

# Les implications sociétales de la génétique

Hervé Seitz

IGH (unité mixte n°9002, CNRS et université de Montpellier)

28 novembre 2022

Diaporama disponible sur

<http://www.igh.cnrs.fr/equip/Seitz/LUT2022b.pdf>

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# Rappels : la génétique

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

## Rappels : la génétique

Chaque être vivant contient une information qui lui permet de se construire et de se préserver (à peu près) à l'identique.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## Rappels : la génétique

Chaque être vivant contient une information qui lui permet de se construire et de se préserver (à peu près) à l'identique.

L'information génétique permet de fabriquer un être vivant, à partir de matière prélevée dans l'environnement.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

## Rappels : la génétique

Chaque être vivant contient une information qui lui permet de se construire et de se préserver (à peu près) à l'identique.

L'information génétique permet de fabriquer un être vivant, à partir de matière prélevée dans l'environnement.

Elle est transmise à la descendance.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

## Rappels : la génétique

Chaque être vivant contient une information qui lui permet de se construire et de se préserver (à peu près) à l'identique.

L'information génétique permet de fabriquer un être vivant, à partir de matière prélevée dans l'environnement.

Elle est transmise à la descendance.

Matériellement : l'information génétique est une succession de groupements d'atomes le long de la molécule d'ADN, dans les chromosomes.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

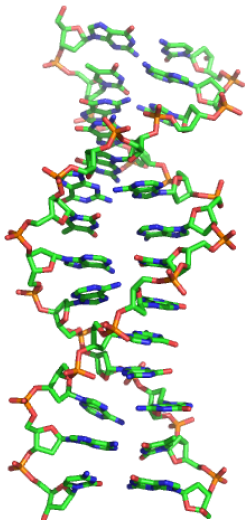
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# Rappels : la génétique moléculaire



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

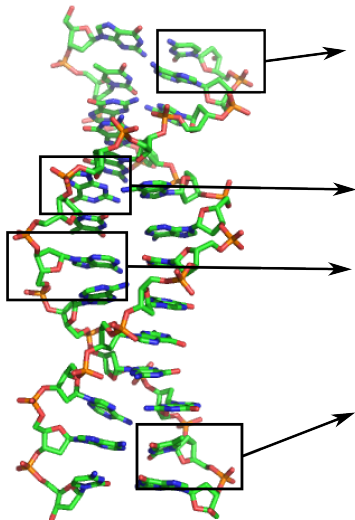
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# Rappels : la génétique moléculaire



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

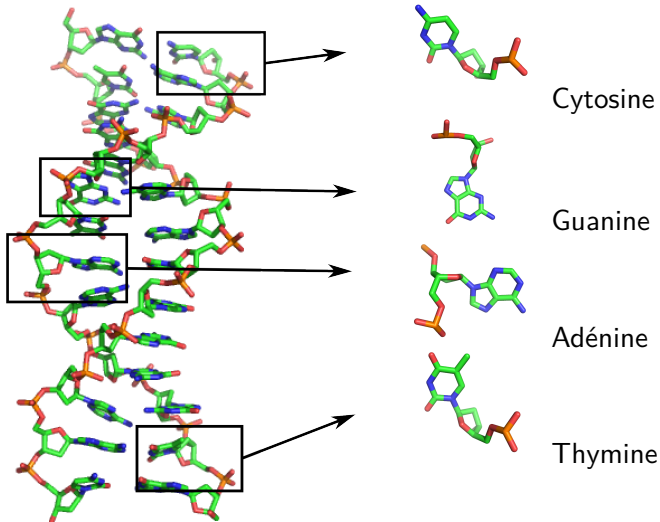
Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion



# Rappels : la génétique moléculaire



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

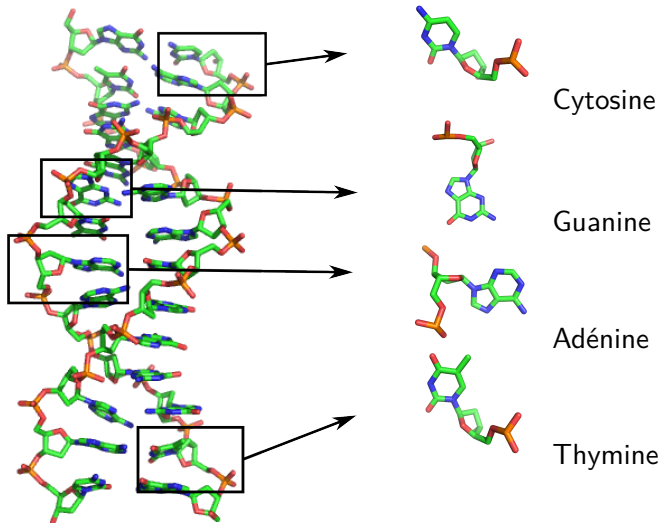
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

## Rappels : la génétique moléculaire



Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

Dans les cellules, l'ADN est couvert de protéines, ce qui forme les « chromosomes ».

# La reproduction

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# La reproduction

Il existe deux modes de reproduction :

- ▶ la reproduction asexuée ;
- ▶ la reproduction sexuée.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# La reproduction

Il existe deux modes de reproduction :

- ▶ la reproduction asexuée ;
- ▶ la reproduction sexuée.

La reproduction asexuée : un « bourgeonnement » qui fabrique un individu génétiquement identique à son unique parent (bouture, division bactérienne, ...).

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# La reproduction



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# La reproduction



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

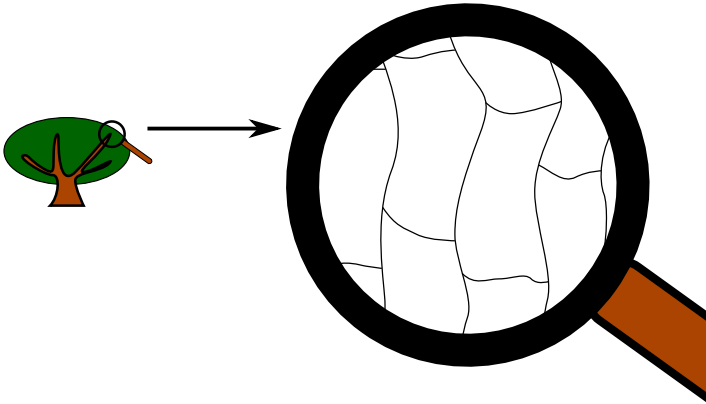
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# La reproduction



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

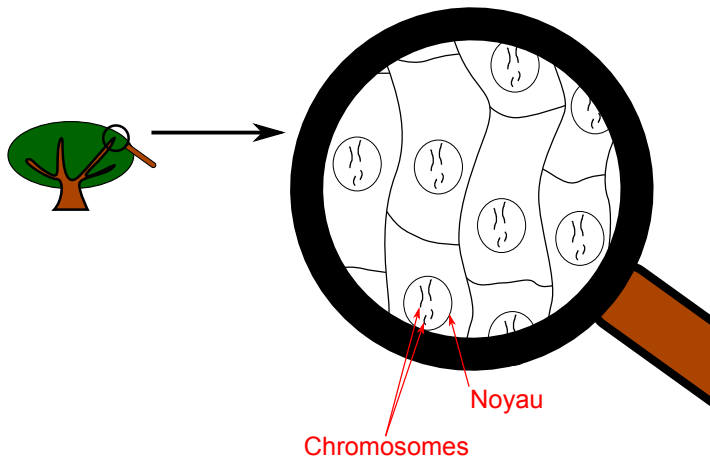
Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion



# La reproduction



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# La reproduction

Il existe deux modes de reproduction :

- ▶ la reproduction asexuée ;
- ▶ la reproduction sexuée.

La reproduction asexuée : un « bourgeonnement » qui fabrique un individu génétiquement identique à son unique parent (bouture, division bactérienne, ...).

La reproduction sexuée : implique deux individus de sexes différents (les parents), pour fabriquer un individu (l'enfant) au patrimoine génétique original.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

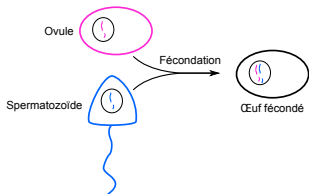
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# La reproduction



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

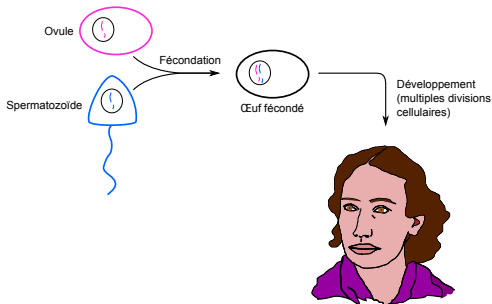
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# La reproduction



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

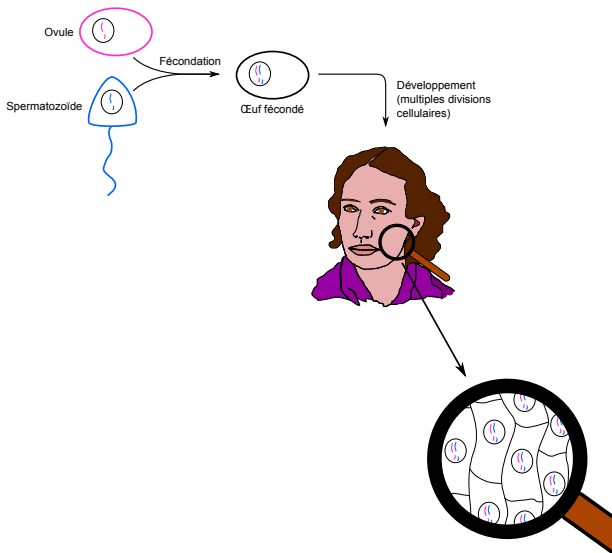
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# La reproduction



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

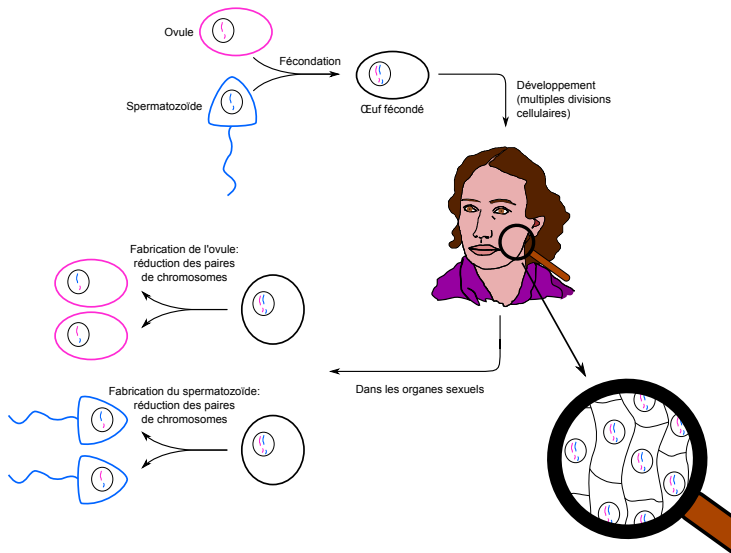
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# La reproduction



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

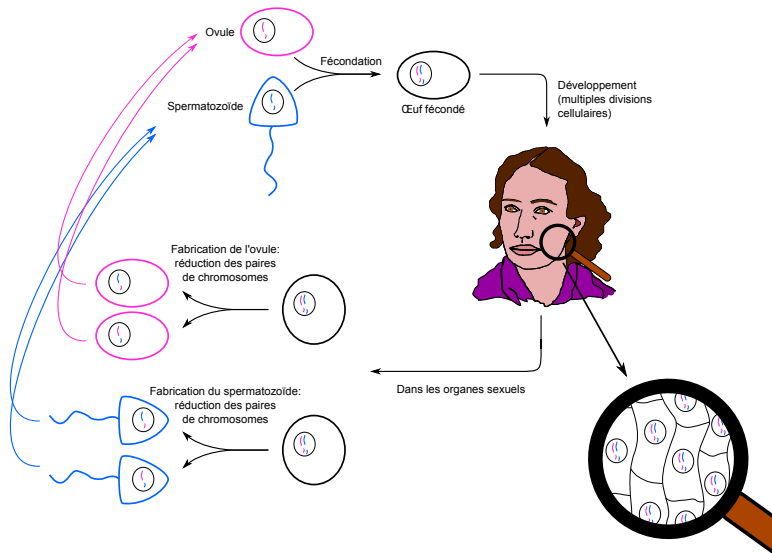
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# La reproduction



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

## La reproduction

- ▶ Chez les Animaux, les Plantes, les Champignons : le génome d'un individu est constitué à parts égales de chromosomes hérités de sa mère, et de chromosomes hérités de son père.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion



## La reproduction

- ▶ Chez les Animaux, les Plantes, les Champignons : le génome d'un individu est constitué à parts égales de chromosomes hérités de sa mère, et de chromosomes hérités de son père.
- ▶ Les gènes portés par ces chromosomes, qui gouvernaient déjà certaines caractéristiques des parents, contrôlent des caractéristiques de l'enfant.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## La reproduction

- ▶ Chez les Animaux, les Plantes, les Champignons : le génome d'un individu est constitué à parts égales de chromosomes hérités de sa mère, et de chromosomes hérités de son père.
- ▶ Les gènes portés par ces chromosomes, qui gouvernaient déjà certaines caractéristiques des parents, contrôlent des caractéristiques de l'enfant.
- ▶ C'est la base biologique de l'hérédité : similitude entre parents et enfants.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

## La reproduction

- ▶ Chez les Animaux, les Plantes, les Champignons : le génome d'un individu est constitué à parts égales de chromosomes hérités de sa mère, et de chromosomes hérités de son père.
- ▶ Les gènes portés par ces chromosomes, qui gouvernaient déjà certaines caractéristiques des parents, contrôlent des caractéristiques de l'enfant.
- ▶ C'est la base biologique de l'hérédité : similitude entre parents et enfants.
- ▶ D'autres formes d'héritabilité : éducation, habitudes alimentaires, ...

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# L'organisation du génome

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

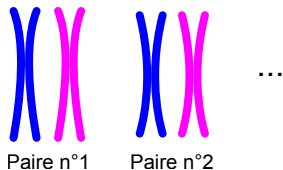
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# L'organisation du génome



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

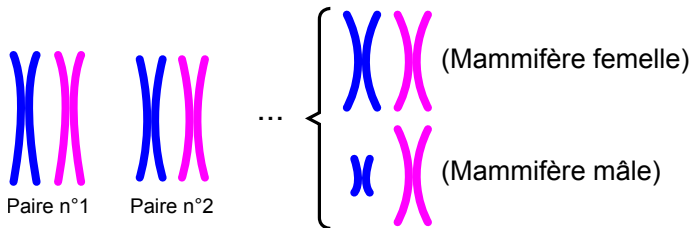
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# L'organisation du génome



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

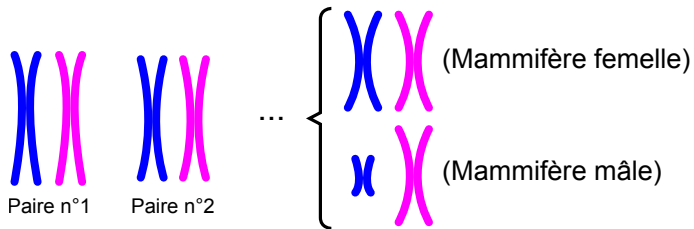
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

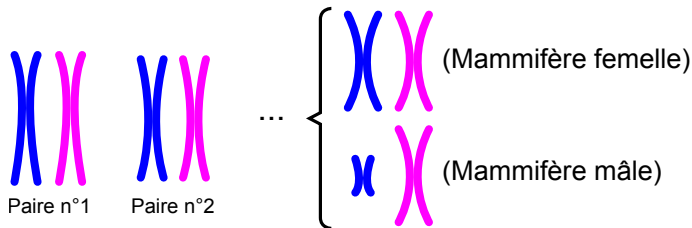
Conclusion

# L'organisation du génome



Une Mammifère femelle transmet toujours un chromosome X.

## L'organisation du génome



Une Mammifère femelle transmet toujours un chromosome X. Un mâle transmet (avec des probabilités très voisines) un X ( $\rightarrow$  l'enfant est femelle) ou un Y ( $\rightarrow$  l'enfant est mâle).

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

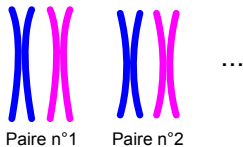
CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion



# La recombinaison

Génération n°N :



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

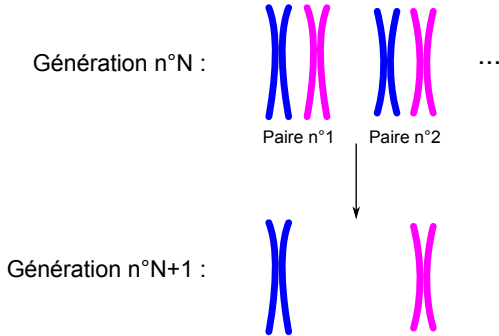
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# La recombinaison



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

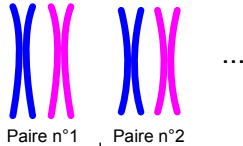
Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

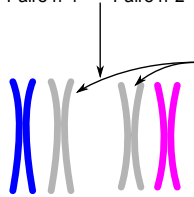
Conclusion

# La recombinaison

Génération n°N :



Génération n°N+1 :



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

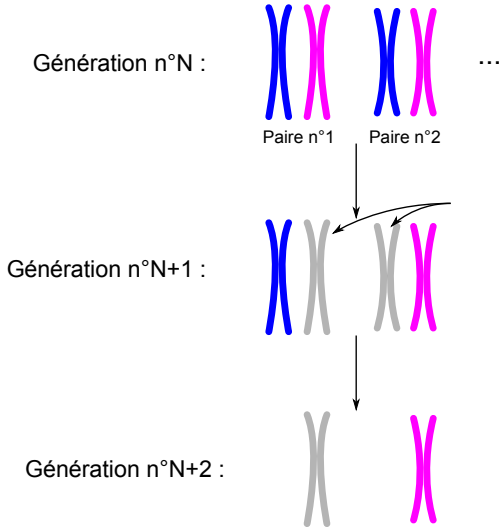
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# La recombinaison



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

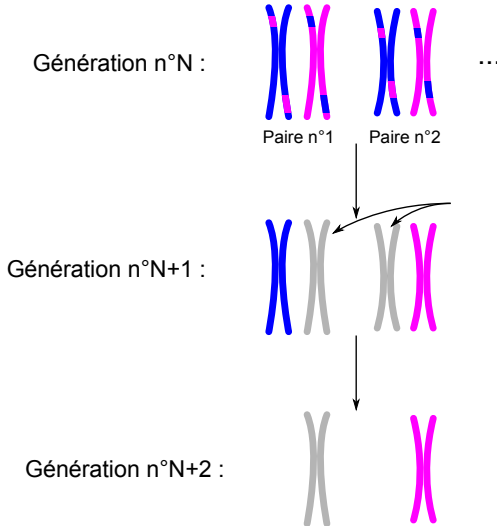
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# La recombinaison



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

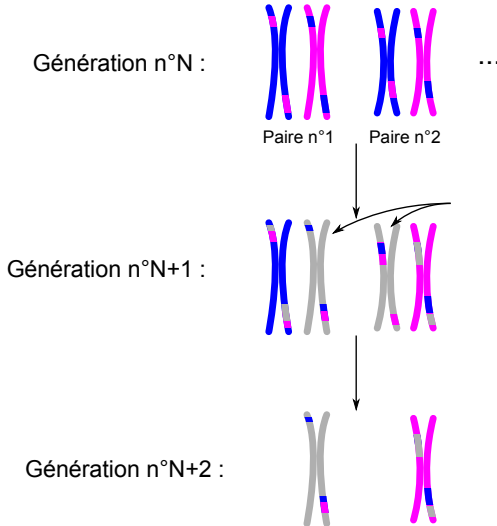
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# La recombinaison



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

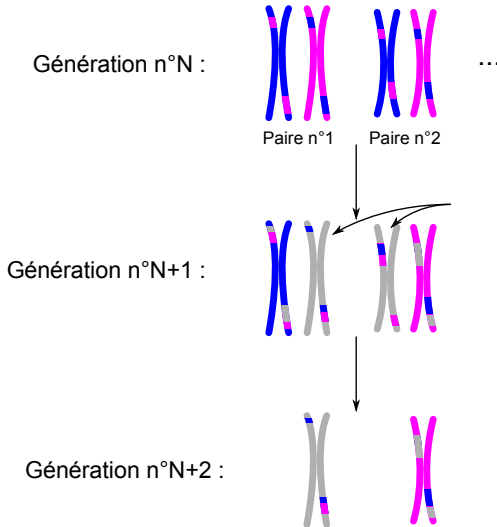
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# La recombinaison



→ Des chromosomes originaux à chaque génération.

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# La carte d'identité génétique

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion



# La carte d'identité génétique

Les mutations sont rares : l'information génétique est généralement transmise très fidèlement.

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

## La carte d'identité génétique

Les mutations sont rares : l'information génétique est généralement transmise très fidèlement.

Mais certaines régions (séquences répétées) mutent à très haute fréquence.

⇒ rarement partagées entre individus sans lien de parenté ; certaines sont même uniques pour chaque individu humain.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## La carte d'identité génétique

Les mutations sont rares : l'information génétique est généralement transmise très fidèlement.

Mais certaines régions (séquences répétées) mutent à très haute fréquence.

⇒ rarement partagées entre individus sans lien de parenté ; certaines sont même uniques pour chaque individu humain.

Applications :

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## La carte d'identité génétique

Les mutations sont rares : l'information génétique est généralement transmise très fidèlement.

Mais certaines régions (séquences répétées) mutent à très haute fréquence.

⇒ rarement partagées entre individus sans lien de parenté ; certaines sont même uniques pour chaque individu humain.

Applications :

- ▶ une « empreinte digitale génétique », qui identifie la personne (comparaison d'un échantillon avec une base de données) ;

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

## La carte d'identité génétique

Les mutations sont rares : l'information génétique est généralement transmise très fidèlement.

Mais certaines régions (séquences répétées) mutent à très haute fréquence.

⇒ rarement partagées entre individus sans lien de parenté ; certaines sont même uniques pour chaque individu humain.

Applications :

- ▶ une « empreinte digitale génétique », qui identifie la personne (comparaison d'un échantillon avec une base de données) ;
- ▶ tests de parentalité.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

## La carte d'identité génétique

Les mutations sont rares : l'information génétique est généralement transmise très fidèlement.

Mais certaines régions (séquences répétées) mutent à très haute fréquence.

⇒ rarement partagées entre individus sans lien de parenté ; certaines sont même uniques pour chaque individu humain.

Applications :

- ▶ une « empreinte digitale génétique », qui identifie la personne (comparaison d'un échantillon avec une base de données) ;
- ▶ tests de parentalité.

Chromosomes qui échappent à la recombinaison chez l'Homme : Y des mâles ; chromosome mitochondrial.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# Apport pour la généalogie

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# Apport pour la généalogie

Homme



×

Femme



Les implications  
sociétales de la  
génétiq

Rappels : la  
génétiq

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétiq

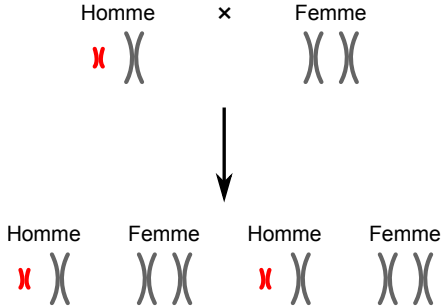
Les modifications  
génétiq

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion



# Apport pour la généalogie



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

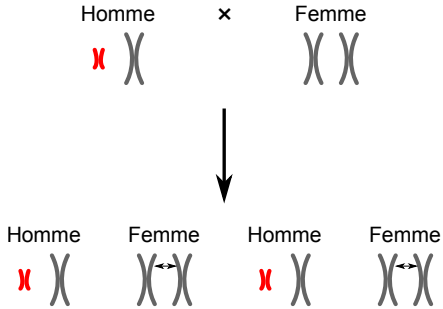
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# Apport pour la généalogie



Les implications  
sociétales de la  
génétiq

Rappels : la  
génétiq

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

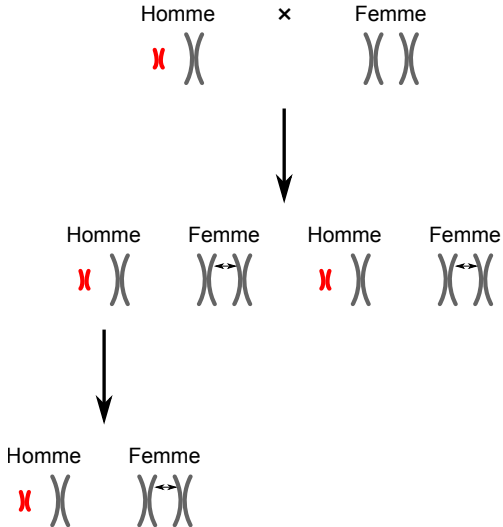
La carte d'identité  
génétiq

Les modifications  
génétiq

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# Apport pour la généalogie



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# Apport pour la généalogie

Les implications  
sociétales de la  
génétiq

Rappels : la  
génétiq

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétiq

Les modifications  
génétiq

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# Apport pour la généalogie

Homme



×

Femme



Les implications  
sociétales de la  
génétiq

Rappels : la  
génétiq

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

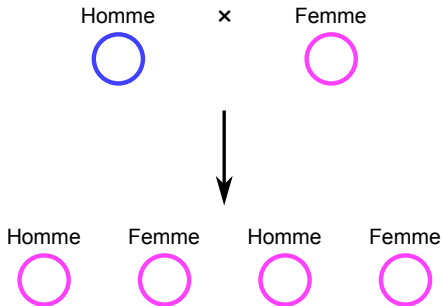
La carte d'identité  
génétiq

Les modifications  
génétiq

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# Apport pour la généalogie



Les implications  
sociétales de la  
généétique

Rappels : la  
généétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

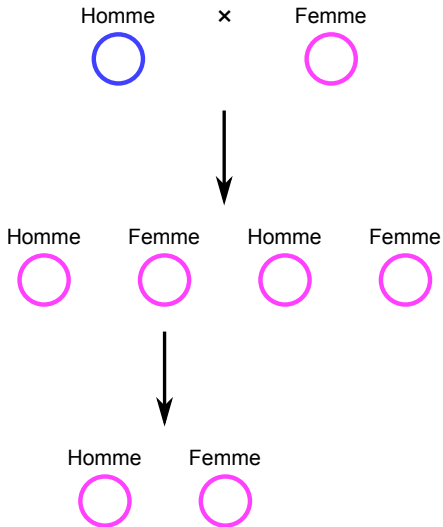
La carte d'identité  
généétique

Les modifications  
généétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# Apport pour la généalogie



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# Apport pour la généalogie

Les implications  
sociétales de la  
génétiq

Rappels : la  
génétiq

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétiq

Les modifications  
génétiq

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion



## Apport pour la généalogie

La tête momifiée d'Henri IV, le sang de Louis XVI? Ils devraient partager le même chromosome Y.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

## Apport pour la généalogie

La tête momifiée d'Henri IV, le sang de Louis XVI? Ils devraient partager le même chromosome Y.

Il a semblé que oui, mais ... probablement à cause de la mauvaise qualité de l'ADN (des descendants de la même lignée mâle n'ont pas le même chromosome Y).

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## Apport pour la généalogie

La tête momifiée d'Henri IV, le sang de Louis XVI? Ils devraient partager le même chromosome Y.

Il a semblé que oui, mais ... probablement à cause de la mauvaise qualité de l'ADN (des descendants de la même lignée mâle n'ont pas le même chromosome Y).

Le squelette retrouvé en août 2012 à Leicester est-il celui de Richard III?

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

## Apport pour la généalogie

La tête momifiée d'Henri IV, le sang de Louis XVI ? Ils devraient partager le même chromosome Y.

Il a semblé que oui, mais ... probablement à cause de la mauvaise qualité de l'ADN (des descendants de la même lignée mâle n'ont pas le même chromosome Y).

Le squelette retrouvé en août 2012 à Leicester est-il celui de Richard III ?

Problème dans la lignée mâle.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## Apport pour la généalogie

La tête momifiée d'Henri IV, le sang de Louis XVI ? Ils devraient partager le même chromosome Y.

Il a semblé que oui, mais ... probablement à cause de la mauvaise qualité de l'ADN (des descendants de la même lignée mâle n'ont pas le même chromosome Y).

Le squelette retrouvé en août 2012 à Leicester est-il celui de Richard III ?

Problème dans la lignée mâle. Lignée femelle (descendance de la sœur aînée de Richard III) : le même chromosome mitochondrial !

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

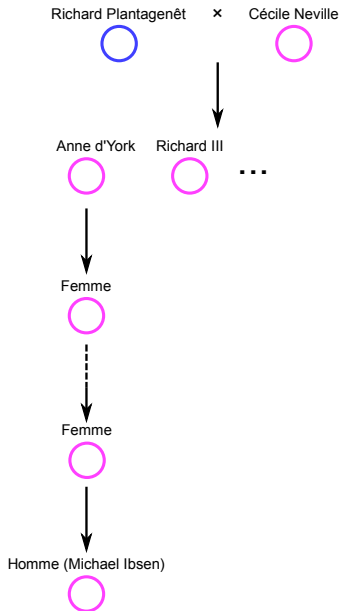
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# Apport pour la généalogie



Les implications  
sociétales de la  
généétique

Rappels : la  
généétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
généétique

Les modifications  
généétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# Apport pour la généalogie

Des informations sur la vie privée des anciennes familles royales ... et de M. et Mme Tout le monde (adultères).

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

## Apport pour la généalogie

Des informations sur la vie privée des anciennes familles royales ... et de M. et Mme Tout le monde (adultères).

Faire séquencer son génome par curiosité = confier des données personnelles.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion



## Apport pour la généalogie

Des informations sur la vie privée des anciennes familles royales ... et de M. et Mme Tout le monde (adultères).

Faire séquencer son génome par curiosité = confier des données personnelles. Il est souvent possible d'identifier une personne à partir de son génome, et de données publiques (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23329047>).

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

## Apport pour la généalogie

Des informations sur la vie privée des anciennes familles royales ... et de M. et Mme Tout le monde (adultères).

Faire séquencer son génome par curiosité = confier des données personnelles. Il est souvent possible d'identifier une personne à partir de son génome, et de données publiques (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23329047>).

Il est illusoire d'essayer d'anonymiser un génome (scientifiques et cliniciens doivent contrôler ces données).

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# Les modifications génétiques

L'information génétique contrôle de nombreuses caractéristiques de l'être vivant → la modifier permet de les influencer.

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## Les modifications génétiques

L'information génétique contrôle de nombreuses caractéristiques de l'être vivant → la modifier permet de les influencer.

Historiquement : techniquement possible d'abord chez les Plantes (→ intérêt agronomique).

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

## Les modifications génétiques

L'information génétique contrôle de nombreuses caractéristiques de l'être vivant → la modifier permet de les influencer.

Historiquement : techniquement possible d'abord chez les Plantes (→ intérêt agronomique).

Pour ajouter des gènes expérimentalement (des « transgènes ») : nécessité de les amplifier dans des bactéries.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

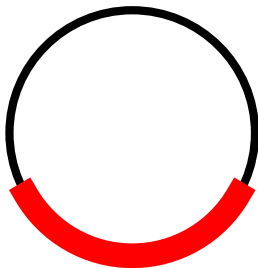
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# Les modifications génétiques



Gène d'intérêt

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

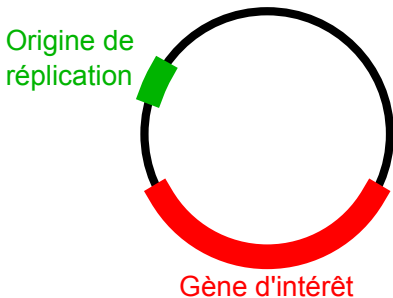
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# Les modifications génétiques



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

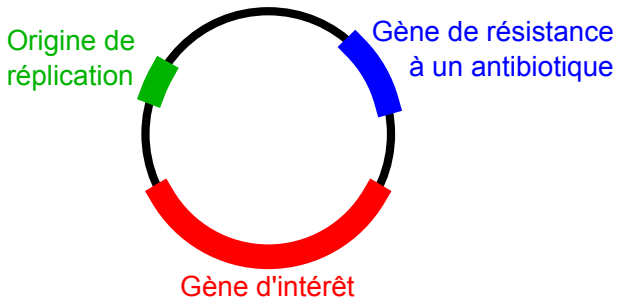
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# Les modifications génétiques



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

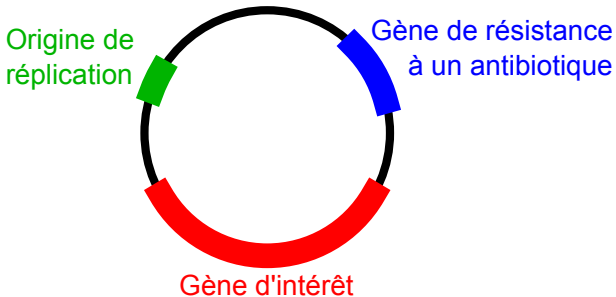
Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

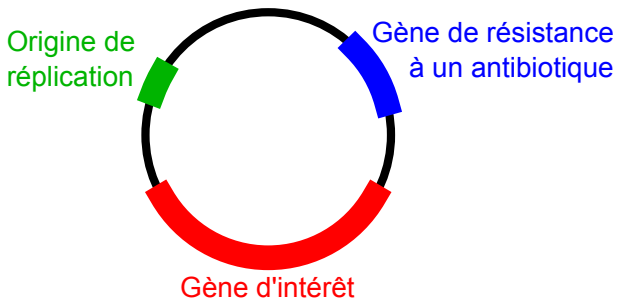


# Les modifications génétiques



Des séquences annexes, insérées dans le génome de la plante en même temps que la séquence d'intérêt.

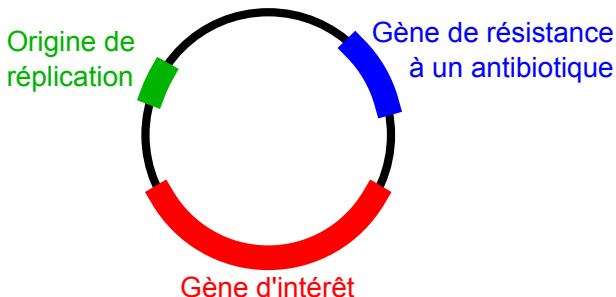
# Les modifications génétiques



Des séquences annexes, insérées dans le génome de la plante en même temps que la séquence d'intérêt.

- ▶ Possibilité de dissémination de résistances à des antibiotiques.

# Les modifications génétiques



Des séquences annexes, insérées dans le génome de la plante en même temps que la séquence d'intérêt.

- ▶ Possibilité de dissémination de résistances à des antibiotiques.
- ▶ Détectabilité (le transgène peut être identique à un gène endogène de la plante, donc indistinguable).

# Pourquoi les OGM font-ils peur ?

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# Pourquoi les OGM font-ils peur ?

Il existe de mauvaises raisons (« pas d'ADN dans mon assiette ! »).

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## Pourquoi les OGM font-ils peur ?

Il existe de mauvaises raisons (« pas d'ADN dans mon assiette ! »).

... et de vrais problèmes :

- ▶ Croisements avec des espèces sauvages, dissémination du transgène (e.g., résistances aux herbicides).

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## Pourquoi les OGM font-ils peur ?

Il existe de mauvaises raisons (« pas d'ADN dans mon assiette ! »).

... et de vrais problèmes :

- ▶ Croisements avec des espèces sauvages, dissémination du transgène (e.g., résistances aux herbicides).
- ▶ Toxicité potentielle ou avérée de la protéine exprimée par le transgène (e.g., toxicité contre les insectes).

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## Pourquoi les OGM font-ils peur ?

Il existe de mauvaises raisons (« pas d'ADN dans mon assiette ! »).

... et de vrais problèmes :

- ▶ Croisements avec des espèces sauvages, dissémination du transgène (e.g., résistances aux herbicides).
- ▶ Toxicité potentielle ou avérée de la protéine exprimée par le transgène (e.g., toxicité contre les insectes).

... et des problèmes moraux (propres à chacun) :

- ▶ Indépendance du paysan vis-à-vis du semencier (pas seulement pour les OGM).

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion



## Pourquoi les OGM font-ils peur ?

Il existe de mauvaises raisons (« pas d'ADN dans mon assiette ! »).

... et de vrais problèmes :

- ▶ Croisements avec des espèces sauvages, dissémination du transgène (e.g., résistances aux herbicides).
- ▶ Toxicité potentielle ou avérée de la protéine exprimée par le transgène (e.g., toxicité contre les insectes).

... et des problèmes moraux (propres à chacun) :

- ▶ Indépendance du paysan vis-à-vis du semencier (pas seulement pour les OGM).
- ▶ Ne pas modifier la création divine.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## Pourquoi les OGM font-ils peur ?

Il existe de mauvaises raisons (« pas d'ADN dans mon assiette ! »).

... et de vrais problèmes :

- ▶ Croisements avec des espèces sauvages, dissémination du transgène (e.g., résistances aux herbicides).
- ▶ Toxicité potentielle ou avérée de la protéine exprimée par le transgène (e.g., toxicité contre les insectes).

... et des problèmes moraux (propres à chacun) :

- ▶ Indépendance du paysan vis-à-vis du semencier (pas seulement pour les OGM).
- ▶ Ne pas modifier la création divine.
- ▶ Hostilité contre l'entreprise qui les fournit (e.g., graines « Terminator »).

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# Pourquoi les OGM font-ils peur ?

Le citoyen doit se méfier des experts qui ont un intérêt dans le débat.

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# Pourquoi les OGM font-ils peur ?

Le citoyen doit se méfier des experts qui ont un intérêt dans le débat.

- ▶ Affaire *Monsanto papers* : doutes sur l'indépendance des experts.

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

## Pourquoi les OGM font-ils peur ?

Le citoyen doit se méfier des experts qui ont un intérêt dans le débat.

- ▶ Affaire *Monsanto papers* : doutes sur l'indépendance des experts.
- ▶ Affaire Séralini : les anti-OGM ne sont pas automatiquement crédibles (enjeux financiers, problèmes méthodologiques).

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## Pourquoi les OGM font-ils peur ?

Le citoyen doit se méfier des experts qui ont un intérêt dans le débat.

- ▶ Affaire *Monsanto papers* : doutes sur l'indépendance des experts.
- ▶ Affaire Séralini : les anti-OGM ne sont pas automatiquement crédibles (enjeux financiers, problèmes méthodologiques).

Il n'y a pas que le cancer qui tue ! Cancérogénicité douteuse du glyphosate (produit chimique) et de la modification NK603 (OGM), qui monopolise le débat public.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# L'édition du génome

Le but : une modification contrôlée du génome.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

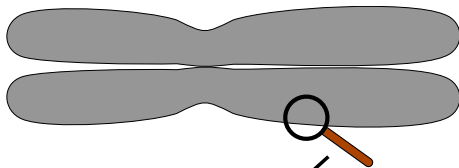
Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## L'édition du génome

Le but : une modification contrôlée du génome.



... TTCACAATGATCTCGGTAAAGTT ...



... TTCACAAT**ATTT**GGGTAAAGTT ...

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

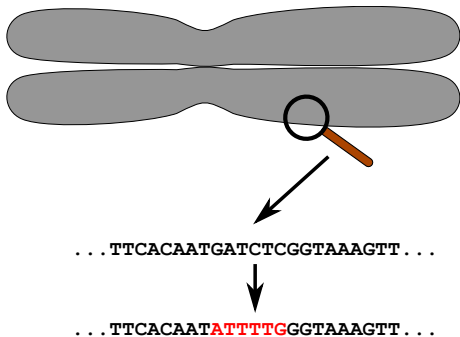
CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion



## L'édition du génome

Le but : une modification contrôlée du génome.



Principe : couper l'ADN au site-cible, et fournir à la cellule un ADN-modèle pour la réparation.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison



La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# L'édition du génome

  ADN coupé



  
ADN rabouté

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

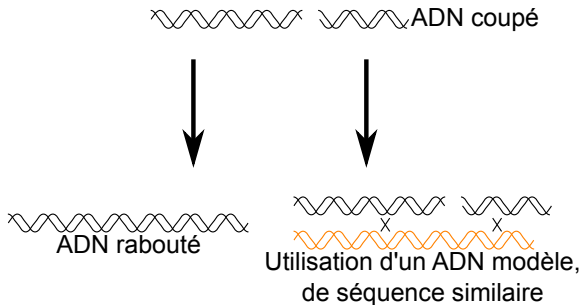
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## L'édition du génome



Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

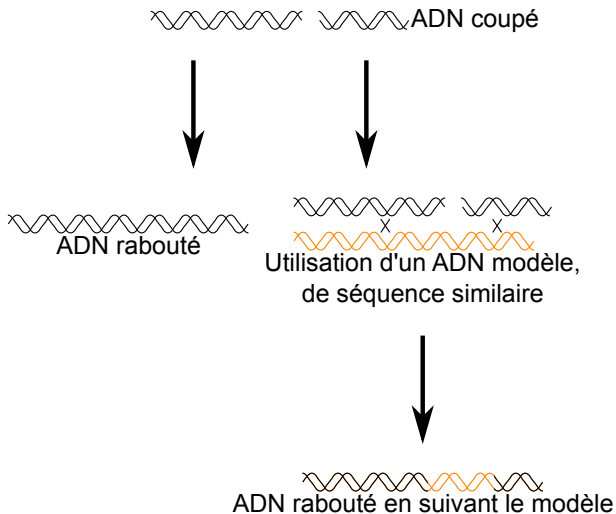
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# L'édition du génome



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

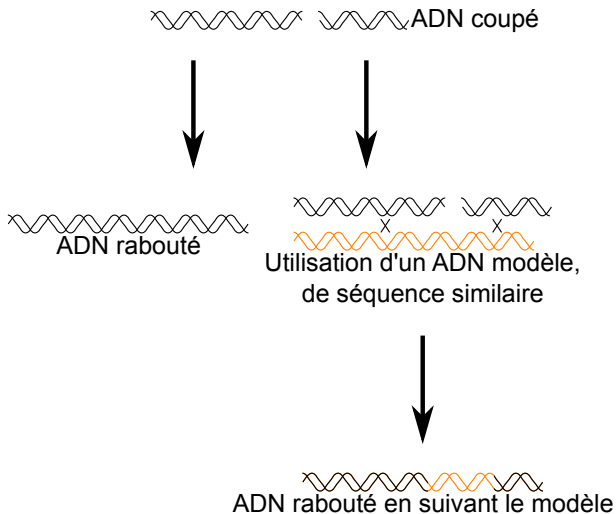
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

## L'édition du génome



→ La « recombinaison homologue ».

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# Un système immunitaire bactérien

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# Un système immunitaire bactérien

Les bactéries sont elles-mêmes menacées par des pathogènes : des virus, et des ADN invasifs.

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

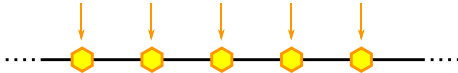
Conclusion

# Un système immunitaire bactérien

Les bactéries sont elles-mêmes menacées par des pathogènes : des virus, et des ADN invasifs.

Années 1980 et 1990 : des bactéries contiennent des séquences répétées (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*), séparées par des espaceurs non-répétés.

La même séquence, répétée en copies régulièrement espacées



Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

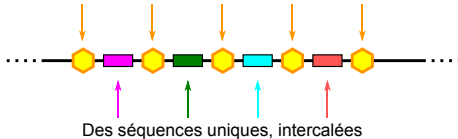


# Un système immunitaire bactérien

Les bactéries sont elles-mêmes menacées par des pathogènes : des virus, et des ADN invasifs.

Années 1980 et 1990 : des bactéries contiennent des séquences répétées (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*), séparées par des espaceurs non-répétés.

La même séquence, répétée en copies régulièrement espacées



Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

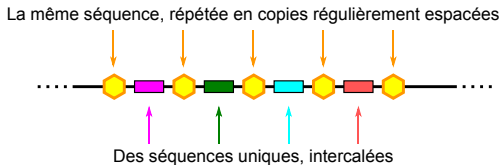
CRISPR et  
l'édition du  
gène

Conclusion

# Un système immunitaire bactérien

Les bactéries sont elles-mêmes menacées par des pathogènes : des virus, et des ADN invasifs.

Années 1980 et 1990 : des bactéries contiennent des séquences répétées (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*), séparées par des espaceurs non-répétés.



2005 : les espaceurs non-répétés sont des fragments de séquences de virus et d'ADN invasif.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

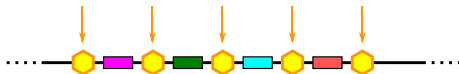
Conclusion

## Un système immunitaire bactérien

Les bactéries sont elles-mêmes menacées par des pathogènes : des virus, et des ADN invasifs.

Années 1980 et 1990 : des bactéries contiennent des séquences répétées (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*), séparées par des espaceurs non-répétés.

La même séquence, répétée en copies régulièrement espacées



Des séquences uniques, intercalées

2005 : les espaceurs non-répétés sont des fragments de séquences de virus et d'ADN invasif. Un rôle protecteur contre ces pathogènes ?

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

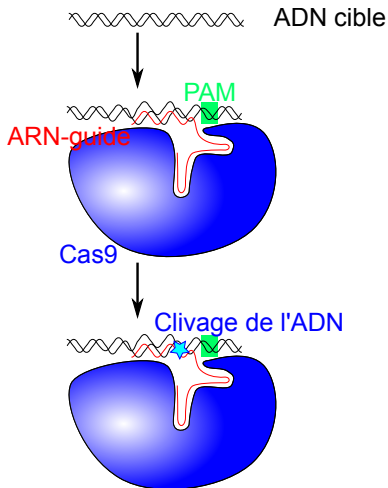
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# Un système immunitaire bactérien



Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

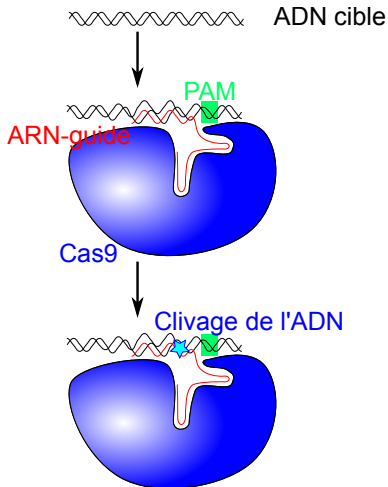
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

# Un système immunitaire bactérien



→ Une enzyme programmable pour aller couper une région du génome choisie.

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## Un couteau suisse moléculaire

Pour l'édition des génomes : couper à l'endroit désiré, et fournir un modèle d'ADN qui introduira la séquence voulue.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## Un couteau suisse moléculaire

Pour l'édition des génomes : couper à l'endroit désiré, et fournir un modèle d'ADN qui introduira la séquence voulue.

Simplicité d'emploi par rapport aux techniques précédentes ; méthodes d'introduction déjà optimisées (en culture cellulaire et dans l'œuf fécondé).

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# CRISPR : un outil trop efficace ?

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion



# CRISPR : un outil trop efficace ?

Des craintes sur son utilisation dans l'embryon humain (publié en août 2017 : correction d'une mutation causant une maladie génétique, dans des embryons humains qui sont restés viables après traitement ; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28783728> ; biais techniques probables).

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

## CRISPR : un outil trop efficace ?

Des craintes sur son utilisation dans l'embryon humain (publié en août 2017 : correction d'une mutation causant une maladie génétique, dans des embryons humains qui sont restés viables après traitement ;

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28783728> ;  
biais techniques probables).

CRISPR/Cas9 permettra-t-il à des laboratoires peu surveillés de produire des êtres humains OGM ? Cas annoncé en Chine fin 2018 (bébés OGM : on n'a pas pu leur demander leur avis ; conséquences inconnues de la modification).

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

## CRISPR : un outil trop efficace ?

Des craintes sur son utilisation dans l'embryon humain (publié en août 2017 : correction d'une mutation causant une maladie génétique, dans des embryons humains qui sont restés viables après traitement ;

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28783728> ;  
biais techniques probables).

CRISPR/Cas9 permettra-t-il à des laboratoires peu surveillés de produire des êtres humains OGM ? Cas annoncé en Chine fin 2018 (bébés OGM : on n'a pas pu leur demander leur avis ; conséquences inconnues de la modification).

Une modification irréversible des écosystèmes ?

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

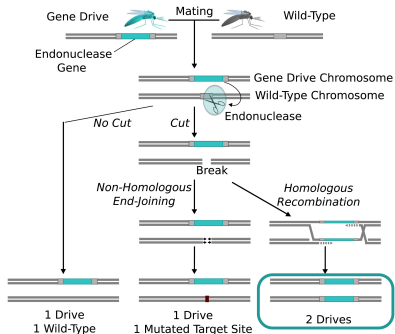
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# CRISPR : un outil trop efficace ?



(tiré de <https://elifesciences.org/articles/03401>)

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

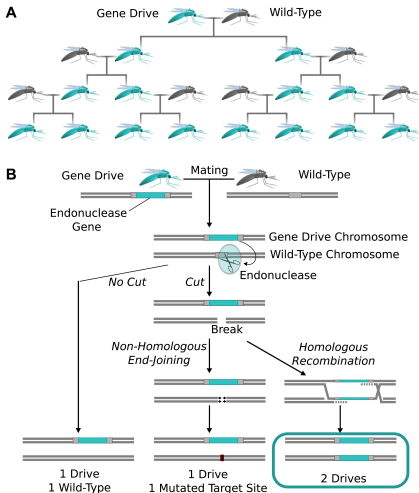
La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

# CRISPR : un outil trop efficace ?



Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion

(tiré de <https://elifesciences.org/articles/03401>)

# Conclusion

Les implications  
sociétales de la  
génétique

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## Conclusion

Le génome, une donnée personnelle.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## Conclusion

Le génome, une donnée personnelle.

Les OGM : difficulté à s'informer et à débattre. Évolution de l'opinion (scientisme humanitaire, conservatisme, libéralisme, ... s'affrontent sur une question technologique).

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion



## Conclusion

Le génome, une donnée personnelle.

Les OGM : difficulté à s'informer et à débattre. Évolution de l'opinion (scientisme humanitaire, conservatisme, libéralisme, ... s'affrontent sur une question technologique).

La façon de poser la question oriente la réponse (« dépistage génétique » ou « eugénisme » ? « Téléthon » ou « humains OGM » ?).

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## Conclusion

Le génome, une donnée personnelle.

Les OGM : difficulté à s'informer et à débattre. Évolution de l'opinion (scientisme humanitaire, conservatisme, libéralisme, ... s'affrontent sur une question technologique).

La façon de poser la question oriente la réponse (« dépistage génétique » ou « eugénisme » ? « Téléthon » ou « humains OGM » ?).

CRISPR : une simplicité de mise en œuvre et une efficacité qui suscitent des craintes.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## Conclusion

Le génome, une donnée personnelle.

Les OGM : difficulté à s'informer et à débattre. Évolution de l'opinion (scientisme humanitaire, conservatisme, libéralisme, ... s'affrontent sur une question technologique).

La façon de poser la question oriente la réponse (« dépistage génétique » ou « eugénisme » ? « Téléthon » ou « humains OGM » ?).

CRISPR : une simplicité de mise en œuvre et une efficacité qui suscitent des craintes. OGM produits par CRISPR : sans séquences accessoires (→ indétectables ; naturels ?).

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## Conclusion

Le génome, une donnée personnelle.

Les OGM : difficulté à s'informer et à débattre. Évolution de l'opinion (scientisme humanitaire, conservatisme, libéralisme, ... s'affrontent sur une question technologique).

La façon de poser la question oriente la réponse (« dépistage génétique » ou « eugénisme » ? « Téléthon » ou « humains OGM » ?).

CRISPR : une simplicité de mise en œuvre et une efficacité qui suscitent des craintes. OGM produits par CRISPR : sans séquences accessoires (→ indétectables ; naturels ?).

Arrêter la recherche ? Trop tard.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génom

Conclusion

## Conclusion

Le génome, une donnée personnelle.

Les OGM : difficulté à s'informer et à débattre. Évolution de l'opinion (scientisme humanitaire, conservatisme, libéralisme, ... s'affrontent sur une question technologique). La façon de poser la question oriente la réponse (« dépistage génétique » ou « eugénisme » ? « Téléthon » ou « humains OGM » ?).

CRISPR : une simplicité de mise en œuvre et une efficacité qui suscitent des craintes. OGM produits par CRISPR : sans séquences accessoires (→ indétectables ; naturels ?).

Arrêter la recherche ? Trop tard. Mieux vaut s'assurer que les laboratoires publics, contrôlés par des gouvernements raisonnables, gardent le *leadership* de la maîtrise de cette technologie, au cas où elle serait vraiment dangereuse.

Rappels : la  
génétique

Rappels : la  
reproduction

La recombinaison

La carte d'identité  
génétique

Les modifications  
génétiques

CRISPR et  
l'édition du  
génome

Conclusion