

Polyploïdisation dans le monde vivant

Banane → triploïde 33 K

Pomme de terre → tétraploïde 48 K

La fraise → octoploïde 56 K

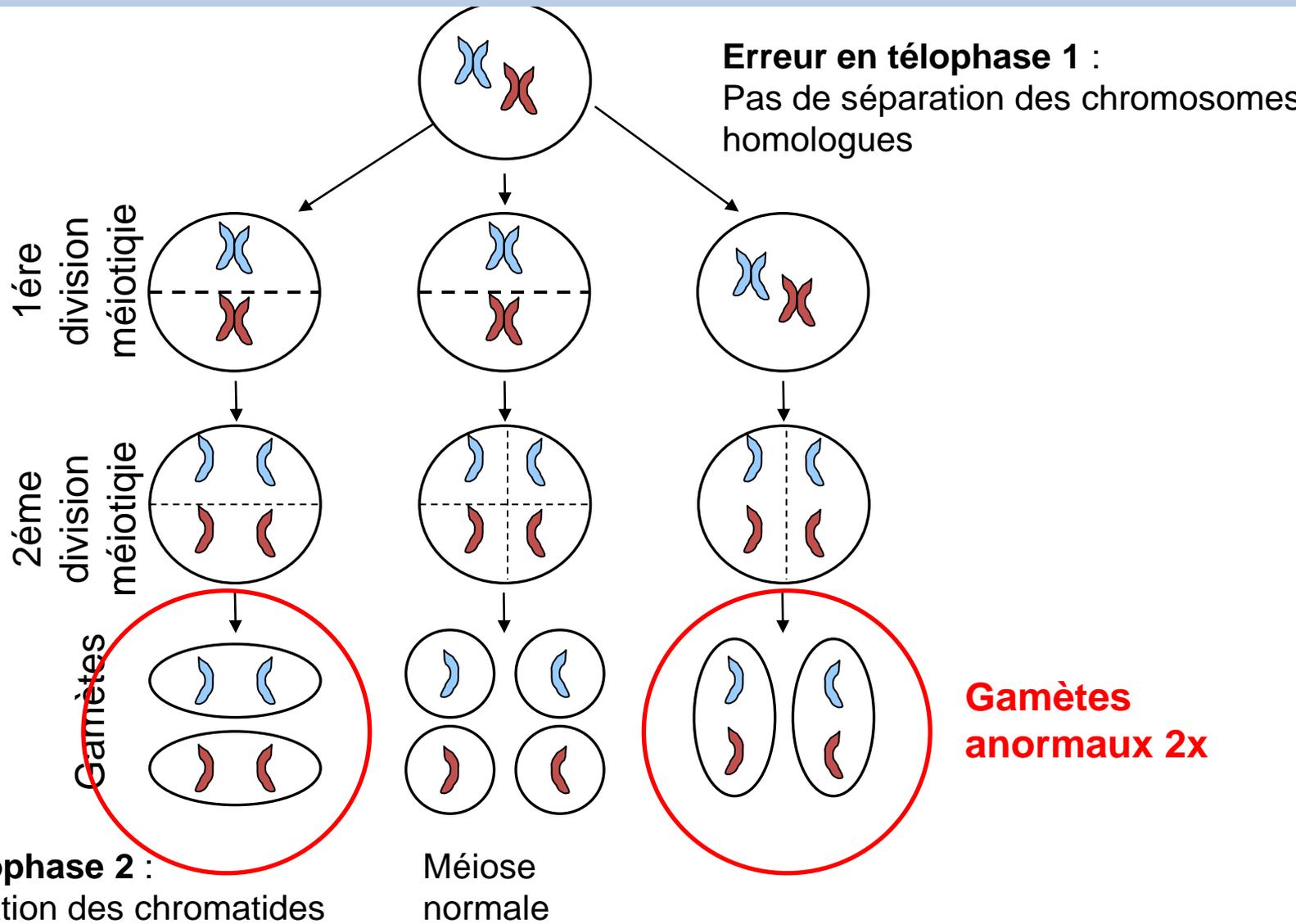


Nombre d'espèces polyploïdes

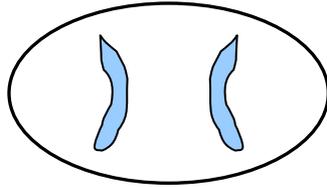
Insectes	91
Poissons	50
Amphibiens	30
Reptiles	16
Oiseaux	0
Mammifères	2*



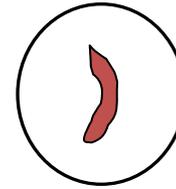
Exemple de mécanisme permettant l'apparition d'une espèce polyploïde : **autoploïdie**



Exemple de mécanisme permettant l'apparition d'une espèce polyploïde : **autoploïdie**

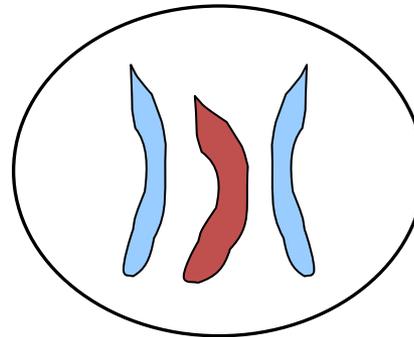
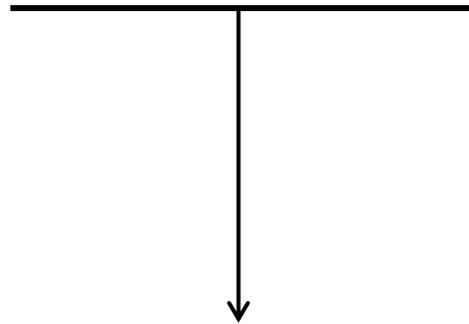


Gamète anormal 2x



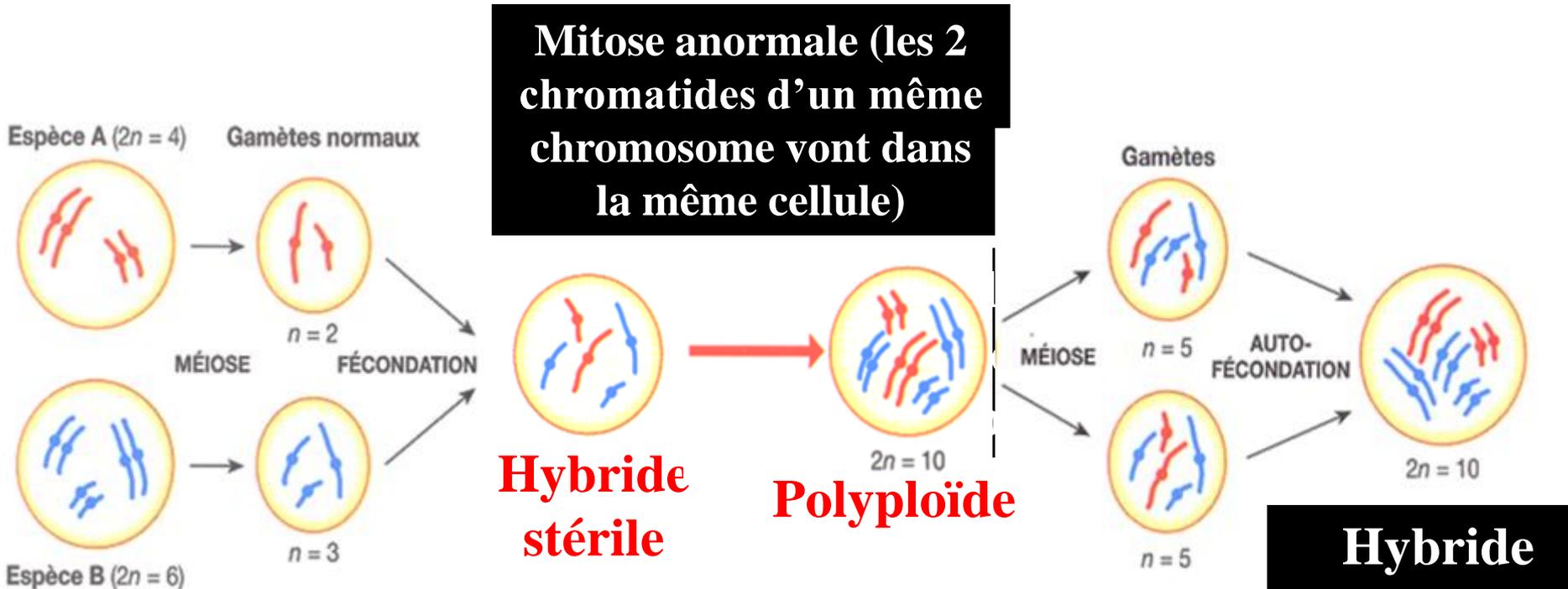
Gamète normal x

Autofécondation



**Cellule œuf triploïde
3x**

Exemple de mécanisme permettant l'apparition d'une espèce polyploïde : allopoloïdie



Mitose anormale (les 2 chromatides d'un même chromosome vont dans la même cellule)

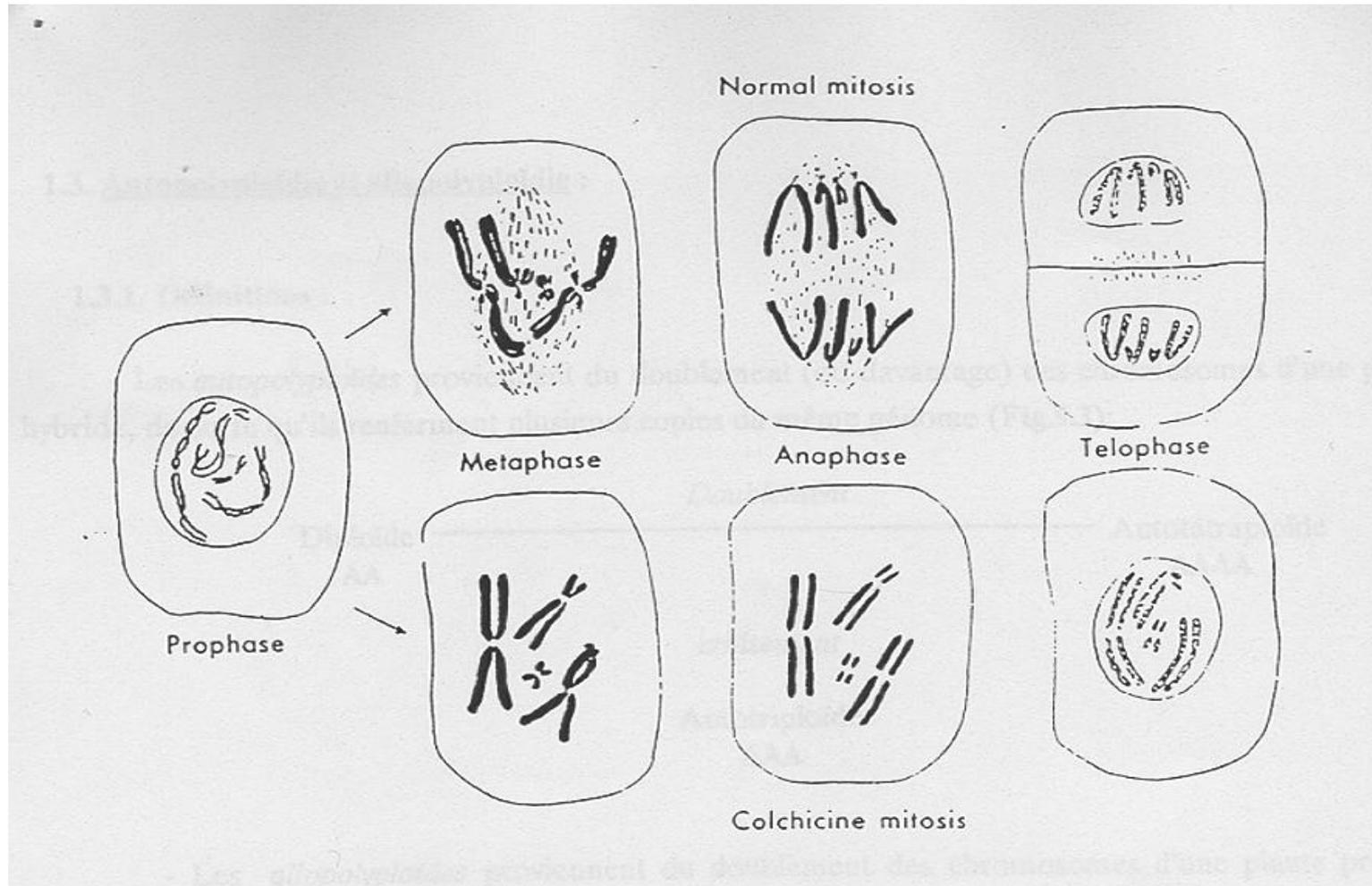
Hybride stérile

Polyploïde

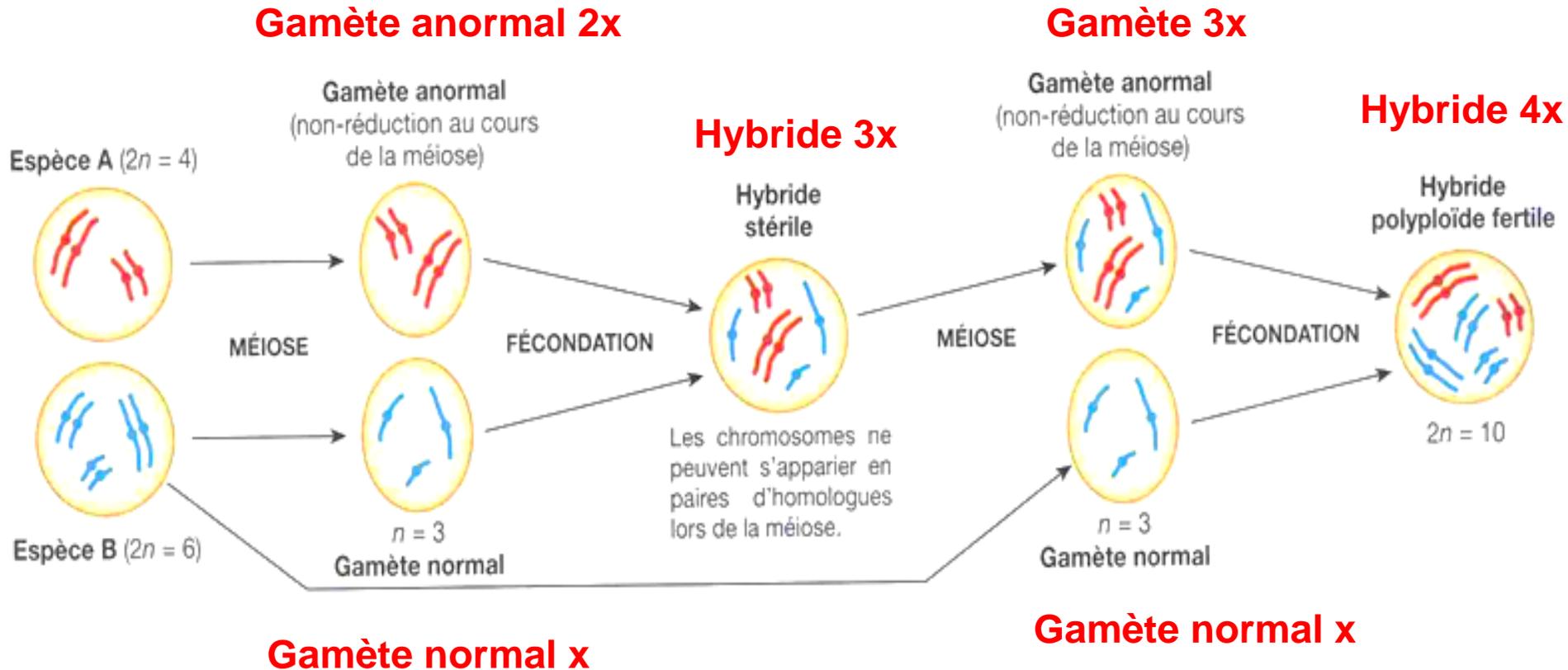
Hybride polyploïde fertile

Reproduction sexuée entre 2 espèces différentes

Mitose normale (en haut) et sous l'influence de la colchicine (en bas) (Müntzing, 1961)



Autre exemple de mécanisme permettant l'apparition d'une espèce polyploïde : allopoloïdie



Polyploïdisation et diversification du vivant

- Polyploïdisation est **source de diversification**
- **Fabrication de nouveaux génomes** par association de génomes existant

Chapitre 2 :

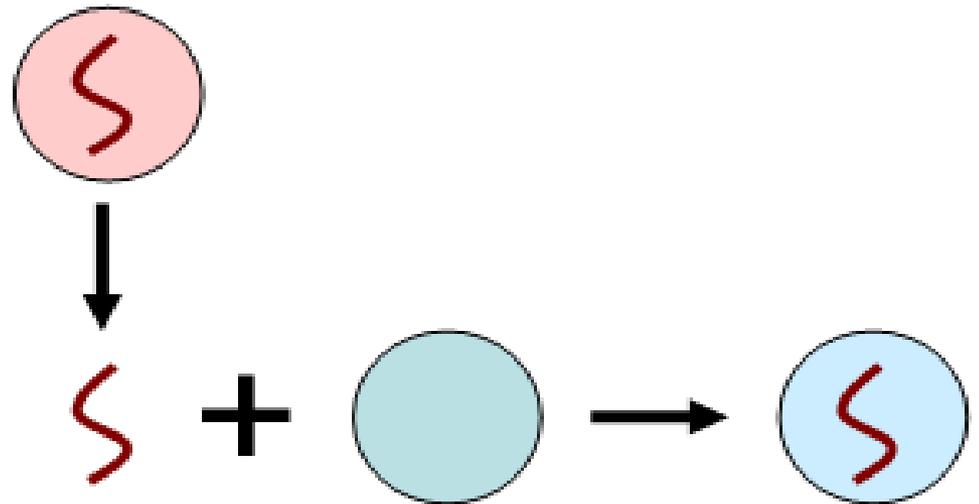
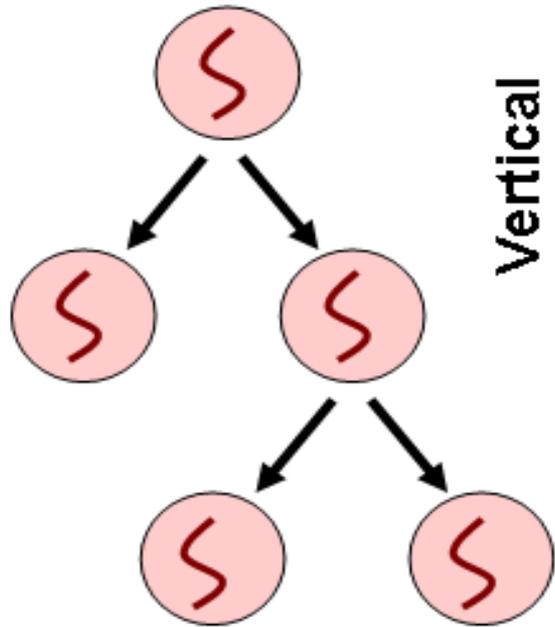
Mécanismes de diversification du vivant

- 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
- III. Modification des génomes et diversification du vivant
 - A. Hybridation et polyploïdisation

B. Les transferts horizontaux de matériel génétique

- IV Des processus de diversification du vivant non génétiques

Transfert **vertical** versus transfert **horizontal**

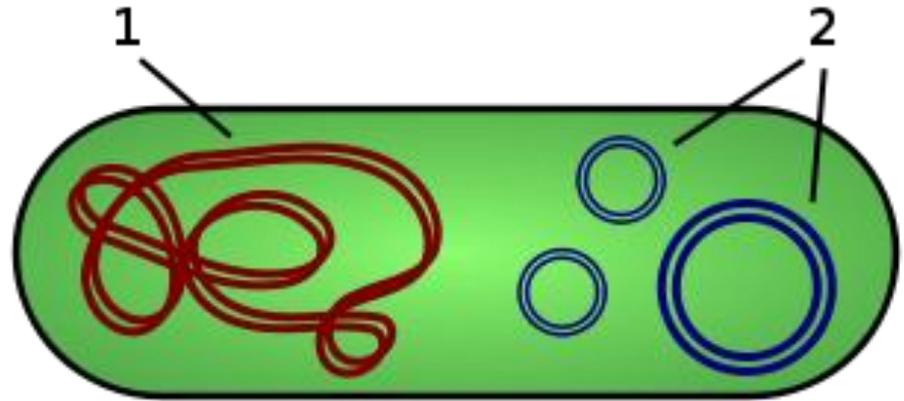
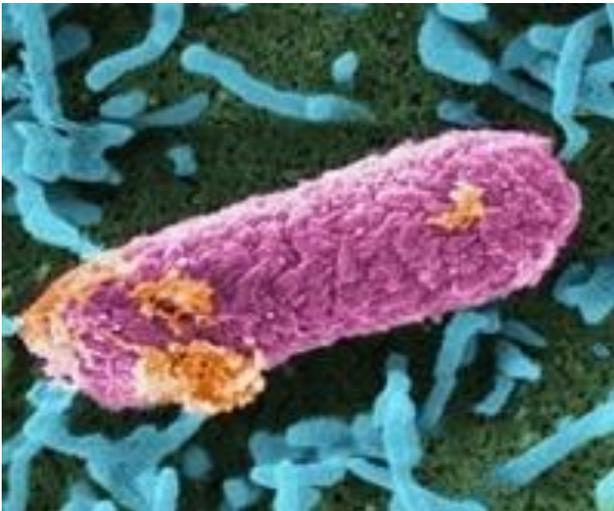


Horizontal

Deux mécanismes connus

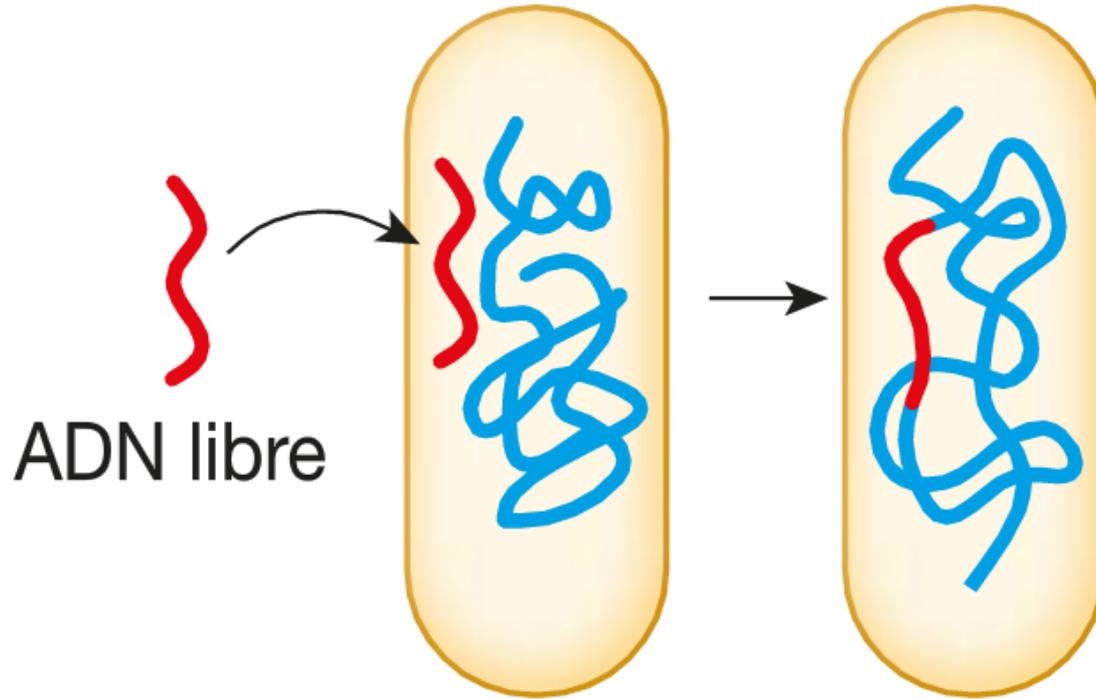
- Intégration d'ADN libre dans le milieu
- Transfert par voie virale

Transfert horizontal fréquent chez les bactéries



Propagation de la résistance aux antibiotiques

Transfert horizontal à partir d'ADN libre dans le milieu

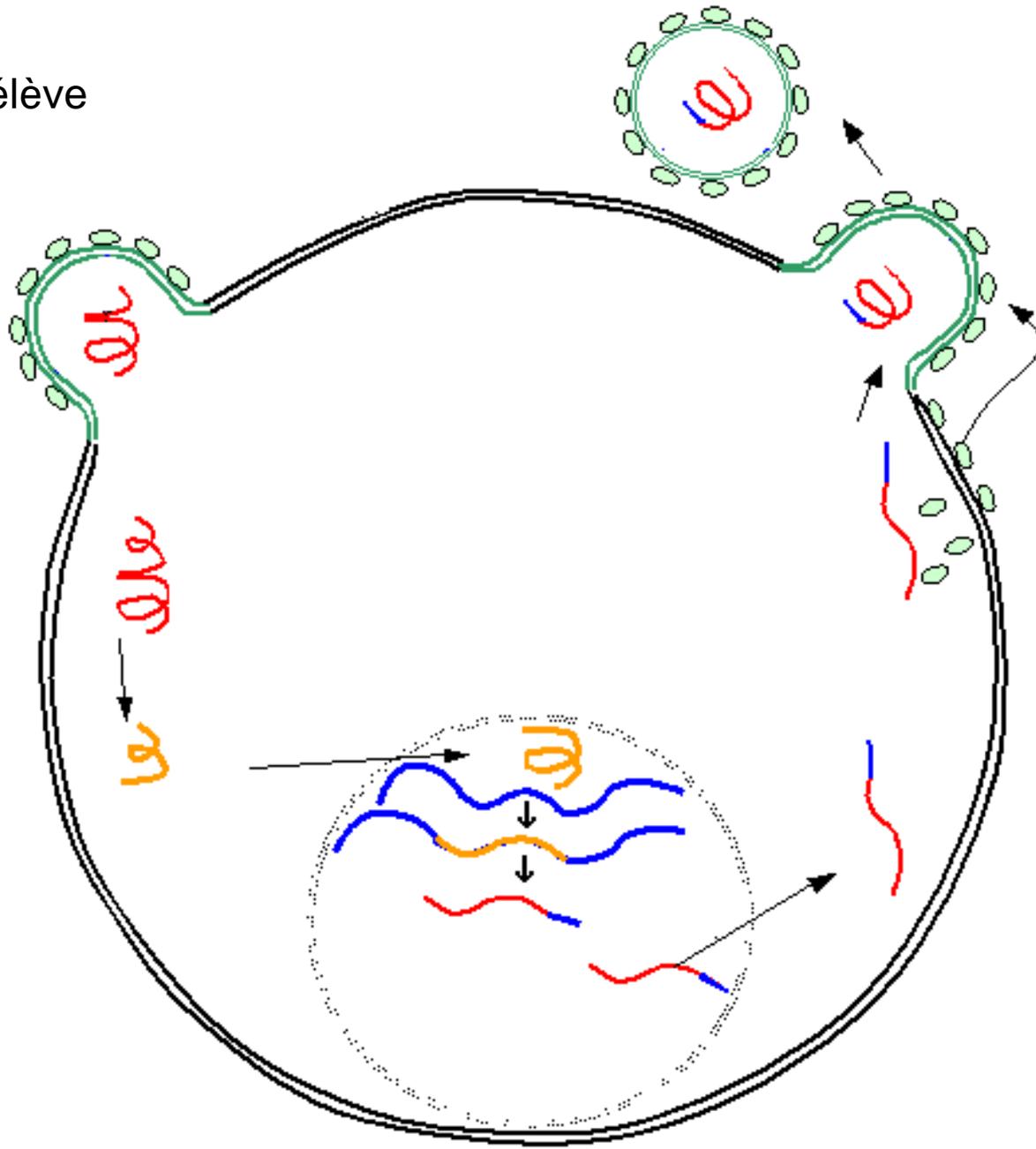


L'ADN libre passe dans la cellule
et est intégré à l'ADN cellulaire.

Deux mécanismes connus

- Intégration d'ADN libre dans le milieu
- Transfert par voie virale

Schéma élève



Transfert horizontal par voie virale

1. Le virus déverse son matériel génétique (ARN) dans le cytoplasme de la cellule

6. Formation de nouveaux virus comportant un gène de la cellule hôte

7. Ce gène pourra être transmis lors de la contamination d'un nouvel organisme

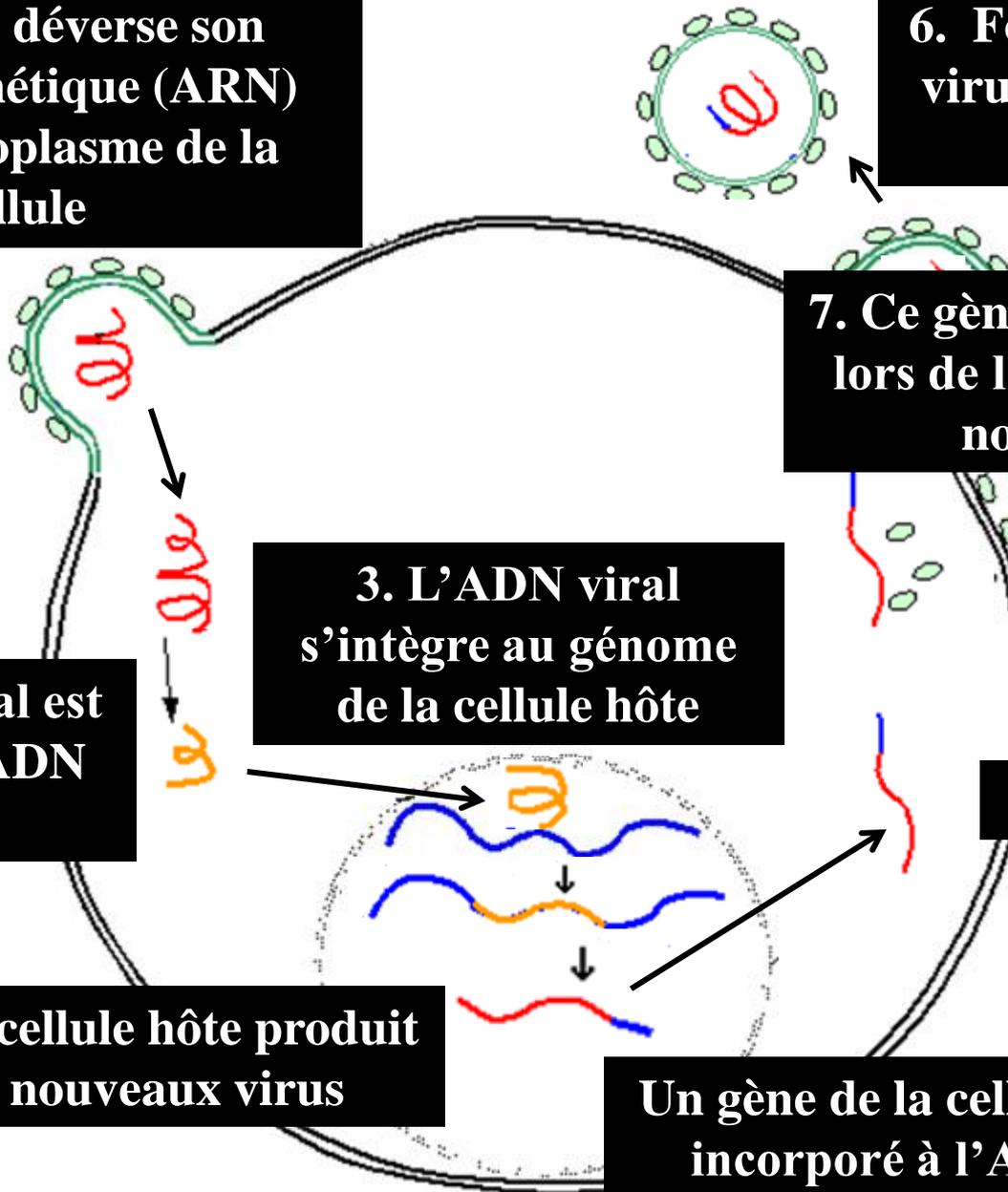
2. L'ARN viral est converti en ADN viral

3. L'ADN viral s'intègre au génome de la cellule hôte

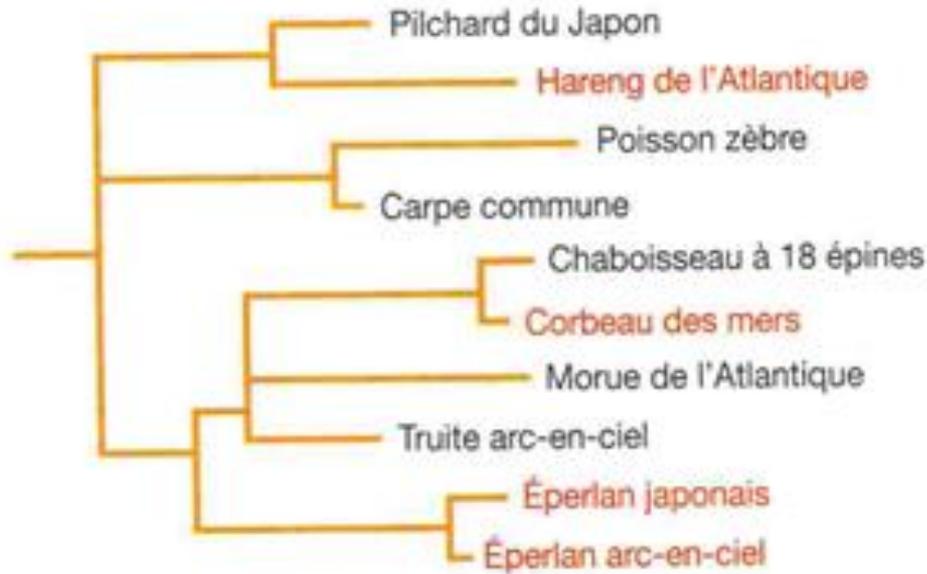
5. ARN viral modifié

4. La cellule hôte produit de nouveaux virus

Un gène de la cellule hôte est incorporé à l'ARN viral



Mise en évidence d'un transfert horizontal



Corbeau des mers

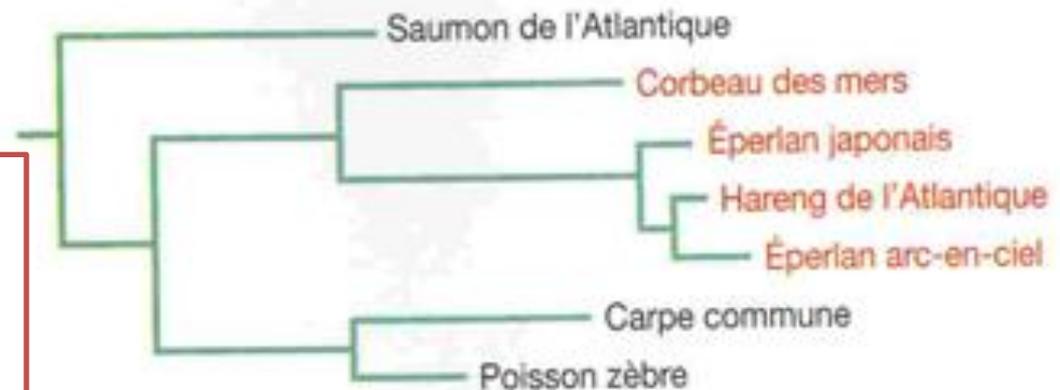


Éperlan arc-en-ciel

a Arbre de parenté construit par comparaison de l'ARN 16S

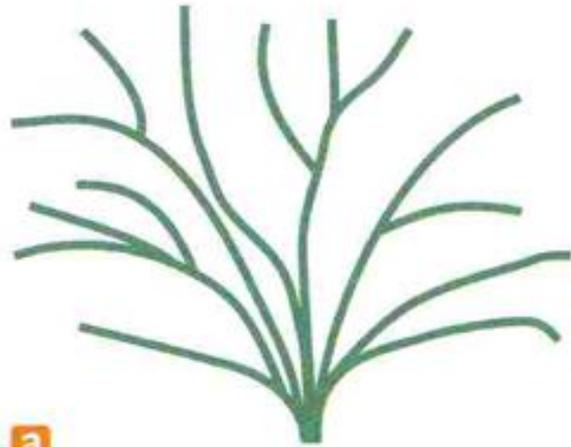
(lectine = protéine « anti-gel »)

Arbres de parenté
contradictoires !



b Arbre de parenté construit par comparaison du gène de la lectine II-AFP

Réseau phylogénétique



← Arbre phylogénétique
de transferts **verticaux**

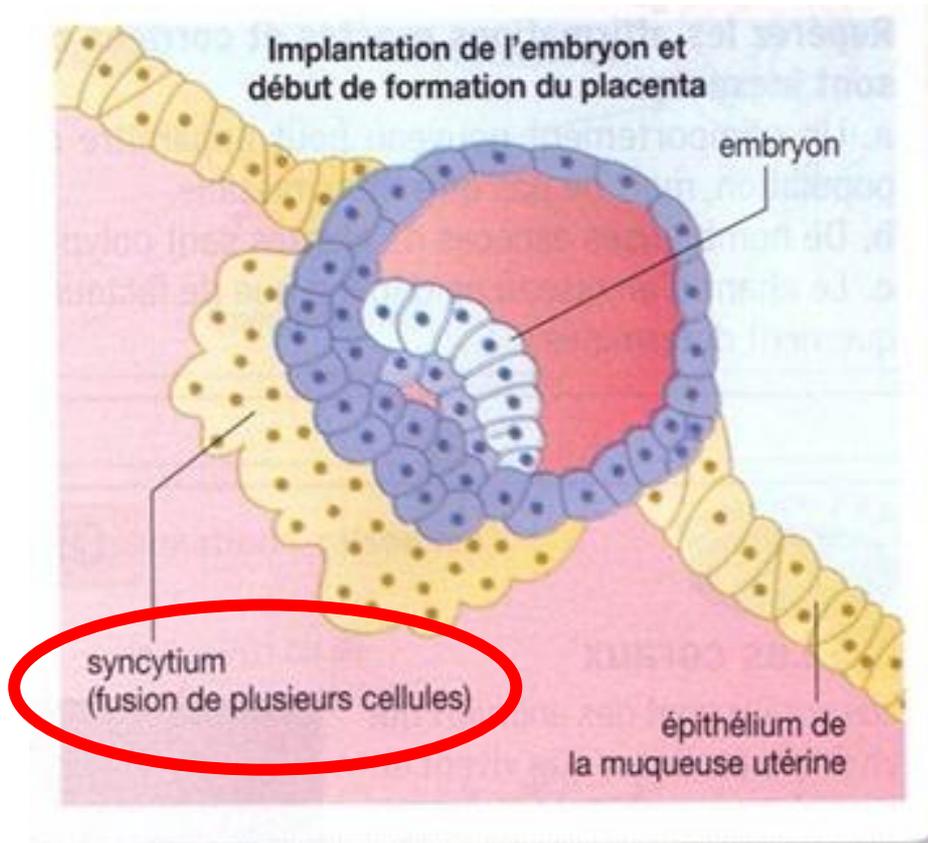
Réseau phylogénétique
des transferts **verticaux** et
horizontaux



Estimation de la quantité d'ADN viral présent dans l'ADN cellulaire

- 10% chez les humains
- 50% dans le génome de maïs

Un virus à l'origine du placenta ?



Syncytium possible grâce à un gène (syncytine) apporté par un transfert horizontal effectué par un retrovirus

Transfert horizontal et diversification du vivant

- Transfert horizontal est **source de diversification**
- **Enrichissement de génomes** existant par acquisition de nouvelles séquences d'ADN (codant éventuellement pour de nouveaux caractères)

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
- III. Modification des génomes et diversification du vivant

IV. Des processus de diversification du vivant non génétiques

A. La symbiose, une association entre êtres vivants

B. L'acquisition et la transmission culturelle des comportements

Quelques définitions

- La symbiose est une association de deux êtres vivants **durable** et à **bénéfices réciproques**.
- Elle est **source de diversification**.

Symbiose et diversification du vivant

- Modification de la morphologie des individus
- Modification du métabolisme des individus
- Modification du comportement des individus

Ex 1: Symbiose entre un végétal et un champignon : mycorhize



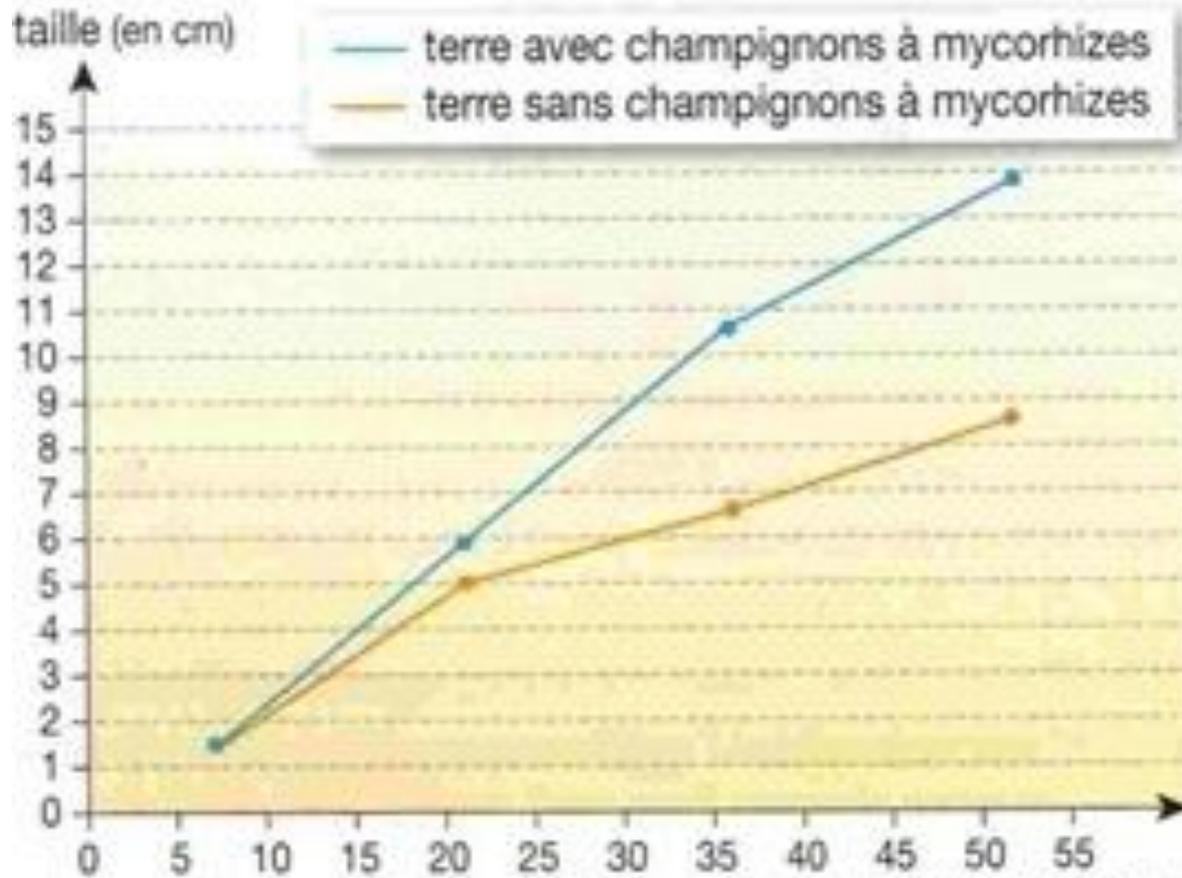
**Nombreux
filaments
mycéliens:**



**Basilic : photosynthèse (production de matière organique)
Champignon : prélèvement accru d'eau et sels minéraux**

Ex 1: Symbiose entre un végétal et un champignon : mycorhize

Croissance du basilic avec et sans mycorhizes

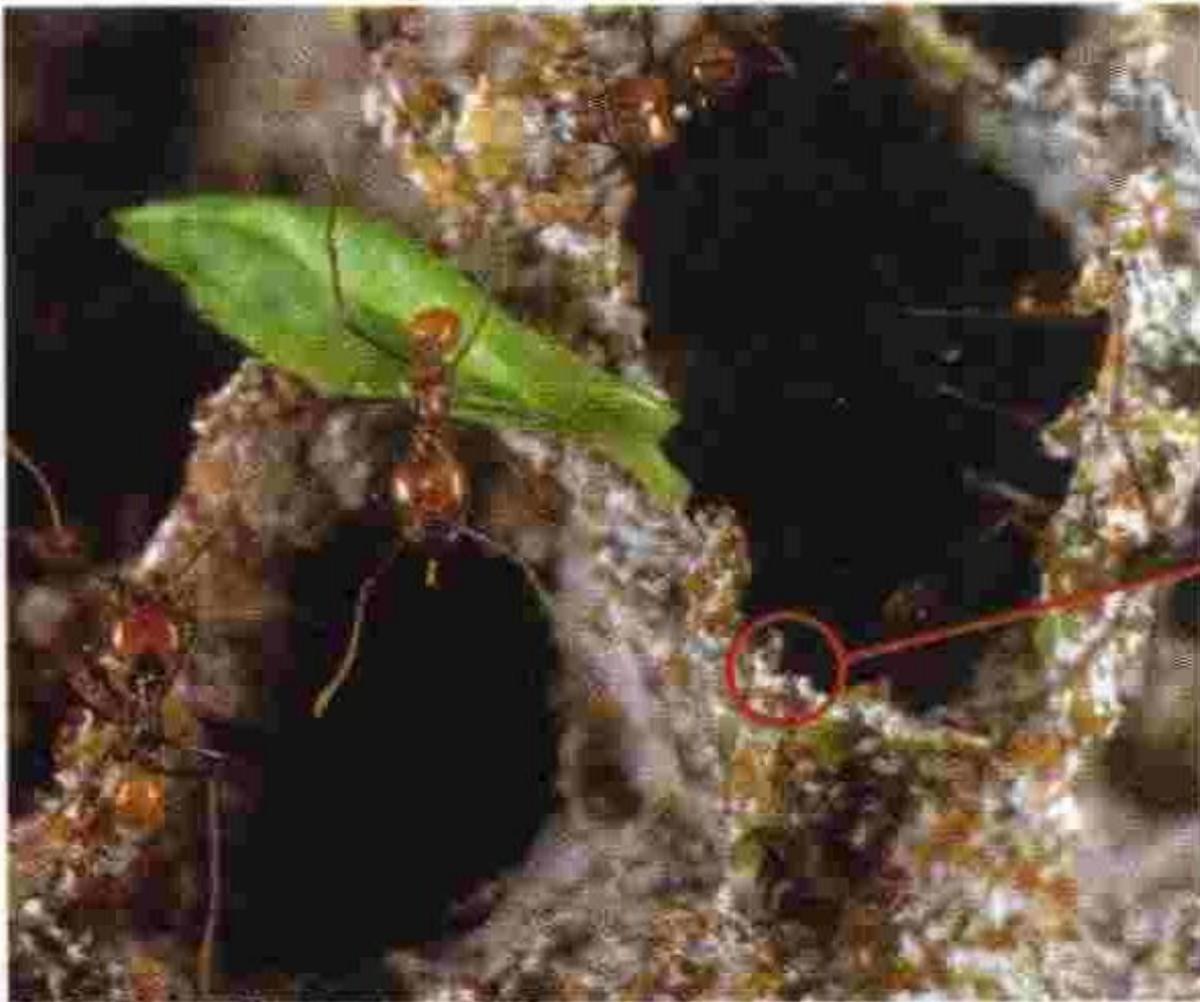


Croissance accrue du basilic en présence des mycorhizes

Ex 2: Symbiose entre fourmis et champignons

Champignon : production de sucres

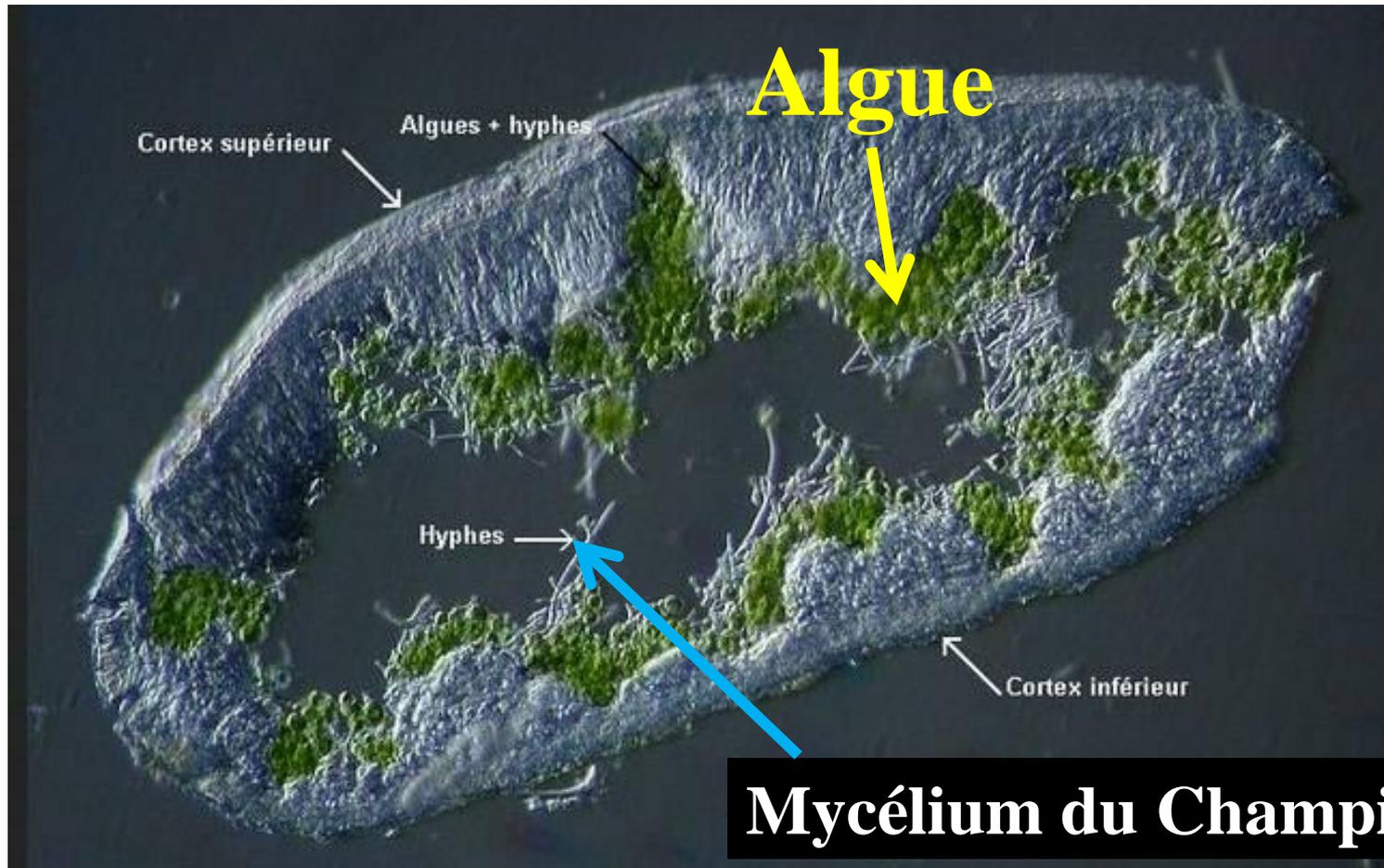
Fourmis : protection, et « taille » des champignons (favorisant leur croissance) (favorisant leur croissance)



Symbiose et diversification du vivant

- Modification de la morphologie des individus
- **Modification du métabolisme des individus**
- Modification du comportement des individus

Ex 1 : Symbiose entre une algue et un champignon : le lichen



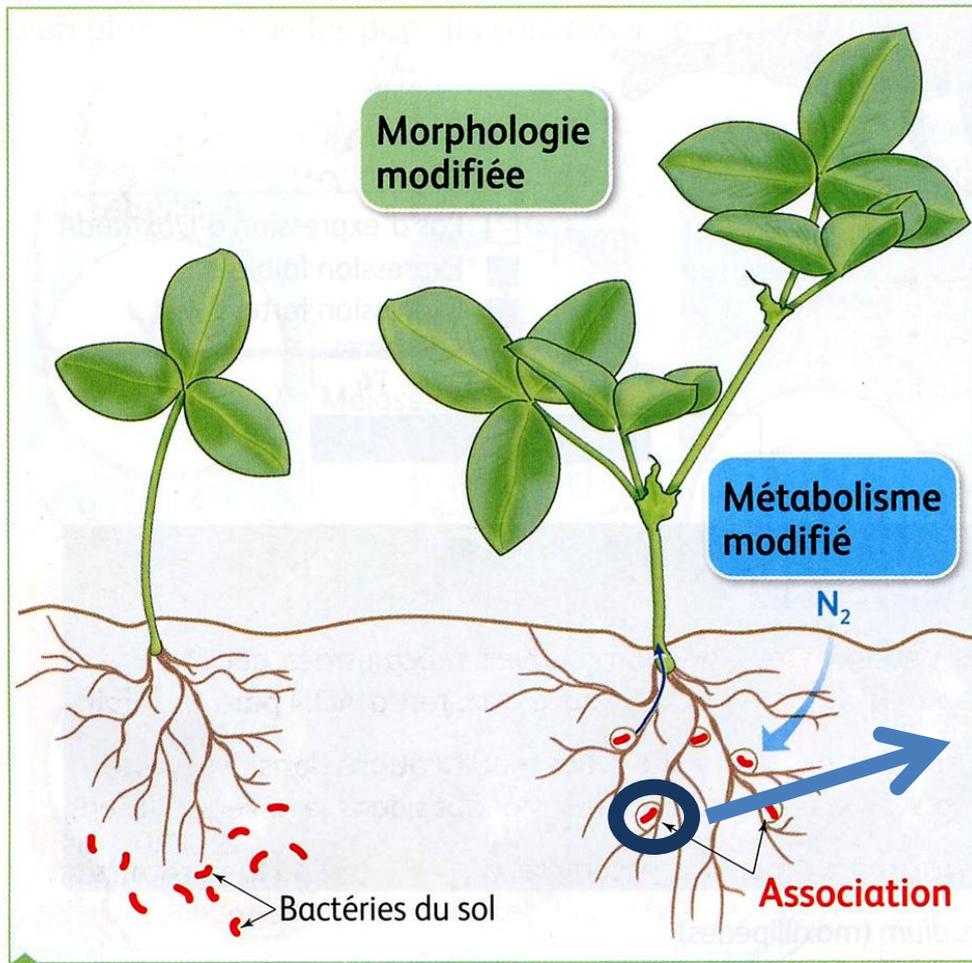
Synthèse de nouvelles molécules

Algue : photosynthèse



**Champignon :
synthèse d'acide
lichénique qui les
protège des prédateurs
et des UV**

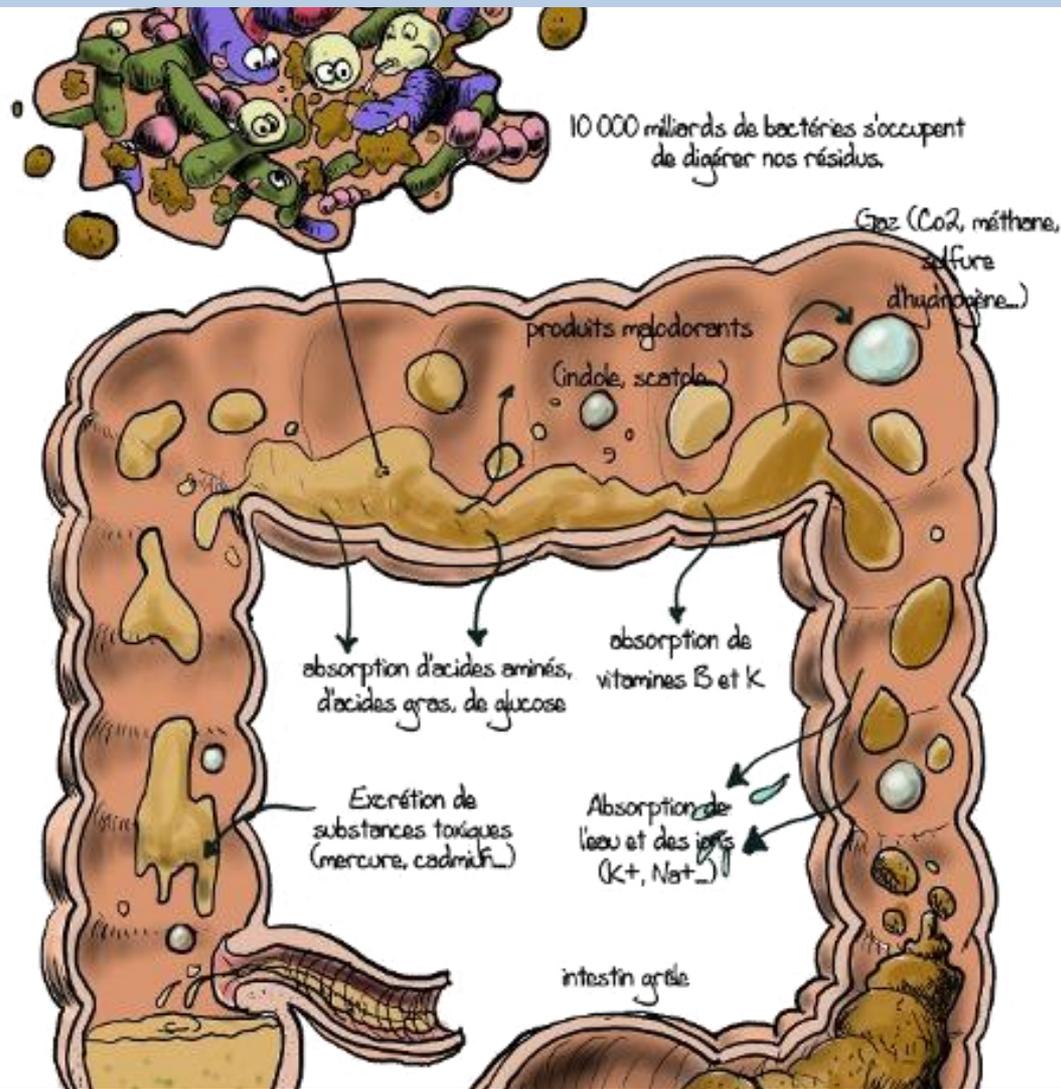
Exemple 2 : légumineuses et bactéries



Bactérie : fixation de l'azote présent dans l'atmosphère (engrais naturel)

Plante : Photosynthèse (fabrication de matière organique)

Exemple 3 bactéries du tube digestif



- Au moins 195 espèces de bactéries dans le côlon
- 1/3 des excréments

Très grande importance du microbiote humain pour assurer la digestion

Exemple 3 bactéries du tube digestif



Capacité à digérer la cellulose grâce à une symbiose avec des bactéries intestinales.

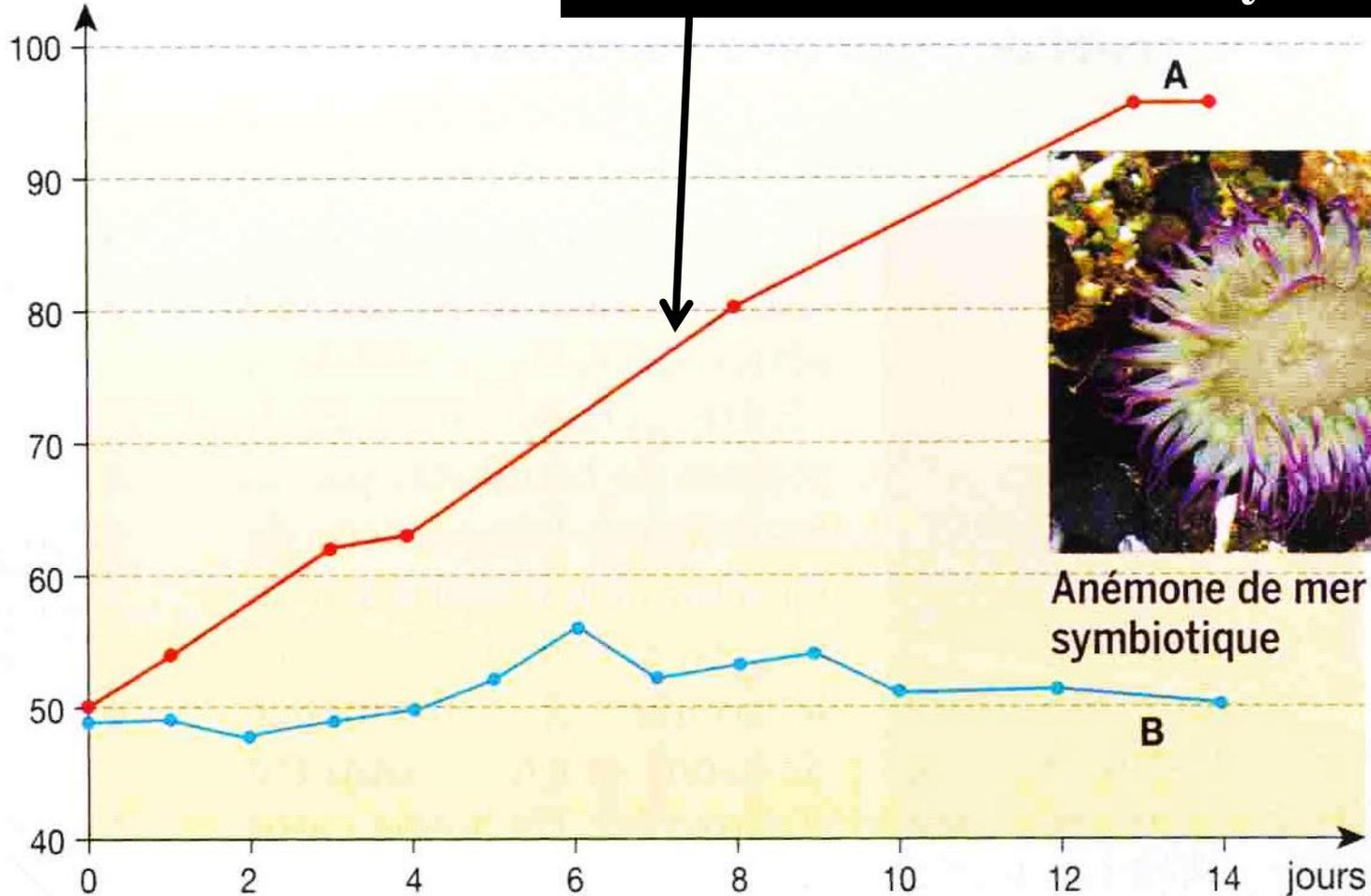
Symbiose et diversification du vivant

- Modification de la morphologie des individus
- Modification du métabolisme des individus
- **Modification du comportement des individus**

Symbiose entre une anémone de mer et une algue verte

anémones du côté de la lumière
(en %)

**Modification du comportement des
anémones vivant en symbiose**



Associations symbiotiques

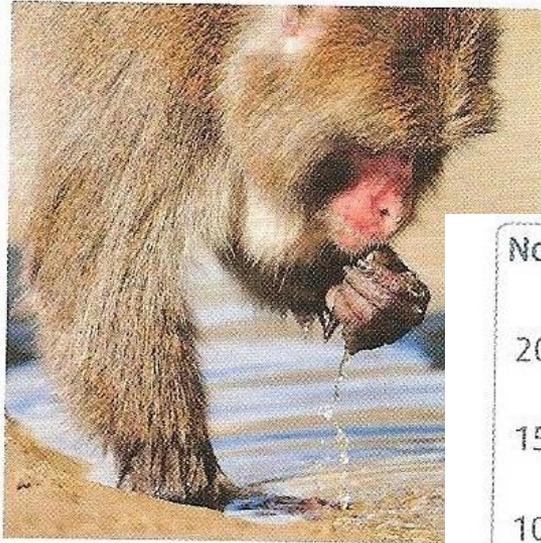
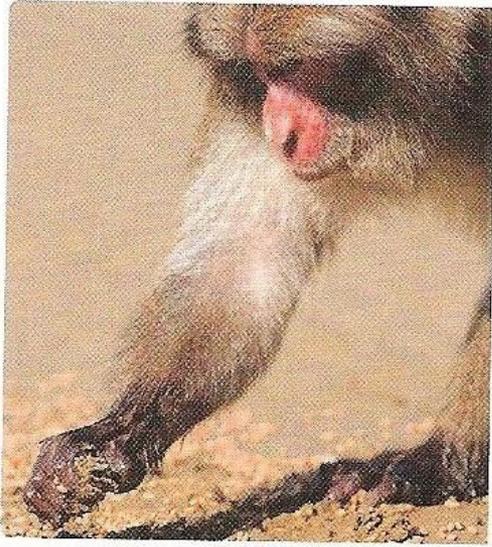
- source de diversité (morphologie différente, synthèse de nouvelles molécules, modification de comportements) **sans modification de l'information génétique** des individus.

Chapitre 2 :

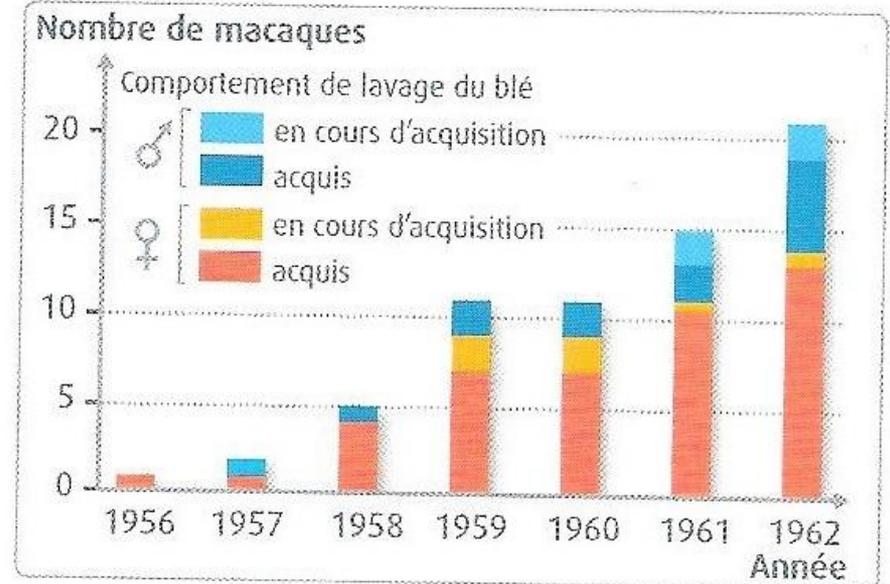
Mécanismes de diversification du vivant

- 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
- III. Modification des génomes et diversification du vivant
- IV Des processus de diversification du vivant non génétiques
 - A. La symbiose, une association entre êtres vivants
 - B. L'acquisition et la transmission culturelle des comportements**

Acquisition d'un comportement nouveau chez les macaques



Récolte des grains (gauche) et lavage du blé (droite).



Nombre d'individus ayant appris le comportement de lavage du blé entre 1956 et 1962.

Le comportement du « lavage » de blé se propage dans la population par imitation (apprentissage par les mères)

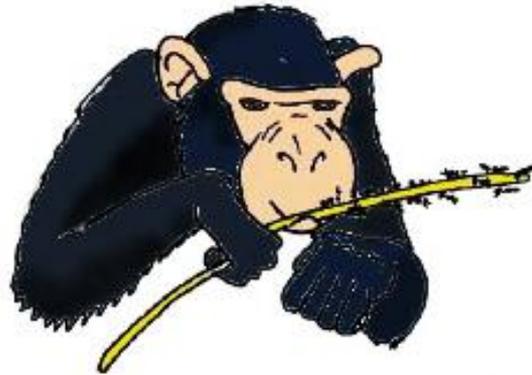
Transmission culturelle chez le chimpanzé



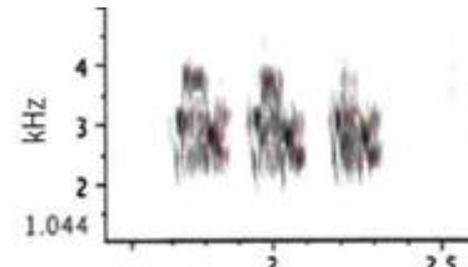
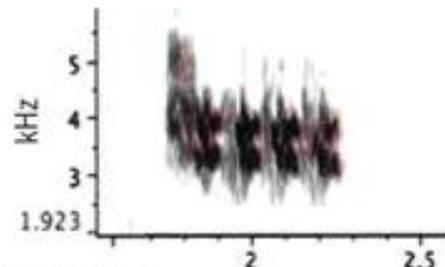
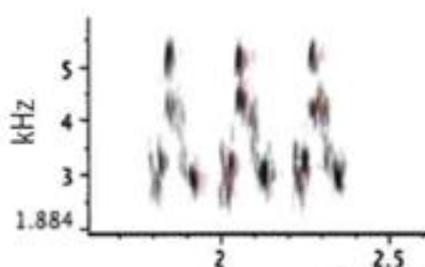
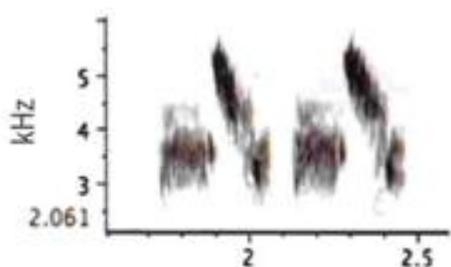
Apprentissage de l'utilisation d'un outil par observation/imitation

Des cultures variées chez le chimpanzé

- Culture Taiï : percuteur / bâton à fourmis
- Culture Gombe : bâton à fourmis / pas de percuteur
- Culture Mahale : pas de percuteur ni de bâton ...
- *Pas d'argument écologique expliquant ces différences*



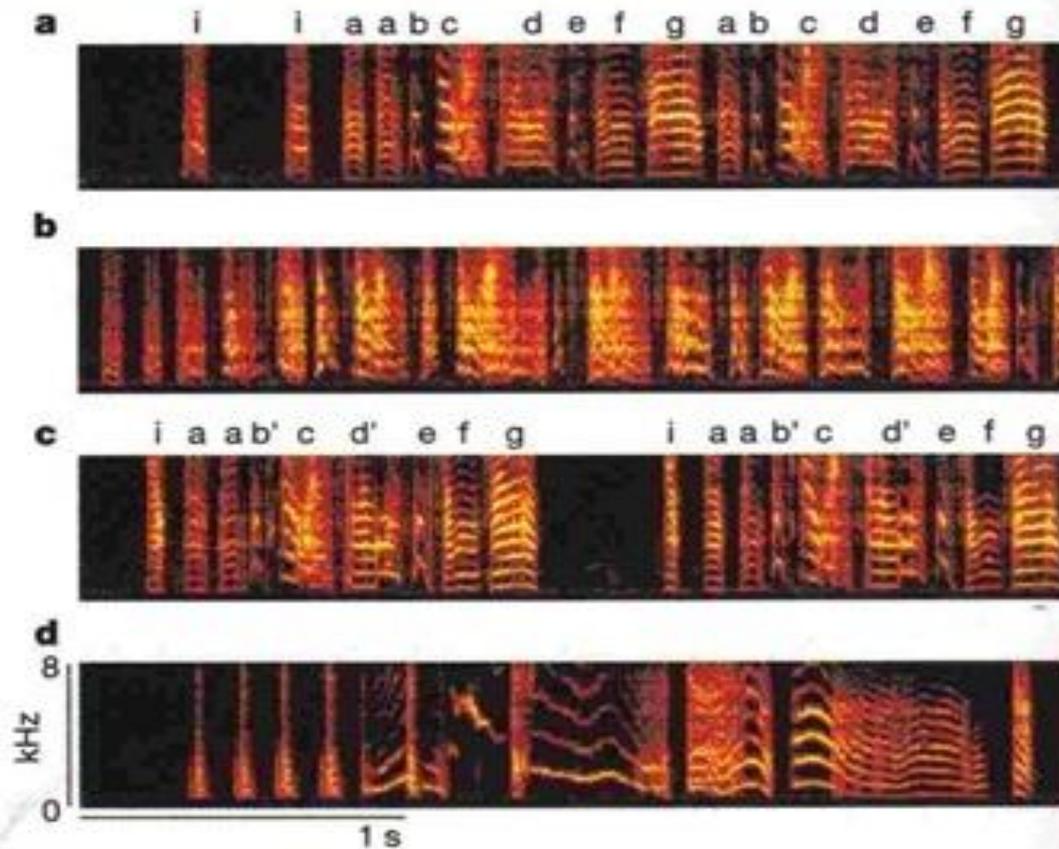
L'apprentissage du chant chez les oiseaux



temps (en secondes)

Diversité du chant chez le pinson des Galapagos

Transmission du chant du Diamant mandarin



a : Chant d'un Diamant mandarin adulte au moment où il a été capturé.

b : Chant d'un Diamant mandarin élevé en présence de l'adulte (a), enregistré au plus jeune âge.

c : Chant du même Diamant mandarin (b), enregistré à l'âge adulte.

d : Chant d'un Diamant mandarin adulte, élevé isolément de ses congénères.

L'apprentissage du chant se fait au contact de ses congénères. Un mâle isolé a un chant non structuré, il ne sera pas reconnu par les femelles de la même espèce

Apparition d'un comportement A

Propagation du comportement dans la communauté

IMITATION D'UN CONGENERE

Propagation du comportement dans l'histoire de la communauté

Propagation du comportement dans la communauté

Apparition d'un comportement B

IMITATION D'UN CONGENERE

Propagation du comportement dans l'histoire de la communauté

APPRENTISSAGE PAR LES JEUNES

Communautés avec deux cultures différentes

Culture 1

Culture 2

Transmission culturelle chez le Castor



Transmission culturelle des comportements

- **source de diversification** du vivant (permet de transmettre dans une communauté puis au cours des générations des comportements apparus chez un individu) **non génétique**

Conclusion

- Quelques mécanismes de diversification du vivant (non exhaustif)
- Enrichissement de la biodiversité
- Rôle très important dans les mécanismes de l'évolution

- Ex 1,4,5 p58
- Exercice polycopié « échanges de matériel génétique chez les bactéries »

Une idée pour bien réviser

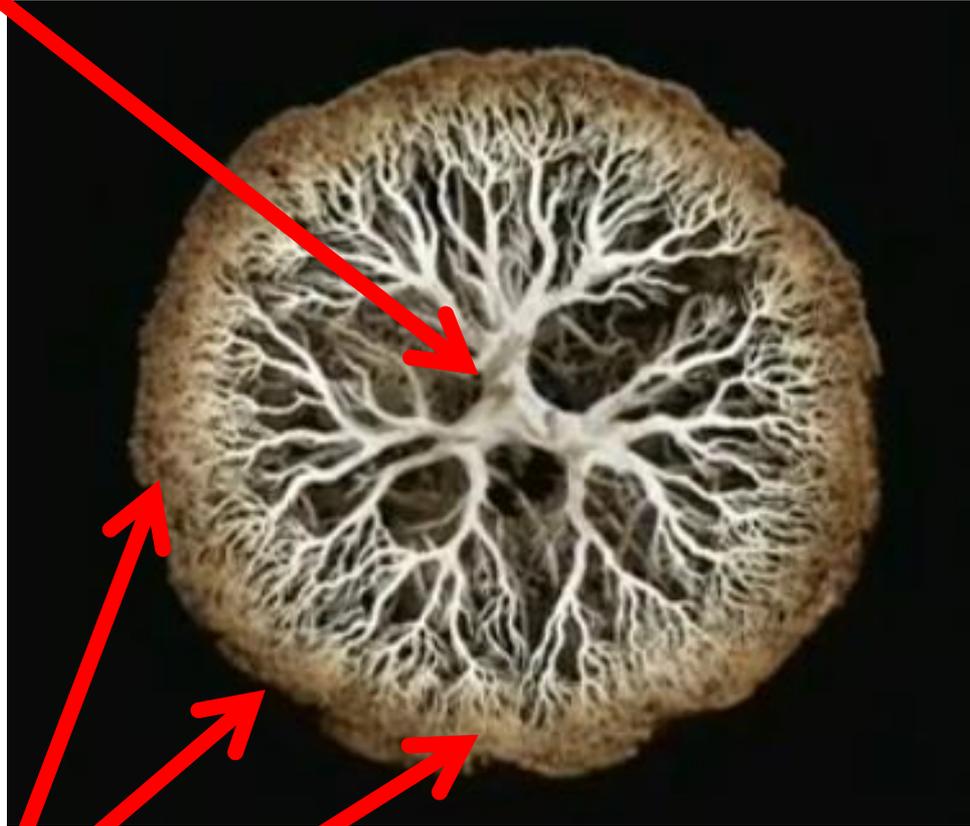
Construire un **tableau bilan** avec tous les **mécanismes de diversification vus** (brassage intra et inter chromosomique au cours de la méiose, brassage au cours de la fécondation, anomalies de la méiose provoquant une anomalie du nombre de chromosome, crossing over inégal, modification de l'expression de gènes de développement, polyploïdisation, transfert horizontal, symbiose, transmission culturelle des comportements)

Et pour chaque mécanisme:

- Définition
- Mécanisme : Comment ça se produit?
- En quoi cela crée de la diversité?

L'arbre du vivant

Un ancêtre commun



Plusieurs millions
d'espèces actuelles
ou passées.

Chapitre 3

- Quels sont les mécanismes qui entraînent la persistance ou la disparition d'un caractère nouveau ?

Exercices :

Pour une cellule à $2n=4$, appartenant à un individu hétérozygote pour 3 gènes, représenter à l'aide de schémas le brassage intra et interchromosomique. Combien obtient-on de gamètes à l'issue de la méiose?

3 gènes :

- gène 1 : allèle A et allèle a
- gène 2 : allèle B et allèle b
- gène 3 : allèle E et allèle e