

MUSEUM DES SCIENCES NATURELLES

www.sciencesnaturelles.be

FOCUS ON GENES

LE MUSEUM DECODE LA
GENETIQUE



du 7 novembre 2001 au 5 mai 2002

Dossier didactique

© 2001
Service éducatif

Introduction

De nos jours, la génétique -science de l'hérédité- a évidemment largement dépassé le stade des lois de Mendel et celui des croisements des souris noires avec des souris blanches. Nous sommes actuellement submergés de termes tels que 'code génétique', 'synthèse des protéines', 'clones', 'recombinaison de gènes'... La pratique des manipulations génétiques a donné naissance à la biotechnologie, et il existe une telle abondance d'informations à ce sujet qu'il est désormais difficile de suivre et de comprendre les derniers développements dans ce domaine.

Entretemps, la génétique est sur le point de conquérir et de modifier radicalement nos sociétés, donnant lieu à de vives controverses sur ce qui est et ce qui ne peut pas être permis en matière de biotechnologie.

Les avis des partisans et des détracteurs des manipulations génétiques sont fort opposés. Ceux qui en sont des approbateurs fervents peuvent, en effet, faire état de succès prometteurs dans le domaine de la médecine et de l'agriculture. En revanche, les opposants craignent de nombreuses conséquences négatives à long terme, ou bien une réelle catastrophe pour l'Homme et la nature, qu'il serait impossible de maîtriser. En outre, il convient de tenir compte des aspects moraux qui s'y ajoutent en cas d'expérimentation directe sur l'Homme, et ce ne sont pas les discussions stériles et émotionnelles qui apporteront une solution à ces questions.

Informier le public sur l'état des choses en matière de génétique et sur ses applications en biotechnologie fait partie des tâches de l'Institut. Ainsi, l'exposition 'Focus on genes' a pour but de rendre ce sujet ardu accessible à tous, d'une manière aussi concrète et agréable que possible. Cette exposition est réalisée par le Deutsches Hygiene-Museum Dresden en collaboration avec de nombreuses autres institutions scientifiques européennes.

Faites un tour dans notre 'Café des points de vue', une zone de consultation de livres, brochures et articles dans lesquels diverses organisations, publiques comme privées, de Belgique ou d'ailleurs, s'expriment sur le sujet...

De plus, afin de stimuler les discussions sur les manipulations génétiques, des débats scolaires sont organisés auxquels des orateurs scientifiques ont été conviés.

D'ores et déjà, nous vous souhaitons une promenade agréable et instructive à travers 'Focus on genes'.

Informations pratiques

Pas de supplément pour cette exposition temporaire. L'entrée est incluse dans le prix d'entrée des salles permanentes du Muséum. Le prix d'une visite guidée correspond à celui des salles permanentes.

Tarifs

Entrée (exposition 'Focus on genes' + salles permanentes)

Visiteur individuel: adulte 4 € ; 6-17 ans, étudiant, senior, Amis de l'Institut, Carte J : 3 €. ICOM et enseignant avec justificatif professionnel : gratuit.

Groupe : adultes 3 € ; jeunes (2-25ans) 1,50 €

Visite guidée

Ecoles et groupes de jeunes: 35 €

Adultes: 62 € en semaine; 75 € le week-end

Participation au débat (par personne) : 3 € (accès au débat, à l'exposition et aux salles permanentes)

Entrée gratuite le premier mercredi du mois à partir de 13 h.

Réservation obligatoire pour les groupes : 02 627 42 34

Website

Vous trouverez sur notre site sous la rubrique 'Muséum' toutes informations sur ces expositions (également le dossier didactique) et sur les salles permanentes.

Info 24h/24 : 02 627 42 38

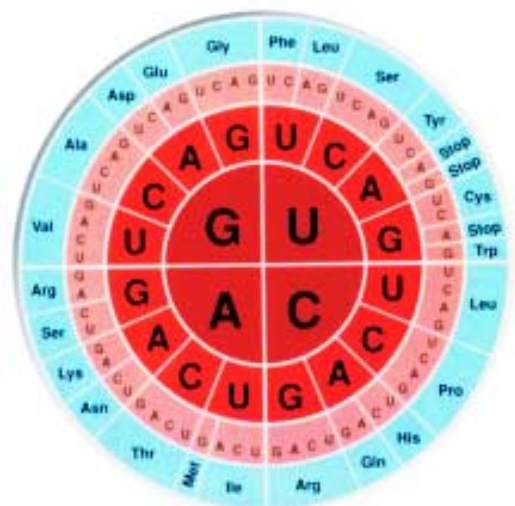
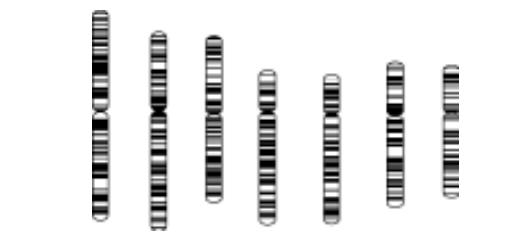
<http://www.sciencesnaturelles.be>

FOCUS ON GENES

Résumé de l'exposition

“ Qu'est-ce qu'un gène ? Et qu'est-ce qui, dans le domaine du génie génétique, relève du rêve ou de la réalité ? ”. C'est en fournissant une première réponse à ces deux questions que débute l'exposition. Elle présente ensuite les principales recherches sur les mécanismes de l'hérédité, un rapide historique du génie génétique (de 1961 à 2001), les notions de base de la génétique et les techniques couramment utilisées dans les laboratoires de génétique.

Puis, elle s'attarde aux différentes applications du génie génétique en médecine (xénotransplantation, thérapie génique, nouveaux médicaments), en agriculture et environnement (OGM), et en alimentation (tomate anti-purée, frites moins grasses, riz vitaminé). Pour terminer, elle aborde les nouveaux horizons des analyses génétiques (notamment, en ce qui concerne la chorée de Huntington et le cancer du sein) et une discipline spécifique du génie génétique : le génie tissulaire.



1. Génie génétique et manipulations génétiques : rêve ou réalité ?



Objectif :

L'introduction s'appuie sur les craintes et les espoirs de tous. Ces nouvelles technologies en biologie moléculaire ne laissent personne indifférent. Leurs défenseurs attendent de nouvelles réponses à des problèmes médicaux, nutritionnels, agricoles et écologiques jusqu'ici restés insolubles. Leurs adversaires craignent des retombées incontrôlables sur l'homme, la société et l'environnement. Cette première partie permet au visiteur de faire la part des choses entre le rêve et la réalité.

Contenu :

Dès le début de l'exposition, le visiteur est confronté aux reproductions miniatures du laboratoire de Frankenstein, de la ferme de "bébés éprouvettes" imaginée par Huxley dans son roman "Le meilleur des mondes" (1932) ou encore, au mythique Golem. Mais de telles créatures font encore partie du monde fantastique.

A côté de cela, sont présentés quelques produits du génie génétique : des organismes transgéniques (tomate, maïs et porcs), des médicaments et Dolly, le mouton cloné.



Thèmes :

Qu'est-ce qu'un gène ?
Qu'est-ce que le génie génétique ?
Récits de science-fiction (Frankenstein, Huxley, Golem)

Visuels :

Produits du génie génétique

2. A la recherche des mécanismes de l'hérédité

Objectif :

La section historique de l'exposition donne un résumé de la découverte des mécanismes héréditaires et une explication de la structure de l'ADN. Le visiteur comprend que le génie génétique, tout comme la génétique classique, a pour but de sélectionner ou d'éliminer certaines propriétés des organismes vivants.

Contenu :

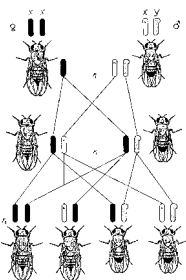
De l'antiquité aux temps modernes, les philosophes et naturalistes ont répandu des théories héréditaires fondées principalement sur des observations et des expériences.

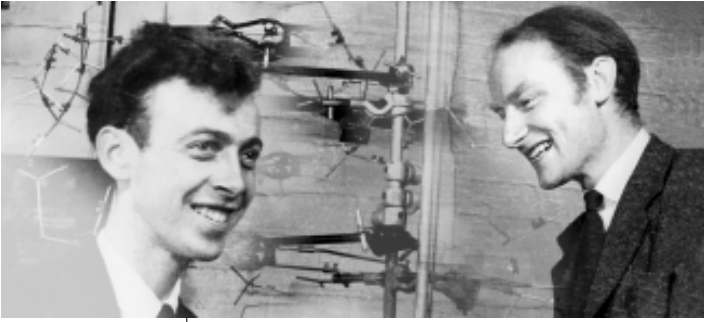
Au milieu du 19^{ème} siècle, les recherches de Mendel sur les croisements de pois aboutirent à la découverte des premières lois de l'hérédité.

Au début du 20^{ème} siècle, l'interaction entre biologie cellulaire et génétique permit d'élaborer la théorie des chromosomes porteurs d'informations héréditaires (Boveri, Morgan).

Quelques dizaines d'années plus tard, on démontra que les informations héréditaires ne sont pas véhiculées par les protéines des chromosomes mais par leurs acides nucléiques, ce qui déboucha sur le modèle de l'ADN de Watson et Crick.

Le déchiffrement du code génétique ouvre la voie aux interventions techniques sur les mécanismes évolutifs.





Watson et Crick



Barbara Mc Clintock

Thèmes :

Lois de l'hérédité de Mendel
De la carte chromosomique (Morgan) au modèle de double hélice de l'ADN (Watson et Crick)
Historique du génie génétique

Visuels :

Moulage de drosophile (*Drosophila melanogaster*)
Microscope Leeuwenhoek
Double hélice d'ADN

3. La vie examinée à la loupe : les bases de la génétique

Objectif :

Le visiteur voit comment tout un organisme est produit à partir du matériel héréditaire contenu dans un unique ovule fécondé. C'est avec ces connaissances de base sur la cellule, le matériel héréditaire qu'elle contient et la division cellulaire, que le visiteur pourra se représenter les différentes applications potentielles du génie génétique.

Contenu :

La vie est un cycle. Un organisme se développe, se reproduit et meurt. Chacun de nous provient d'un simple et unique ovule fécondé. Ce sont les caractères héréditaires et l'environnement qui font de nous ce que nous sommes aujourd'hui.

Quel est le chemin qui mène de l'ovule à l'organisme complexe ? Qu'est-ce qui règle notre développement ? L'ADN est la clé de la vie. Il contient toutes les informations nécessaires à une seule cellule pour devenir un organisme qui fonctionne.

A ce stade, sont présentés les éléments et concepts de base de la génétique (gène, chromosome, duplication de l'ADN, division cellulaire...). La synthèse des protéines et le code génétique universel aide à comprendre l'existence de mutations.

Thèmes :

La cellule et l'ADN qu'elle renferme
La division cellulaire
Le chromosome, porteur du matériel héréditaire
Comment les gènes produisent des organismes
Les clones
La synthèse des protéines et les mutations

Visuels :

De l'ADN au chromosome
Différents modèles de chromosomes comportant des mutations
Laine authentique de Dolly
Multimédia : la synthèse des protéines
La drépanocytose, un exemple de mutation génétique



4. Le travail dans un laboratoire de génétique

Objectif :

Dans le laboratoire, le visiteur fait connaissance avec les techniques et appareils du génie génétique : identification, recombinaison et introduction de séquences d'ADN, travail avec des enzymes qui font office de " ciseaux et colle à gènes ".

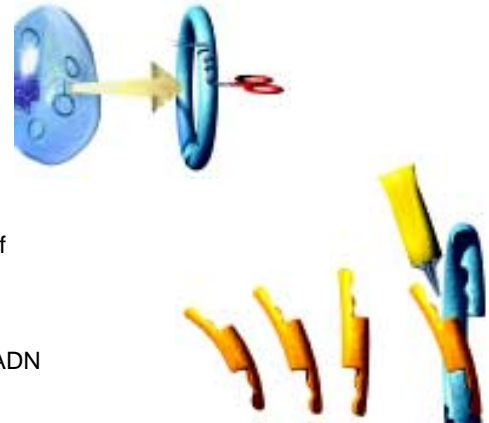
Contenu :

Dans un tel laboratoire, tout tourne autour de la génétique. En tant que porteur de l'information génétique, il est la base de toute vie. Sa structure, composée des quatre bases adénine, thymine, cytosine et guanine, est identique pour tous les organismes et permet donc d'échanger des sections d'ADN entre les espèces.

Les techniques modernes de la biologie moléculaire servent à identifier, créer, extraire, recomposer et insérer artificiellement des sections d'ADN dans des cellules étrangères. Par exemple pour déceler des maladies héréditaires, produire des médicaments ou " créer " et reproduire des plantes et animaux avec de nouvelles propriétés, étrangères à leur espèce. Les empreintes génétiques permettent de faire des tests de paternité et peuvent désigner des suspects dans des affaires criminelles.

Thèmes :

Ciseaux et colle à gènes (+ vidéo)
Pistolet à gènes
Electrophorèse sur gel
Génie génétique et sécurité
Empreinte génétique



Visuels :

Modèle surdimensionné d'un récipient Eppendorf
Pistolet à gènes
Cuve à électrophorèse
PCR Mastercycler
Flipper pour décoder une séquence inconnue d'ADN

5. Les applications du génie génétique

Objectif :

Le génie génétique a une influence croissante sur notre qualité de vie. Dans cette partie de l'exposition, sont développées quelques-unes de ses applications dans les secteurs médical, agricole, environnemental et alimentaire. Le visiteur peut ainsi se rendre compte que ces technologies sont utilisées pour de nombreuses raisons et avec des buts différents, et ne sont pas toutes acceptées de la même manière par notre société.

a) Le génie génétique et la médecine

Contenu :

Les développements vertigineux et les succès du génie génétique offrent de nouvelles perspectives à la médecine, tout en se heurtant à ses limites. Tandis que les médicaments produits génétiquement tel que l'insuline font partie de la routine en médecine, les thérapies géniques n'ont pas encore été couronnées de succès. Cependant, les scientifiques continuent à rechercher d'arrache-pied de nouvelles stratégies de traitement des maladies incurables. Sans aucun doute, le génie génétique révolutionnera la médecine du 21^{ème} siècle.

Thèmes :

Xénotransplantation (les animaux comme donneurs d'organes, des porcs génétiquement modifiés pour devenir des donneurs compatibles)
Thérapie génique contre les tumeurs au cerveau grâce à un " gène-suicide "
Vaccin contre l'hépatite B

Visuels :

Organes d'animaux
Boîte de transport
Multimédia : dans la peau du virus de l'hépatite B (infectez le foie d'un individu vacciné ou non)
Echantillons de tissus d'une tumeur de cerveau

b) Les gènes, l'agriculture et l'environnement

Contenu :

Le rendement a toujours été le souci majeur de l'agriculture. Avec le génie génétique, les horticulteurs développent des plantes fertiles, adaptées aux contraintes de sols particuliers et résistant mieux aux maladies et aux ravageurs. Grâce à ces caractéristiques, il est possible de réduire les quantités d'engrais et d'insecticides, pour ménager l'environnement. Les plantes manipulées génétiquement en laboratoire doivent toutefois pousser dans leur environnement naturel et être compatibles avec celui-ci du point de vue écologique.

Thèmes :

Maïs transgénique résistant à la pyrale du maïs
Soja transgénique résistant à un large spectre d'herbicides
Les graines " Terminator " à germination programmée
Blue jeans " stone-washed " sans pierres
Propreté du linge dès 40°C grâce à certaines enzymes

Visuels :

Modèle d'une pyrale du maïs
Maïs Bt et maïs non modifié
Graines de soja et différents produits à base de soja
Blue jeans



c) Les aliments transgéniques

Contenu :

Les aliments produits génétiquement déconcertent et font peur. D'une part, parce que les consommateurs ignorent généralement les techniques mises en oeuvre. D'autre part, parce que l'expérience avec ces nouveaux produits fait défaut. C'est pourquoi l'application du génie génétique dans le secteur de l'agroalimentaire suscite précisément des discussions émotives et controversées. Comment et pourquoi manipule-t-on les gènes des aliments ? Jusqu'à présent, une conviction domine : le risque pour l'environnement et le consommateur est plus grand que les avantages potentiels.

Thèmes :

La tomate à gène inhibiteur de maturation
Des frites moins grasses
Du riz contre la cécité
Les nutraceutiques (ou alicaments), entre médicament et aliment

Visuels :

Modèle d'une tomate à gène inhibiteur de maturation



6. Les nouveaux horizons des analyses génétiques

Objectif :

Les possibilités qu'offrent les analyses génétiques, comme le diagnostic de certaines maladies, ont révolutionné la pensée scientifique. Mais comme peut le constater le visiteur, elles soulèvent aussi de nombreuses questions...

Contenu :

Actuellement, les analyses génétiques permettent de déceler les mutations responsables de maladies héréditaires telles que la chorée de Huntington, de certaines formes de cancer ou de malformations. Dans certains cas, détecter ce type de mutation ne signifie pas que la maladie se développera à coup sûr mais que le risque statistique est grand. Dès lors, certaines personnes "à risque" choisissent de ne pas faire ces analyses.



Thèmes :

La chorée de Huntington
Cancer du sein et mutation des gènes BRCA
Le nanisme

Visuels :

La puce d'ADN, une technologie d'avenir
Vidéo : " Lorsque le destin devient prévisible "
Modèle de poitrine sur lequel il faut dépister cinq tumeurs

7. Génie tissulaire : la fabrication de tissus humains

Objectif :

Dans cette dernière partie de l'exposition, le visiteur pourra juger de l'état d'avancement et des résultats de cette discipline qui regroupe la biologie cellulaire, le génie génétique et les sciences des matériaux.

Contenu :

Bientôt, un rêve se réalisera : remplacer les tissus endommagés suite à des maladies. Jusqu'à présent, les réactions de rejet représentent le problème majeur lors de l'utilisation de tissus ou d'organes. Depuis la fin des années 80, les scientifiques du génie tissulaire se penchent sur la fabrication de tissus humains à partir de cellules du patient lui-même (pour supprimer les risques de rejet). Alors qu'il est déjà possible de cultiver des tissus, il faudra encore beaucoup de temps avant de pouvoir reproduire des organes complexes.

Thèmes :

Culture de cellules de peau, avantages et applications cliniques
Tissus tridimensionnels et reconstruction d'une oreille
Articulation du doigt et valvule du cœur artificiel déjà réalisé
Cellules souches totipotentes et pluripotentes
Clonage thérapeutique
Les facteurs de croissance, des protéines qui régulent la croissance des cellules

Visuels :

Articulation de la hanche et vaisseaux artificiels, pièce métallique de stabilisation des os fracturés
Photo d'une souris portant un implant de cartilage d'oreille sur le dos
Photos de blastocystes humains
Cordons ombilicaux

Vocabulaire de base

Les termes en *italique* sont définis dans le présent document.

Acides aminés :

Ce sont les constituants élémentaires des protéines.

A.D.N. : (cf. fig)

L'*A.D.N.* (acide désoxyribonucléique) est une macromolécule (molécule géante) servant de support à l'information *génétique* de la plupart des organismes vivants, à l'exception de certains *virus*. Elle possède une structure en double hélice, ressemblant à une échelle torsadée dont chaque montant est constitué d'une suite d'éléments appelés nucléotides. Les nucléotides sont formés d'un sucre (désoxyribose), d'un phosphate et d'une des 4 bases organiques suivantes : adénine (A), thymine (T), guanine (G) et cytosine (C). Les bases de deux nucléotides en vis-à-vis sont toujours appariées selon la combinaison A-T et G-C et forment les échelons de l'échelle. A l'aide de certaines *enzymes*, l'*A.D.N.* est capable de se reproduire à l'identique (de se «répliquer»).

A.R.N. :

L'*A.R.N.* (acide ribonucléique) est une macromolécule chimiquement proche de l'*A.D.N.* mais où le désoxyribose est remplacé par le ribose, et la thymine par une autre base organique, l'uracile (U). Plusieurs types d'*A.R.N.* interviennent dans la fabrication des protéines :

- l'*A.R.N.* messenger : il fait sortir du noyau cellulaire (où se trouve l'*A.D.N.*) l'information *génétique* nécessaire aux *ribosomes* pour la synthèse des protéines,
- l'*A.R.N.* de transfert : il transporte les *acides aminés* vers les *ribosomes*,
- l'*A.R.N.* ribosomal : il est l'un des constituants du *ribosome*.

L'*A.R.N.* est également le support du patrimoine *génétique* de certains *virus* (les rétrovirus, par exemple celui du SIDA).

Biotechnologies :

C'est l'ensemble des techniques qui utilisent les propriétés biologiques des organismes vivants pour la fabrication de produits. Aujourd'hui, on tente de modifier ces mêmes organismes vivants pour augmenter leur intérêt agricole, alimentaire, pharmaceutique... Les biotechnologies vont de la vinification et de la fabrication du fromage au *génie génétique* qui intervient directement sur l'*A.D.N.*, en passant par la création de nouvelles races d'animaux par sélection et croisement.

Code génétique : (cf.fig.)

La succession des 4 bases organiques (A,T,C,G) de l'*A.D.N.* constitue un code exprimant l'ordre dans lequel les *acides aminés* doivent être accrochés les uns derrière les autres pour former une protéine.

Après transcription de l'*A.D.N.* en *A.R.N.* messenger, les bases de ce dernier sont " lues " 3 par 3 par les *ribosomes*. Il existe 64 triplets de bases (ou codons) possibles : 61 correspondent à un *acide aminé* précis et 3 sont " non-sens " et provoquent l'arrêt de la synthèse de la protéine. Comme il n'y a que 20 *acides aminés* différents, certains d'entre eux sont codés par plusieurs codons distincts.

Le *code génétique* est commun à tous les organismes vivants.

Chromosomes :

Les *chromosomes* sont des structures présentes dans le noyau cellulaire et constituées d'*A.D.N.* associé à certaines protéines (les histones). Ils sont visibles au cours de la division cellulaire, lorsque que l'*A.D.N.* se condense ; ils se disposent alors par paires de *chromosomes homologues*. Le patrimoine *génétique* humain comporte 23 paires de *chromosomes* (contre, par exemple, 33 pour le cheval, 4 pour la drosophile et 8 pour l'oignon).

Chromosomes homologues :

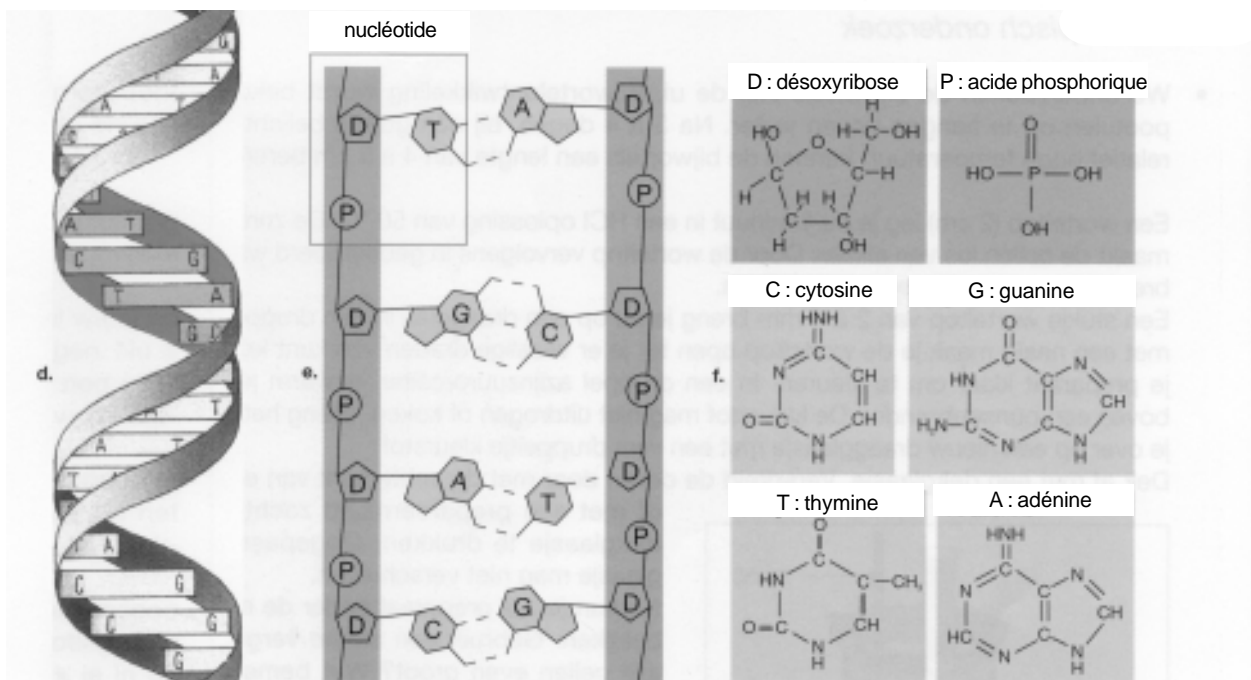
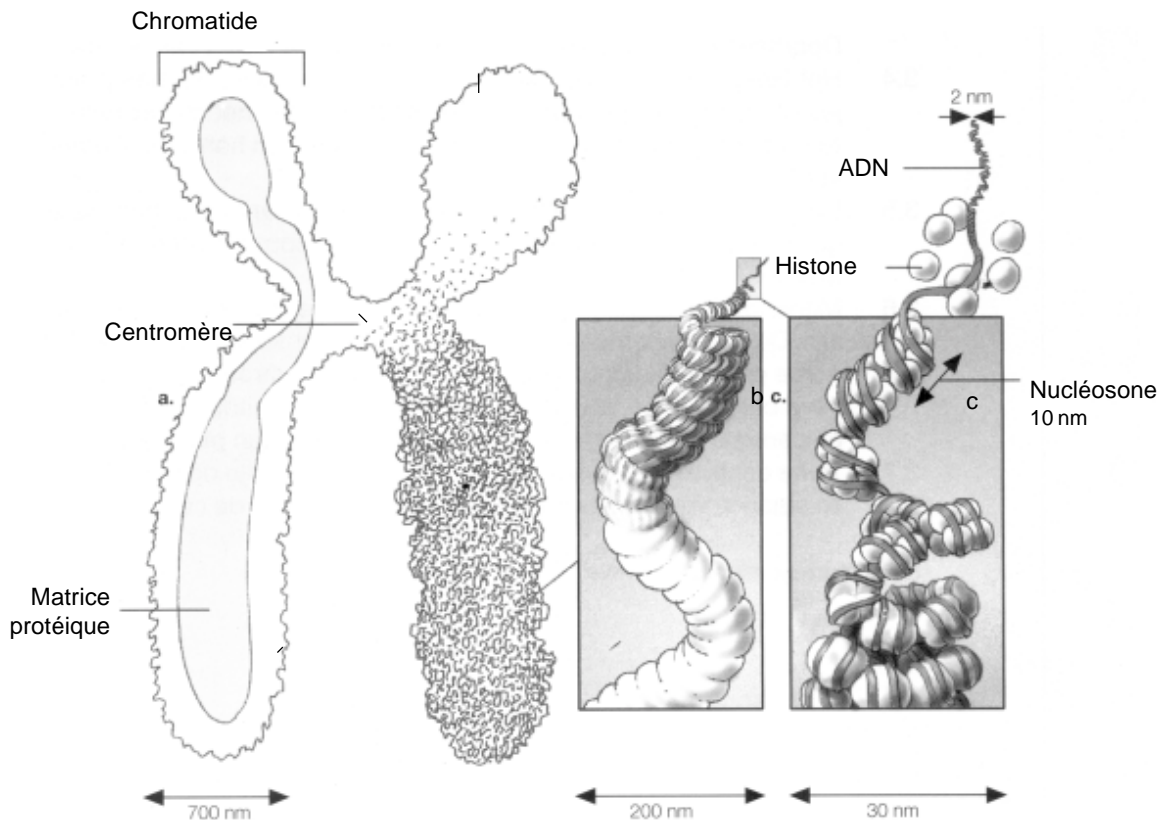
Ce sont des *chromosomes* dont les *gènes* se correspondent et se trouvent au même endroit.

Clonage :

C'est le fait de donner naissance à une copie parfaite (comprenant le même matériel *génétique*) d'un organisme ou d'une cellule. Certains organismes vivants se reproduisent naturellement par *clonage* (dans les cas de reproduction asexuée ou de multiplication végétative).

Enzyme :

C'est une protéine qui permet ou accélère une réaction biochimique.



Du chromosome à l'ADN

- Un chromosome est formé de deux chromatides réunies par le centromère.
- Chaque chromatide contient un brin de chromatine qui s'enroule autour de la matrice protéique.
- Un brin de chromatine est formé d'une molécule d'ADN et de protéines, les histones. Huit histones, autour desquels s'enroulent deux brins d'ADN, forment un nucléosome.
- La molécule d'ADN selon Watson et Crick.
- Une molécule d'ADN est formée d'un enchaînement de nucléotides. Un nucléotide comprend un acide phosphorique, un désoxyribose et une base organique azotée (adénine, thymine, cytosine ou guanine). Chaque base est liée à une autre base déterminée, toujours la même. Les associations possibles sont A-T et C-G.
- Structure chimique des bases organiques (adénine, thymine, cytosine et guanine), du désoxyribose et de l'acide phosphorique.

Espèce :

C'est un groupe d'organismes vivants pouvant se reproduire entre eux (interfécondité) et dont la descendance est fertile. L'espèce est l'entité fondamentale des classifications des organismes vivants.

Gène :

C'est un segment d'*A.D.N.* localisé en un point défini d'un *chromosome*. Seul ou avec d'autres *gènes*, il porte l'information relative à un caractère héréditaire donné comme la couleur des yeux, le groupe sanguin...

Généétique :

C'est la science qui étudie les lois de l'hérédité (la transmission des caractères *génétiques* d'une génération à l'autre). Employé comme adjectif, ce terme englobe tout ce qui est relatif aux *gènes* et à leur étude (syn. de "génique").

Génie génétique ou ingénierie génétique :

C'est l'ensemble des techniques qui permettent de travailler sur les *gènes*, de les modifier, de les caractériser, de les transférer d'un organisme à un autre, pour produire des protéines qui n'étaient pas présentes initialement dans la cellule ou l'organisme.

Génome :

C'est l'ensemble des *gènes* portés par l'*A.D.N.* d'une cellule d'une espèce donnée, l'homme par exemple.

Génotype :

C'est l'ensemble des *gènes* -qu'ils soient exprimés ou non- d'un individu particulier, son patrimoine *génétique*.

Human Genome Project (HUGO) :

Ce programme de recherche a pour but de localiser et identifier tous les *gènes* sur les *chromosomes* humains.

Méiose :

C'est la division cellulaire particulière à la formation des cellules reproductrices, au cours de laquelle le nombre de *chromosomes* est réduit de moitié.

Mitose :

C'est une division cellulaire où les cellules filles sont identiques à la cellule mère.

Mutation :

C'est toute modification du *génotype*. Une *mutation* peut concerner le nombre de *chromosomes* (par ex. les trisomies), l'organisation interne des *chromosomes* (ajout, perte, inversion de fragments...) ou la structure des *gènes*. Si elle touche une cellule reproductrice et qu'elle n'est pas mortelle, elle est transmissible à la descendance. Elle peut être provoquée soit expérimentalement (mutagenèse dirigée), soit par des agents mutagènes (comme les rayons X ou la radioactivité). Les *mutations* peuvent être la cause de cancers ou de maladies *génétiques*. Elles peuvent aussi induire l'apparition de caractères favorables, qui seront conservés lors de la *sélection naturelle* (fixation de la *mutation*).

O.G.M. :

Un organisme génétiquement modifié, ou *O.G.M.*, est "un organisme, à l'exception des êtres humains, dont le matériel *génétique* a été modifié d'une manière qui ne s'effectue pas naturellement par multiplication et/ou par recombinaison naturelle".

(définition adoptée par le Parlement Européen et le Conseil dans la directive 2001/18/CE)

Sont donc considérés comme *O.G.M.*, les organismes dont le *génotype* contient un *gène* étranger (un "transgène") introduit par manipulation directe de son *A.D.N.*

Phénotype :

C'est l'ensemble des caractères physiques d'un individu, l'expression de son *génotype* influencé par son milieu de vie (ainsi des individus qui possèdent exactement le même *génotype*, comme les vrais jumeaux, peuvent présenter des *phénotypes* différents).

Ribosome :

C'est la structure cellulaire responsable de la synthèse des protéines.

Sélection naturelle :

C'est le processus qui favorise la survie et la reproduction des individus les mieux adaptés à leur environnement et dont le *génotype* sera ainsi préférentiellement transmis aux générations suivantes.

Séquençage de l'A.D.N. :

C'est la technique qui permet de déterminer l'ordre dans lequel se succèdent les 4 bases (A, C, G, T) tout au long de l'A.D.N.

Thérapie génique :

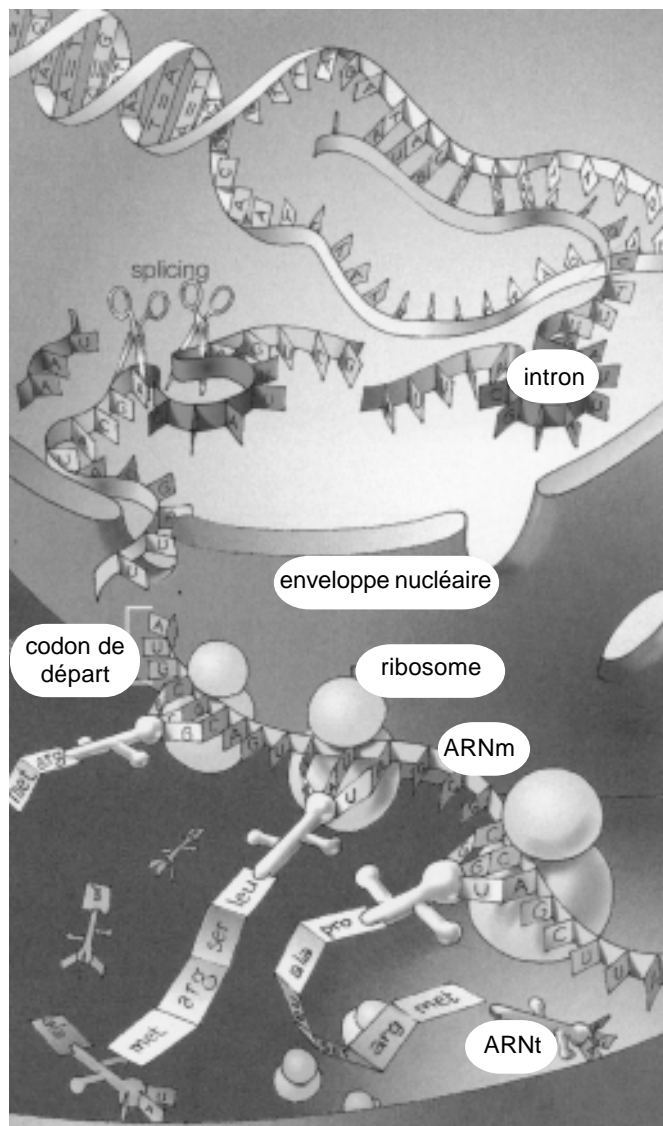
C'est une méthode thérapeutique qui consiste à intervenir directement sur les *gènes* causant certaines maladies héréditaires et cancers.

Transgénèse :

C'est le processus qui permet de créer des *O.G.M.* en introduisant un ou plusieurs *gènes* étrangers (transgènes), le plus souvent artificiels, dans le *génome* d'un organisme vivant, afin de provoquer l'apparition de caractères nouveaux (comme la résistance à un herbicide donné, par exemple).

Virus :

C'est une structure submicroscopique sans métabolisme (ensemble du fonctionnement biochimique d'un organisme) propre, qui ne peut se multiplier qu'en infectant une cellule.



Synthèse des protéines.



Les débats scolaires

Dans le cadre de l'exposition "Focus on Genes", le Muséum des Sciences naturelles organise une série de débats (3 francophones et 3 néerlandophones) à l'attention des élèves de l'enseignement secondaire supérieur.

Les thèmes abordés sont le génie génétique en général, les plantes génétiquement modifiées et les applications de la génétique en médecine.

Concrètement, après l'inscription de votre (vos) classe(s) à l'un des débats, vous recevez le dossier didactique contenant un résumé des différents modules de l'exposition, une liste commentée de sites internet, quelques références bibliographiques, de nombreuses questions à approfondir selon l'intérêt de chacun et la liste des organisations participant à notre "Café des points de vue".

Chaque débat, précédé par la visite libre de l'exposition, débute à 13h45 et se déroule en quatre temps :

- 1) projection d'un documentaire de 30 minutes max. (en fonction du thème choisi),
- 2) présentation en quelques mots (nom, profession, réalisations) de chaque intervenant - un représentant du monde scientifique universitaire et un représentant de la société (membre d'une ONG, d'une association de citoyens...) par un de nos médiateurs « maison »,
- 3) présentation, d'environ 5 minutes par intervenant, d'un sujet lié à la vidéo (pour lancer le débat),
- 4) séance de questions-réponses jusqu'à 15h.

Le billet, au prix de 3 € (120 BEF) par élève, comprend l'accès aux salles permanentes et à l'exposition, l'envoi du dossier didactique et la participation au débat. Les visites guidées ne sont pas comprises dans le prix (renseignements et réservations au 02 627 42 34 ; 150 places maximum).

Les thèmes :

A - le génie génétique en général (définitions et applications potentielles) : ADN, gène, chromosome, transgénèse, OGM, applications médicales, applications dans le secteur agro-alimentaire...

B - les plantes génétiquement modifiées (dans l'alimentation, l'agriculture et l'environnement) : fabrication des OGM, maïs et soja transgénique, risque pour la santé (allergies), aliments, fin de la faim dans le monde, impacts sur l'environnement (risques de pollution, diminution des quantités de pesticides, apparition de "super-insectes" résistants aux nouveaux pesticides)...

C - les applications de la génétique en médecine : séquençage du génome humain, médicaments et vaccins, diagnostic et traitement de maladies héréditaires et autres (thérapie génique), clonage de cellules humaines (pour la recherche, pour les greffes), éthique et dérives possibles (eugénisme)...

Le programme des débats francophones :

A - Le génie génétique en général (définitions et applications potentielles)

Michel Somville (CEFE, Comité consultatif de Bioéthique, Crie-Gen...)

Nathalie Verbruggen (ULB - fac. des Sciences, génie moléculaire des végétaux)

Auditorium du Muséum, le jeudi 22 novembre de 13h45 à 15h

B - Les plantes génétiquement modifiées (dans l'alimentation, l'agriculture et l'environnement)

Jean-François Fauconnier (Greenpeace)

Patrick du Jardin (FSAGx, OGM agriculture et consommation)

Auditorium du Muséum, le mardi 22 janvier de 13h45 à 15h

C - Les applications de la génétique en médecine

Michel Somville (CEFE, Comité consultatif de Bioéthique, Crie-Gen)

Christine Verellen (UCL, Centre de Génétique Humaine)

Auditorium du Muséum, le jeudi 7 février de 13h45 à 15h

Vous trouverez le programme des débats néerlandophones sur:

<http://www.natuurwetenschappen.be>

Quelques pistes de réflexion pour les débats scolaires "Focus on Genes"

Les feux de l'actualité se braquent rarement avec tant d'insistance sur un domaine scientifique aussi pointu que celui de la génétique.

Des progrès révolutionnaires ont-ils eu lieu ? Une découverte majeure ?

Mendel a mis en évidence les lois de transmission des caractères héréditaires simples dans les années 1850. Watson et Crick ont découvert la structure de l'ADN et ses implications sur le mode de transmission de l'information héréditaire en 1953. Le code génétique fut déchiffré en 1966 grâce à la collaboration de nombreux chercheurs (dont Nirenberg). Depuis, on explore le nouvel univers ainsi mis à portée de recherche et surtout, on multiplie et perfectionne des outils d'investigation qui ont permis d'aboutir au séquençage du génome humain annoncé en juin 2000.

Alors ?

Reste l'entrée quasi simultanée de la génétique à Wall Street et dans nos vies quotidiennes. A peine sorties des laboratoires, certaines techniques d'ingénierie génétique sont appliquées à grande échelle et leurs résultats se retrouvent dans nos pharmacies, nos champs, nos assiettes et nos SICAV !

Cette arrivée assez brutale a été accompagnée, en Europe du moins, d'une polémique parfois violente, qu'il n'est pas aisé de suivre tant s'y interpellent aspects scientifiques, économiques, éthiques, environnementaux et politiques.

Pour permettre aux étudiants de profiter pleinement des débats scolaires et d'y participer activement, voici donc quelques pistes de réflexion.

« Le génie génétique, c'est quoi et à quoi ça sert ? »

Quelles sont les différentes techniques utilisées en génie génétique ? Pourquoi parle-t-on tantôt de génie génétique, tantôt de biotechnologie ? Que sont un O.G.M., un clone, un transgène, un A.D.N. recombinant... ?

Le génie génétique est évoqué dans de nombreux domaines différents. Quelles sont ses applications actuelles, ses applications potentielles... et celles qui relèvent de la science-fiction ? Quelles en sont les implications et conséquences possibles ?

EN AGRICULTURE :

Ce qui existe sur le marché :

- des plantes résistant à certains insectes ravageurs (comme le maïs résistant à la chenille de la pyrale du maïs), d'autres tolérant certains herbicides ; une dizaine d'entre elles sont cultivées à grande échelle depuis plusieurs années (notamment aux USA, en Argentine et au Canada);
- des fruits et légumes modifiés génétiquement afin d'en améliorer le goût, l'apport vitaminique (comme le Golden Rice), la durée de conservation... ; une tomate à processus de maturation ralenti a ainsi été mise sur le marché aux USA et en Grande-Bretagne mais fut un véritable flop.

Ce qui est / pourrait être développé en laboratoire :

- la création de plantes tolérant certains facteurs environnementaux tels la sécheresse, le froid, la chaleur, la pauvreté du sol... ; cela permettrait d'étendre les zones de culture à des régions au climat moins favorable ou de diminuer les pertes dues à ces facteurs environnementaux (certains y voient un moyen de combattre la faim dans le monde);
- la création d'animaux transgéniques, comme le saumon à croissance rapide, non commercialisé jusqu'à présent ; cela permet d'obtenir des animaux adultes plus rapidement et donc commercialisables plus rapidement;
- le clonage comme mode de reproduction pour les lignées animales les plus avantageuses, génétiquement modifiées ou non.

EN MEDECINE :

Ce qui existe sur le marché :

- des médicaments et vaccins produits par des organismes génétiquement modifiés (ex. l'insuline utilisée dans le traitement du diabète ou le vaccin contre l'hépatite B) ; cette technique permet une simplification des modes de production et constitue souvent une garantie de meilleure qualité du produit final;
- le diagnostic génétique, ou test ADN, qui consiste en l'établissement de cartes génétiques et est déjà abondamment utilisé en criminologie et dans les cas de recherche de paternité ; il sert également à dépister précocement des malformations graves chez l'embryon humain et des prédispositions à certaines maladies chez l'adulte.

Ce qui est / pourrait être développé en laboratoire :

- la thérapie génique qui pourrait permettre la « réparation » directe d'anomalies génétiques responsables de maladies comme les tumeurs du cerveau et la mucoviscidose ; si la voie mérite des recherches soutenues, elle ne sera probablement pas la panacée, surtout dans le cas des maladies causées par des altérations polygéniques, c-à-d. portant sur plusieurs gènes;
- la production d'organes par des animaux « humanisés » d'un point de vue immunitaire afin d'être greffables sur l'homme ; cela soulève des questions de sécurité (transfert d'épizooties à l'homme) et d'éthique.

L'ensemble des applications du génie génétique soulève de nombreuses questions :

- La création d'un OGM suppose de gros investissements financiers qui devront être récupérés. Dès lors, les pays où l'approvisionnement alimentaire est un problème pourront-ils se payer cette technologie ? Cela ne risque-t-il pas d'aggraver leur endettement vis-à-vis des pays industrialisés ?
- La dissémination d'OGM (animaux comme végétaux) dans la nature pourrait entraîner, par croisement, une pollution génétique de variétés proches et rendre, par exemple, des « mauvaises herbes » résistantes aux herbicides (comme la moutarde sauvage qui peut se croiser avec le colza).
- Au niveau de la traçabilité, il est actuellement difficile de garantir des filières sans OGM (notamment à cause de mélanges des récoltes lors du transport).
- Cultiver des plantes génétiquement modifiées pour résister à certains ravageurs et herbicides entraînerait une diminution de la quantité d'herbicides et de pesticides répandus sur ces cultures. Mais il n'est pas impossible que, par sélection naturelle, se développent des insectes et des mauvaises herbes qui puissent y résister.
- En introduisant un ou plusieurs gènes étrangers dans un organisme, on augmente les risques de rendre cet organisme allergisant (par transfert d'un allergène) pour certains consommateurs.
- La technique de création d'un OGM implique l'introduction dans le génotype du receveur d'un gène « marqueur » qui sera le témoin du succès de la transgénèse. Souvent, c'est un gène de résistance à un antibiotique qui est utilisé. Répandre dans l'environnement de pareils gènes pourrait poser problème quand on sait que la résistance de souches bactériennes pathogènes aux antibiotiques est déjà un grave problème sanitaire.
- Les organismes vivants ont par définition la faculté de se reproduire... La libération d'O.G.M. dans l'environnement peut être considérée dès lors comme irréversible. Argument en faveur du principe de précaution.
- Certaines formes de thérapie génique soulèvent des questions éthiques : en soignant quelqu'un ET sa descendance, on pratique une certaine forme d'eugénisme (« amélioration » génétique de l'espèce humaine). C'est pourquoi certains pays comme la Belgique et la Suisse se sont dotés d'une législation interdisant la thérapie génique intervenant sur les cellules germinales de l'homme.
- Il faut s'assurer qu'un diagnostic génétique ne puisse se retourner contre la personne concernée, soit parce que son employeur ou sa compagnie d'assurance aurait pu en prendre connaissance, soit, dans le cas d'un embryon, parce que les parents n'auraient pas voulu d'un enfant avec telle

couleur d'yeux, telles tendances à la violence... (dérives eugéniques).

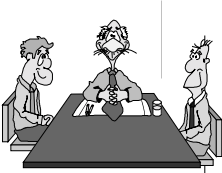
LES BREVETS SUR LE VIVANT :

La mise au point d'organismes transgéniques à des fins industrielles suppose un investissement financier très important. C'est pour protéger cet investissement que des réglementations - pas toujours semblables d'un pays à l'autre ! - ont été établies pour permettre une certaine forme de BREVET sur le vivant. En théorie, on ne peut breveter qu'une invention, pas une découverte, mais les textes de droit en la matière sont ambigus.

Leur interprétation abusive fait craindre que ne soient passés des brevets qui empêchent le libre accès à la connaissance et la libre pratique de recherches d'intérêt général sur certains matériels brevetés : le cas récent des brevets obtenus par la société Myriad genetics sur les tests de dépistage du cancer du sein semble confirmer ces craintes.

Enfin, on voit actuellement des laboratoires de pays industrialisés déposer des brevets sur des plantes ou des molécules contenues dans des plantes traditionnellement cultivées dans les pays en voie de développement. Ils s'approprient ainsi, sans aucune forme de rétribution, des siècles de sélections et de recherches empiriques effectuées par les populations rurales... qui, si l'injustice était poussée à son comble, pourraient dans le futur avoir à payer pour utiliser ces plantes ou produits qu'elles ont elles-mêmes sélectionnés.





Liste des organisations participant au “ Café des points de vue ”

Coordination Paysanne Européenne (CPE) (fr/nl/en/d/sp...)

Thèmes : action anti-OGM, impacts des OGM sur le Tiers-Monde

☒ : 18 rue de la Sablonnière, 1000 Bruxelles

tel : 02 217.31.12 fax : 02 218.45.09 e-mail : cpe@cpefarmers.org

<http://www.cpefarmers.org/> (en/fr/sp)

Comité consultatif de Bioéthique de Belgique / Raadgevend Comité voor bio-ethiek van België (fr/nl)

Thèmes : clonage humain, diagnostique prénatal et choix du sexe, protection juridique des inventions biotechnologiques (+ revue “ Bioethica Belgica ”)

☒ : C.A.E. Bâtiment Vésale – bureau 416, bvd Pachéco 19 bte 5, 1010 Bruxelles

tel : 02 210.42.34 fax : 02 210.42.27

<http://www.health.fgov.be/bioeth/> (fr/nl)

Test-Achats / Test-Aankoop (fr/nl)

Thèmes : OGM, thérapie génique

☒ : 13 rue de Hollande, 1060 Bruxelles

tel : 02 542.32.11 fax : 02 542.32.50 e-mail : pressta@eunet.be

http://www.test-achats.be/index_FR.html (fr)

http://www.test-aankoop.be/index_nl.html (nl)

Greenpeace (fr/nl)

Thèmes : génie génétique

☒ : Greenpeace Belgium, 317 rue du Progès, 1030 Bruxelles

tel : 02 274.02.00 fax : 02 201.19.50

http://www.greenpeace.be/index_main.php3?taal=f&vx=3&href=actie.php3&z=topic&p=5
(fr)

<http://www.greenpeace.be/>

[index_main.php3?taal=n&vx=3&href=actie.php3&z=topic&p=5](http://www.greenpeace.be/index_main.php3?taal=n&vx=3&href=actie.php3&z=topic&p=5) (nl)

Oxfam – Solidarité / Solidariteit (fr/nl)

Thèmes : impacts des OGM sur le Tiers-Monde, développement durable

☒ : 60 rue des Quatre Vents, 1080 Molenbeek

tel : 02 501.67.00 fax : 02 511.89.19 e-mail : oxfamsol@oxfamsol.be

<http://www.oxfamsol.be/> (fr/nl/es/en)

Réseau de Consommateurs Responsables (RCR) (fr)

Thèmes : campagne (anti-)OGM pour une consommation responsable

☒ : 70-72 rue du Commerce, 1040 Bruxelles

tel : 02 545.90.75 fax : 02 545.90.76 e-mail : info@rcr.be

<http://www.rcr.be> (fr)

Vlaams Interuniversitair Instituut voor Biotechnologie (VIB) (nl)

Thèmes : biotechnologie (a édité un dossier pédagogique “ Biotechnologie ” en collaboration avec le FEVIA, le CRIOC/OIVO et AGRINFO)

☒ : Rijnvisschestraat 120, 9052 Zwijnaarde (Gent)

tel : 09 244.66.11 fax : 09 244.66.10

<http://www.vib.be> (nl/en)

Belgian Bioindustries Association (BBA) (en)

Thèmes : biotechnologie (dossier “ Biotech in Belgium. Innovation and Growth ”)

✉ : 490 av Louise – bte 9, 1050 Bruxelles
tel : 02 646.05.64 fax : 02 640.37.59 e-mail : secretariat@bba-bio.be
<http://www.bba-bio.be/pages/reports.htm> (en)

Comité belge de la distribution / Belgisch Comité voor de Distributie (CBD-BCD) (fr/nl)

✉ : 34 rue Marianne, 1180 Bruxelles
tel : 02 345.99.23 fax : 02 346.02.04 e-mail : info@cbd-bcd.be
<http://www.cbd-bcd.be/> (fr/nl)

Conseil fédéral du Développement Durable / Federale Raad voor Duurzame Ontwikkeling (CFDD / FRDO) (fr/nl)

✉ : 71-75 rue des Aduatiques, 1040 Bruxelles
tel : 02 743.31.50 (secrétariat) fax : 02 743.41.55 ou 59 e-mail : mail@frdo-cfdd.fgov.be
<http://www.cfdd.be/> (fr) ou <http://www.frdo.be/> (nl)

Association belge contre la mucoviscidose / Belgische vereniging voor strijd tegen mucoviscidose (fr/nl)

✉ : 12 av Joseph Borlé, 1160 Bruxelles
tel : 02 675.57.69 fax : 02 675.58.99 e-mail : info@muco.be
<http://www.muco.be/> (fr/nl)

Association Belge du Diabète (ABD) (fr)

✉ : 935 chssée de Waterloo, 1180 Bruxelles
tel : 02 374.31.95 fax : 02 374.81.74 e-mail : abd.diabete@swing.be
+ Vlaamse Diabetes Vereniging (VDV) (nl)
✉ : Diabetshuis, Ottergemsesteenweg 456, 9000 Gent
tel : 09 220.05.20 fax : 09 221.00.82 e-mail : vdv@diabetes-vdv.be
<http://www.diabetes-vdv.be/> (nl)

La Ligue Alzheimer ASBL (fr)

✉ : Clinique Le Perî, 4B rue Montagne Ste Walburge, 4000 Liège
tel : 04 225.87.93 e-mail : henry.sabine@skynet.be
<http://www.alzheimer.be/> (fr)

Nature et progrès Belgique (fr)

Thèmes : association de consommateurs, agriculture bio

✉ : 520 rue de Dave, 5100 Jambes
tel : 081 30.36.90 fax : 081 31.03.06 e-mail : natpro@skynet.be
<http://www.natpro.be/> (fr)

CRIOC / OIVO (fr/nl)

Centre de Recherche de d'Information des Organisations de Consommateurs

Thèmes : association de consommateurs (enquêtes et information)

✉ : 18 rue des Chevaliers, 1050 Bruxelles
tel : 02 547.06.11 fax : 02 547.06.01 e-mail : crioc-oivo@oivo-cioc.org
<http://www.oivo-crioc.org> (fr/nl)

Federatie Voedingsindustrie / Fédération de l'Industrie Alimentaire (FEVIA) (fr/nl)

Thèmes : l'industrie alimentaire belge

✉ : 172 av Kortenberg, 1000 Bruxelles
tel : 02 743.08.00 fax : 02 733.94.26 e-mail : info@FEVIA.be
<http://www.fevia.be> (fr/nl)

Centre d'Etudes et de Formation en Ecologie (CEFE) (fr)

✉ : 28 rue Basse-Marcelle, 5000 Namur

tel : 081 22.58.48 fax : 081 23.18.47

<http://www.ecolo.be/CEFE/> (fr)

Fédération des Industries Chimiques de Belgique / Federatie van de Chemische Industrie van België (FEDICHEM) (fr/nl)

✉ : 49 Square Marie-Louise, 1000 Bruxelles

tel : 02 238.97.11 fax : 02 231.13.01 e-mail : info@fedichem.be

<http://www.fedichem.be/> (fr/nl/en)

+ BelgoBiotech (section professionnelle de Fedichem)

✉ : 49 Square Marie-Louise, 1000 Bruxelles

tel : 02 238.98.47 fax : 02 231.13.01 e-mail : belgobiotech@fedichem.be

AGRINFO (fr/nl)

Fondation fédérale de relations publiques pour l'agriculture

✉ : WTC 3, 17^e étage, 30 av Simon Bolivar, 1000 Bruxelles

tel : 02 208.45.16 fax : 02 208.45.40

<http://www.agrinfo.be/> (fr/nl)

Milieu, Education, Nature et Société (MENS) (fr/nl)

Magazine trimestriel, dont 4 numéros traitent de la génétique

✉ : RUCA, Groenenborgerlaan, 171, 2020 Antwerpen

tel : 03 218.04.21 fax : 03 218.04.17



Internet

Quelques sites web pour en savoir plus...

Sur les différents aspects de la génétique :

Site de l'European Initiative for Biotechnology Education :

<http://www.rdg.ac.uk/EIBE/> (anglais, français, néerlandais, allemand, italien)
(fournit un support pédagogique à l'enseignement des biotechnologies pour les 16-19 ans afin de promouvoir le débat sur ces biotechnologies)

Site de l'Exploratorium sur les mutations de drosophiles (avec illustrations) :

http://www.exploratorium.edu/exhibits/mutant_flies/mutant_flies.html (anglais)

Site de Bioplek (biologiesite voor het voortgezet onderwijs) sur la génétique :

http://www.xs4all.nl/~scholmar/4ath_stw3.blad%201.erf.html (néerlandais)
(explications avec animations)

Le dossier " Genetische manipulatie " du NRC Handelsblad :

<http://www.nrc.nl/W2/Lab/GM/271199.html> (néerlandais)
(GM-voedsel, gentherapie, biotech-industrie...)

Sur le génome humain :

Le dossier sur le gène et le génome sur le site de " Sciences en ligne " :

http://www.sciences-en-ligne.com/gene_genome/accueil.htm (français)
(modules animés pour comprendre le génome et la génétique, sélection d'ouvrages, infos scientifiques et techniques, lexique...)

Site de WebEncyclo :

<http://www.webencyclo.com/dossiers/dossiers.asp> (français)
(choisir " L'ADN à tout faire " (mai 2000) dans les " dossiers précédents ")

Les articles de Science Actualités (journal de la Cité des Sciences et de l'Industrie) :

<http://www.cite-sciences.fr/actu/index.html> (français)
(articles sur le génome, les cellules souches, le diagnostic pré-implantatoire... dans la rubrique " A la une ")

Le dossier sur le clonage humain de Info Science :

http://www.circe.fr/dossier/clonage/clonage_som.html (français)

Le dossier " DNA " du NRC Handelsblad :

<http://www.nrc.nl/W2/Lab/DNA/inhoud.html> (néerlandais)
(humane genom, klonen, chromosomen...)

Le dossier " Genetische manipulatie " du NRC Handelsblad :

<http://www.nrc.nl/W2/Lab/GM/271199.html> (néerlandais)
(gentherapie, biotech-industrie...)

Site de l'émission " Noorderlicht " de la VPRO :

<http://noorderlicht.vpro.nl/index.html> (néerlandais)
(faire une recherche avec les termes genetisch, gentherapie...)

Sur les OGM :

Site de l'Union européenne reprenant l'article " OGM – une menace pour la biodiversité ? " du Dr David Barling (Centre for Food Policy, Thames Valley University, UK) :

http://europa.eu.int/comm/dgs/health_consumer/library/pub/cv/cv994/cv994-02_fr.html (français, aussi en anglais et allemand)

Le dossier OGM du journal Libération :

<http://www.liberation.fr/ogm/> (français)
(nombreux articles et liens)

Site de WebEncyclo :

<http://www.webencyclo.com/dossiers/dossiers.asp> (français)
(choisir " Faut-il avoir peur des OGM ? " (mai 2000) dans les " dossiers précédents ")

Les articles du journal Science Actualités (de la Cité des Sciences et de l'Industrie) :

<http://www.cite-sciences.fr/actu/index.html> (français)
(cliquer dans le sommaire sur " Agro-alimentaire " puis " Dossier " pour accéder au dossier «Sûreté alimentaire - Le feuilleton des OGM»)

Site de " OGM et consommateurs " :

<http://ww2.creaweb.fr/bv/ogm/> (français)
(enjeux, risques, réglementation...)

Site de l'association " Inf'OGM " :

<http://www.infogm.org/> (français)
(publication d'un bulletin d'information que l'on peut recevoir par e-mail ou consulter sur le site, nombreuses références d'articles)

Dossier OGM de la Stichting Leefmilieu :

<http://www.stichtingleefmilieu.be/middenkrant/MKRfull/gmo.htm> (néerlandais)

Le dossier " Genetische manipulatie " du NRC Handelsblad :

<http://www.nrc.nl/W2/Lab/GM/271199.html> (néerlandais)
(GM-voedsel, biotech-industrie...)

Consultez également notre site web (<http://www.sciencesnaturelles.be>) pour encore plus d'adresses.



Petite bibliographie - Focus on Genes

HOUEBINE L. M., 2000. **OGM. Le vrai et le faux**. Ed. Le Pommier
GUÉRIN - MARCHAND C. ET REYRAUD C., 2000 - **Faut-il avoir peur des OGM ?** Coll. Phare (n°14). Hachette.
SÉRALINI G.E., 2000 **OGM, le vrai débat**. Coll. Dominos (n°215). Flammarion.
GLORION C., 2000 - **La course folle. Les généticiens parlent**. Les arènes (<http://www.arenas.fr>)
HOUEBINE L. M., 1996 **Le génie génétique de l'animal à l'homme ?** Coll. Dominos (n°102). Flammarion.
AUFFRAY C., 1996 **Le génome humain**. Coll. Dominos (n°114). Flammarion.
RÉVÉLANT O., 2001 **La médecine de demain : le gène apprivoisé**. Coll. Les essentiels. Milan
COLIN I. ET LE CENTRE DE VULGARISATION DE LA CONNAISSANCE, 1999 **Le génie génétique**. Coll. Les essentiels. Milan.

Consultez également notre site web (<http://www.sciencesnaturelles.be>) pour d'autres références bibliographiques.