



La génie génétique

Notions de base, applications, discussion

Préface

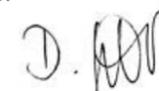
Avez-vous été malade ces derniers temps et avez-vous dû prendre des médicaments? Portez-vous des vêtements en coton? Etes-vous parti(e) récemment en voyage, par exemple en Amérique du Nord? Mangez-vous des produits à base de maïs ou de soja? Alors, vous avez probablement été en contact direct avec le génie génétique. Nous avons en effet constamment affaire à des produits et des applications du génie génétique dans notre vie de tous les jours. Le génie génétique est entré de multiples façons dans notre vie quotidienne – et pourtant, nombre d’entre nous ne savent pas véritablement de quoi il s’agit. Le génie génétique s’est imposé comme un instrument de recherche incontournable au cours des quarante dernières années. Grâce à un travail intensif, les chercheurs sont parvenus à décrypter le génome humain. Ils s’efforcent maintenant de comprendre les interactions des gènes au sein de nos cellules. Dès lors, des questions fascinantes se posent: comment les gènes commandent-ils le développement d’un être vivant? Comment des processus défectueux aboutissent-ils à des maladies et comment est-il possible de les prévenir? L’analyse de ces interactions complexes s’effectue aujourd’hui par la mise en réseau de nombreuses disciplines: biologie, médecine, physique, chimie, mathématiques et informatique. Les développements survenus dans la recherche et les applications nouvelles qui en résultent amènent à se poser des questions éthiques et juridiques. Il appartient conjointement à la société et au législateur d’examiner les possibilités du génie génétique et de répondre aux questions en suspens. Consciente du fait qu’il est possible de prévenir par des lois efficaces les abus en la matière, la Suisse mène dans ce domaine une recherche de pointe et introduit des méthodes de génie génétique tant en médecine que dans la production de biens de consommation courante.

Quant à la présente brochure, elle a connu une évolution parallèle à celle du génie génétique et au débat qu’il suscite. Cette sixième édition numérique de la brochure sur le génie génétique contient un nouveau chapitre sur les traitements actuellement les plus prometteurs dans le domaine du cancer, à savoir les immunothérapies contre le cancer. Vous obtiendrez un aperçu sur l’immunothérapie active et passive contre le cancer, laquelle comprend également une combinaison de thérapie cellulaire, génique et immunitaire : la thérapie CAR-T. En outre, le chapitre sur la thérapie génique a été mis à jour. Des passages traitant de l’éthique et de la sécurité incitent à la réflexion et à la discussion. L’objectif de cette brochure reste inchangé: expliquer le génie génétique afin que lectrices et lecteurs puissent se faire par eux-mêmes une idée de ses applications et des arguments qu’il suscite, de ses possibilités et de ses limites.

Découvrez par vous-même ce qu’est le génie génétique. Nous vous souhaitons une agréable lecture.



Prof. Dr. Lukas Sommer, Präsident



Dr. Daniela Suler, Geschäftsführerin

Table des matières

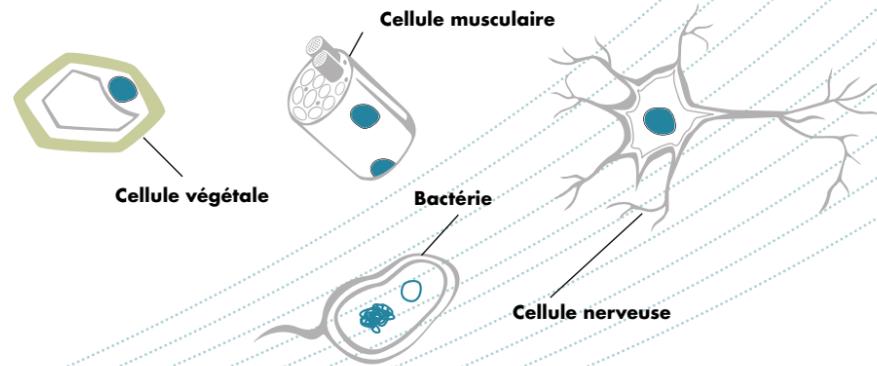
Notions de base	2
I Recherche	4
1.0 Comment fonctionne le génie génétique	6
1.0.1 CRISPR/Cas – une méthode génétique révolutionnaire	8
1.1 Génomique	10
1.2 Transcriptomique	12
1.3 Protéomique	14
1.4 Recherche sur les cellules souches	14
1.5 Animaux transgéniques	16
1.6 Nanobiotechnologie	17
II Médecine	18
2.0 Médicaments	20
2.1 Recherche chez l’être humain	21
2.2 Thérapie génique	22
2.3 Vaccins et anticorps	24
2.4 Méthodes de dépistage	25
2.5 Immunologie des tumeurs	26
2.6 Hérité	28
2.7 Tests génétiques	29
2.8 Médecine reproductive	30
2.9 Médecine légale	31
III Agriculture et alimentation	32
3.0 Obtentions végétales	34
3.1 Du laboratoire au plein champ	35
3.2 Situation mondiale	36
3.3 Denrées alimentaires	38
3.4 Un produit génétiquement modifié pour la Suisse	39
3.5 Autorisation, déclaration, valeurs seuils	40
3.6 De nouveaux produits à l’horizon	41
IV Biotechnologie blanche et protection de l’environnement	42
4.0 Biocatalyse	43
4.1 Biosynthèse	44
4.2 Bio-indicateurs	44
4.3 Assainissement biologique	45
4.4 Biocarburants	45
V Législation	46
5.0 La Constitution fédérale suisse	47
5.1 Accords internationaux	47
5.2 Cadre juridique dans le domaine humain	48
5.3 Lois dans le domaine non humain	49
VI Glossaire	50

Notions de base



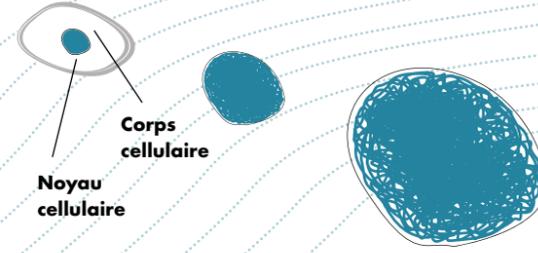
Tout être vivant est composé de cellules

Bactérie, tournesol, chat ou être humain – tous les êtres vivants sont constitués de cellules. Les unicellulaires – les bactéries, par exemple – sont formés d'une seule cellule. En revanche, les plantes, les animaux et les êtres humains sont pluricellulaires. Le corps humain est constitué d'organes, tels que le cœur et le foie. Et les organes se composent eux-mêmes de tissus qui se composent à leur tour de cellules. En dehors de leur teneur en eau, les cellules sont constituées pour l'essentiel de protéines. Il existe de très nombreuses formes de protéines, lesquelles remplissent – tant dans les cellules que dans l'organisme entier – de nombreuses fonctions vitales.



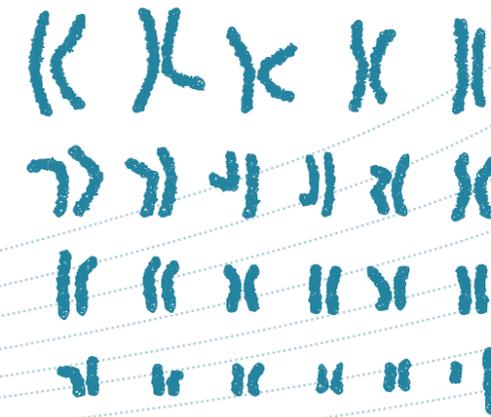
1. Les gènes se situent dans le noyau cellulaire

Une cellule individuelle est trop petite pour que l'on puisse la voir à l'œil nu. On ne peut l'observer qu'au microscope. Son aspect varie en outre selon la fonction qu'elle remplit. Une cellule nerveuse, dont la fonction spécifique est de recevoir et de transmettre des signaux, est fortement ramifiée. Une cellule musculaire, en revanche, est allongée et a la faculté de se rétracter. Toutes les cellules des êtres pluricellulaires ont toutefois une chose en commun : elles possèdent un noyau cellulaire au sein duquel se trouvent les gènes – et ce à la différence des bactéries, qui n'ont pas de noyau cellulaire et dont les gènes forment une pelote au sein du corps cellulaire.



2. Les chromosomes se composent d'ADN

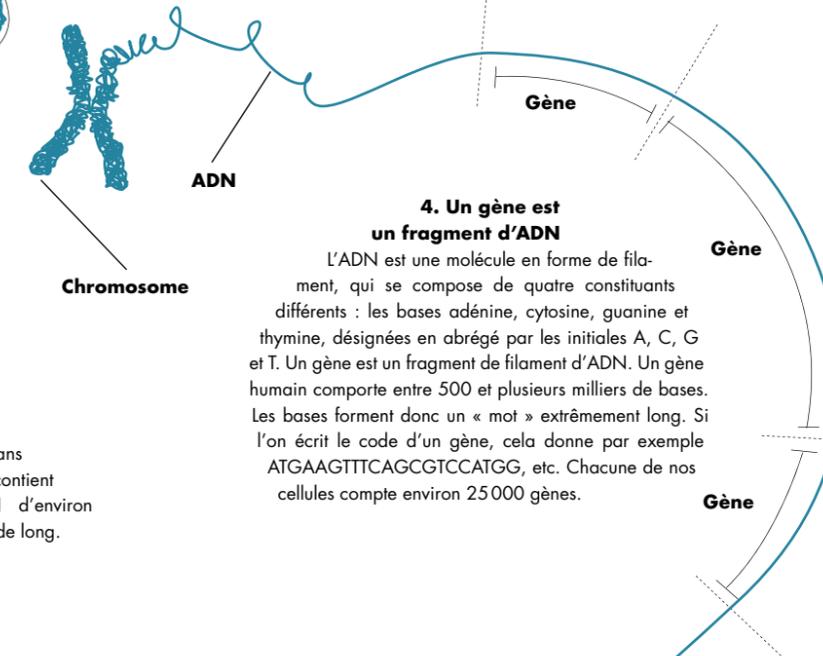
Le noyau cellulaire contient le matériel génétique. Curieusement, le matériel génétique se compose chez tous les êtres vivants de la même substance, l'ADN, abréviation d'« acide désoxyribonucléique ». On rencontre également l'abréviation anglaise DNA. Le minuscule noyau cellulaire présent dans chaque cellule humaine contient un filament d'ADN d'environ deux mètres de long.



Génome humain

3. L'ensemble des chromosomes constitue le génome

Pour des raisons de place, l'ADN est fortement enchevêtré. Avant qu'une cellule se divise, la pelote se démêle. Il en résulte des entités en forme de X, appelées chromosomes. Tous les êtres vivants ne possèdent pas le même nombre de chromosomes dans leur noyau cellulaire. Un être humain possède 46 chromosomes dans chaque cellule, un chat 38 et un chou-fleur 18.

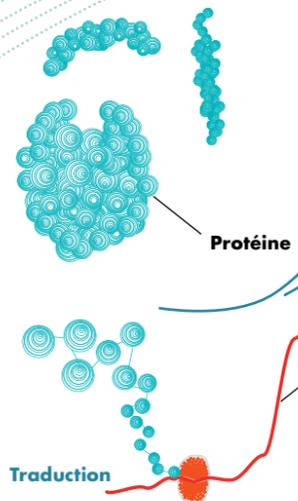


4. Un gène est un fragment d'ADN

L'ADN est une molécule en forme de filament, qui se compose de quatre constituants différents : les bases adénine, cytosine, guanine et thymine, désignées en abrégé par les initiales A, C, G et T. Un gène est un fragment de filament d'ADN. Un gène humain comporte entre 500 et plusieurs milliers de bases. Les bases forment donc un « mot » extrêmement long. Si l'on écrit le code d'un gène, cela donne par exemple ATGAAGTTTCAGCGTCCATGG, etc. Chacune de nos cellules compte environ 25 000 gènes.

7. Synthèse des protéines à la demande

Les gènes sont copiés dans chaque cellule à la demande et commandent la production des protéines dont la cellule a besoin pour croître et remplir ses fonctions dans l'organisme. Chaque cellule comporte l'ensemble du génome. Dans une cellule de la peau, d'autres gènes sont copiés que ceux qui sont copiés dans une cellule de l'intestin. Les cellules nerveuses, par exemple, copient un gène synthétisant une protéine qui est envoyée comme molécule de signalisation à partir de la cellule. Et, dans les cellules musculaires – conformément au plan de construction génétique – sont synthétisées des protéines motrices, permettant aux cellules de rester en mouvement.



6. Du gène à la protéine

Les cellules possèdent la faculté de transcrire des gènes en une substance proche de l'ADN, appelée ARN. Ce processus porte le nom de « transcription » et se produit au sein du noyau cellulaire. Les copies de gènes transcrites à partir de l'ARN migrent du noyau cellulaire dans le corps cellulaire. La plupart des molécules d'ARN y remplissent une fonction de plan directeur pour la construction des protéines. Ce processus porte le nom de « traduction ».

5. L'ADN est à « double brin »

On peut se représenter l'ADN comme une longue échelle enroulée en spirale. Les échelons se composent de paires de bases. A et T se combinent toujours, ils peuvent s'accrocher l'un à l'autre et constituer un échelon, tout comme G et C. Cet appariement des bases est fondamental. D'une part, pour la cohésion des deux brins d'ADN, d'autre part, pour la copie de l'ADN – première étape dans le processus de la synthèse des protéines.

I Recherche



Aiguillonnée par la curiosité humaine, la recherche fondamentale entend comprendre comment fonctionnent les êtres vivants et la nature. Il s'agit d'élaborer des théories scientifiques, de les passer au crible de l'expérimentation et d'en débattre au sein de la communauté scientifique. Ce que cela signifie en matière de génie génétique, neuf élèves l'ont vécu dans la pratique. Ils ont visité des laboratoires de recherche à l'université et ont discuté avec des chercheuses et des chercheurs.

Au laboratoire, les recherches portent principalement sur des données de base. L'un des chercheurs l'explique plus précisément : « Ici, nous analysons des protéines qui jouent un rôle dans la coagulation sanguine. » Une écolière frissonne lorsqu'il ouvre la porte de l'incubateur – elle ne supporte pas la vue du sang. Le chercheur en retire des récipients plats qui contiennent une gelée claire. Lorsqu'il ouvre les couvercles, on distingue des points sur la gelée. « Est-ce que ce sont les protéines ? », lance Marcel à la cantonade. « Pas directement. Les protéines sont trop petites pour que l'on puisse les voir à l'œil nu. Les points correspondent à des cellules de levure. Nous avons incorporé des gènes des protéines de la coagulation sanguine dans ces cellules. » Bien entendu, souligne le biologiste, la levure ne possède pas de circulation sanguine. Mais il est fascinant de voir comme ces simples êtres unicellulaires lisent bien les nouveaux gènes et fabriquent les protéines. « Les cellules de levure sont tout simplement formidables », s'enthousiasme le scientifique, « grâce à ces petits auxiliaires, je peux découvrir de nombreux détails. Cela permet de mieux comprendre les maladies cardiovasculaires. »

« Venez tous ici. Je vais vous montrer quelque chose d'extraordinaire ! », annonce une chercheuse à la porte. Elle conduit les élèves dans un autre service : « Voici notre petit zoo. En ce moment, nous n'avons que des souris, et la plupart sont encore K.O. » « Comment cela se fait-il ? Est-ce que vous envoyez les animaux sur un ring ? », demande l'un des élèves en pouffant. « Non, bien sûr que non ! », réplique la chercheuse, « les souris knock-out sont des animaux chez lesquels on a inactivé un gène. Si ce gène fait défaut, la protéine correspondante ne peut plus être synthétisée. Si, par exemple, le pelage d'un animal n'est soudainement plus brun, on sait que le gène inactivé est responsable de la couleur du pelage. » La chercheuse place un récipient sous le microscope. Au grossissement, on voit alors de minuscules sphères cellulaires. « Ce sont de jeunes embryons de souris », explique la biologiste, tout en maintenant précautionneusement l'un des embryons. A l'aide d'une fine canule, elle approche une cellule. Les adolescents retiennent leur souffle. « Maintenant, nous introduisons la cellule dans l'embryon », commente-t-elle. « Dans la cellule, le gène d'une certaine protéine est <K.O.>, autrement dit inactivé. »

Un laborantin apporte une souris. L'animal a reçu un anesthésique et dort. La chercheuse le place avec précaution sur la

table. « La table de travail est chaude pour que le petit corps ne se refroidisse pas », explique-t-elle en faisant une incision dans le pelage de la souris. La souris doit devenir la mère des bébés souris qui viennent d'être génétiquement modifiés. Peu de temps après, les embryons ont été transférés dans l'utérus. « La souris est maintenant gravide », explique-t-elle. « Certains des petits auront intégré le gène modifié de telle sorte que la protéine que nous analysons ne sera pas formée. C'est ainsi que l'on peut étudier chez l'animal la cause et le traitement de maladies. » Les adolescents tendent le cou, regardant et opinent de la tête. Certains sont fascinés, d'autres quelque peu sceptiques.

L'après-midi, les élèves visitent une serre remplie de plants de tomates. « Si vous examinez attentivement les tomates, vous voyez qu'elles ont des parties abîmées », explique un chercheur. « C'est un champignon contamine aussi les fraises. » Son équipe de chercheurs étudie quelles variétés de tomates sont particulièrement ou à peine atteintes par le champignon. « Nous avons pour objectif de découvrir en quoi ces variétés se différencient. Quels sont les gènes qui sont nécessaires pour que la plante puisse se défendre contre les attaques du champignon ? Pourrait-on incorporer ces gènes dans des variétés vulnérables ? »

Sur le chemin du retour, les adolescents échangent leurs impressions. « Ça semble être complexe, ce génie génétique », déclare une jeune fille. « Pas vraiment convaincant », trouve une autre. « Je devrais en savoir plus pour pouvoir décider ce que je trouve formidable dans le génie génétique, et ce qui ne me plaît pas. » Aisha approuve. « Je n'aurais jamais pensé que la recherche fondamentale utilise le génie génétique en autant d'endroits », fait-elle remarquer. « Et que le truc est si petit », dit Marcel en riant. « C'est bien que les chercheurs aient eu l'idée d'étudier les gènes dans des cellules de levure ou des souris. »





1.0 Comment fonctionne le génie génétique

Durant la pause, Julie tire son stylo injecteur de sa poche. Il s'agit d'une seringue facile à manier. Ses condisciples y sont habitués, aucun ne la regarde d'un drôle d'air. Julie est diabétique. Pour pouvoir vivre en bonne santé, elle s'injecte plusieurs fois par jour de l'insuline. Autrefois, on obtenait l'insuline à partir d'animaux. Mais Julie utilise de l'insuline humaine. Mais d'où celle-ci provient-elle ? Sa famille doit-elle donner régulièrement de l'insuline ? Non, la chose est heureusement beaucoup plus simple : l'insuline est produite en laboratoire.

De l'insuline humaine provenant de bactéries

Grâce au génie génétique, une bactérie peut être amenée à fabriquer un médicament – de l'insuline, par exemple. L'insuline est une hormone qui est synthétisée dans le pancréas de tout être humain en bonne santé. Elle a pour rôle d'assurer que le sang ne contient pas trop de sucre. De nombreux êtres humains ne produisent pas assez d'insuline et ont de ce fait des difficultés à équilibrer leur taux de sucre dans le sang. On parle alors de diabète.

Voici comment fonctionne la production d'insuline

La production d'insuline humaine se fait en laboratoire. On cultive dans des récipients des bactéries dans le patrimoine génétique desquelles a été incorporé le gène de l'insuline humaine. Les unicellulaires lisent le gène et produisent la protéine correspondante. Les bactéries produisent donc de l'insuline humaine à l'aide du gène humain. Cette insuline est ensuite extraite de la culture bactérienne, purifiée et injectée comme médicament au moyen d'un stylo injecteur. Etant donné que les bactéries se multiplient rapidement, on peut produire sans problème de l'insuline par génie génétique en quantité suffisante.

4. L'insuline humaine des bactéries transgéniques

La bactérie croît et se divise. Ce faisant, elle lit les gènes et produit les protéines correspondantes – y compris l'insuline humaine. Celle-ci est identique à l'insuline que produisent les êtres humains en bonne santé dans les cellules de leur pancréas. Elle convient donc pour le traitement des personnes diabétiques.

2. L'astuce de l'anneau d'ADN

Une partie des gènes de bactéries se trouve sur les plasmides. Ces petits fragments circulaires d'ADN sont des outils idéaux pour incorporer des gènes dans des bactéries. Pour cela, on incise les plasmides. On utilise bien entendu des enzymes existantes, appelées enzymes de restriction. Celles-ci fonctionnent comme des ciseaux qui découpent l'anneau d'ADN à un endroit précis.

sectionner (au moyen de l'enzyme de restriction)

souder (au moyen de l'enzyme appelée ligase)

Gène de l'insuline

3. Patrimoine génétique modifié

En sectionnant le filament d'ADN, les enzymes de restriction laissent une empreinte caractéristique.

Ainsi le gène sectionné de l'insuline s'intègre-t-il comme la pièce manquante d'un puzzle dans le plasmide. À l'aide d'une enzyme, la ligase, le gène est soudé au plasmide. Le plasmide recombiné est ensuite replacé dans la bactérie. Le gène humain de l'insuline fait désormais partie du patrimoine génétique de la bactérie.

multiplier les bactéries

purifier l'insuline

Insuline

1. Un gène est isolé

On peut par exemple facilement prélever des cellules humaines à partir de la muqueuse buccale. On prépare l'ADN de la cellule en laboratoire. Sur le long filament d'ADN, on repère le gène porteur de l'information pour produire la protéine d'insuline et on le découpe. Le gène est ensuite séparé du reste de l'ADN et incorporé dans le patrimoine génétique de la bactérie.

Cellule humaine

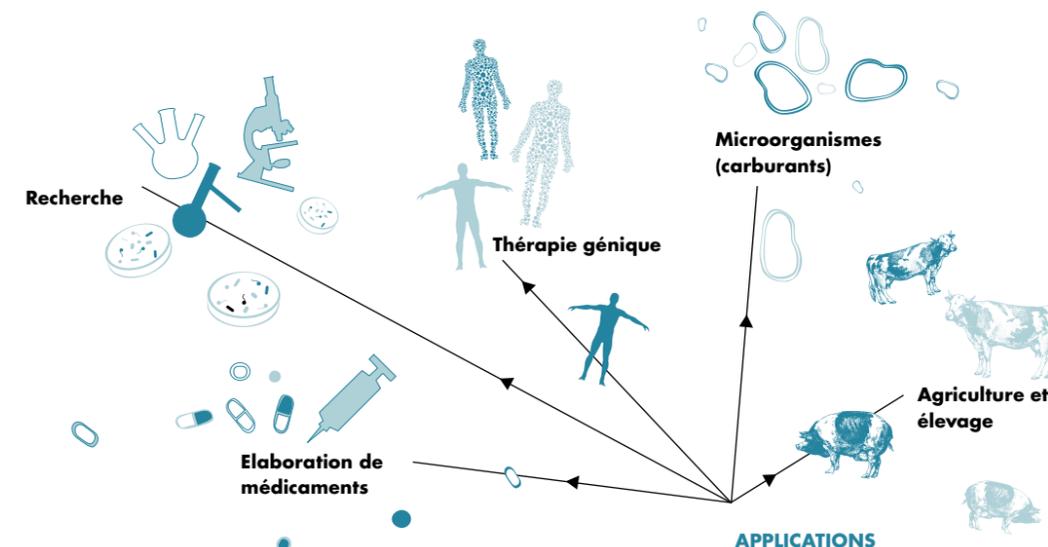
extraire (au moyen de l'enzyme de restriction)

Noyau cellulaire

ADN humain

Fabrication d'êtres vivants transgéniques

En incorporant le gène humain de l'insuline dans les bactéries, on modifie celles-ci par génie génétique. Elles sont dites « transgéniques ». Les organismes unicellulaires, les plantes ou les animaux transgéniques lisent l'information du gène supplémentaire comme s'il s'agissait du leur. Cela est possible parce que le patrimoine génétique de tous les êtres vivants est constitué d'ADN. Conformément à l'information du gène supplémentaire, les micro-organismes produisent donc, outre leurs propres protéines, une protéine supplémentaire : par exemple une protéine qui n'est naturellement présente que dans une plante exotique rare. Ou une protéine qui va être utilisée comme vaccin. Grâce à ce gène supplémentaire, les organismes transgéniques disposent d'une propriété nouvelle.



1.0.1 CRISPR/Cas – une méthode génétique révolutionnaire

Jusqu'en 2012, la création de souris génétiquement modifiées demandait un travail long et fastidieux. Une découverte est venue bouleverser la technique génétique : CRISPR/Cas. CRISPR est l'acronyme correspondant à « Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats » et décrit une suite d'éléments ADN qui se répètent dans le patrimoine génétique de quasiment tous les organismes vivants. La collaboration fructueuse de deux chercheuses, Emmanuelle Charpentier et Jennifer Doudna, a mené à la découverte de ce mécanisme fondamental du système CRISPR/Cas, qui peut désormais être utilisé comme outil de génie génétique. Le système CRISPR/Cas permettant de modifier des gènes rapidement, à moindre coût et de manière ciblée, on a pu modifier les gènes de souris – dans un premier temps – en quelques semaines seulement.

Application universelle de CRISPR/Cas

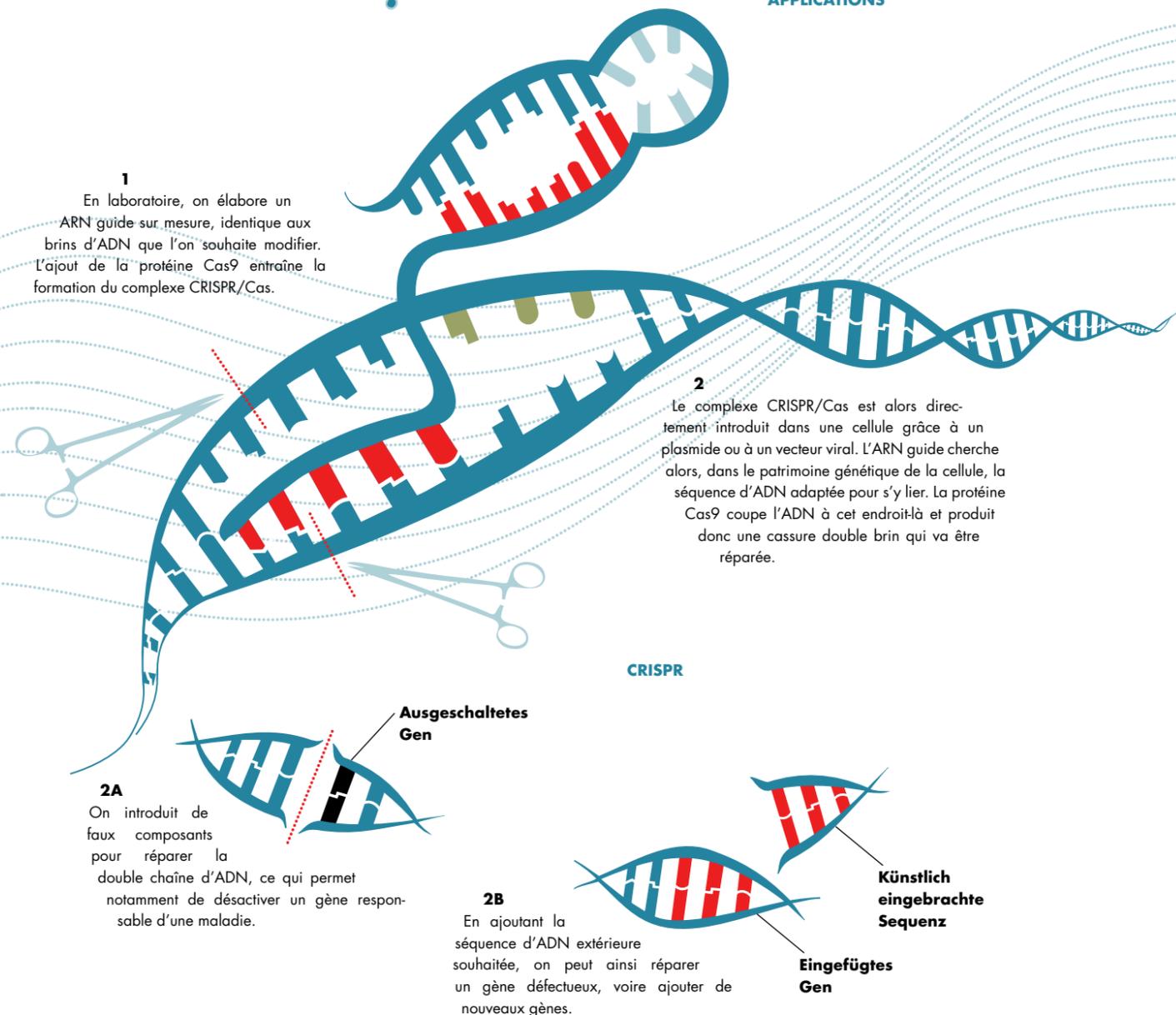
L'utilisation de CRISPR/Cas est loin d'être limitée aux souris. Ce système est désormais employé en recherche fondamentale, en recherche clinique, mais aussi dans l'élaboration de substances actives. Citons à titre d'exemple l'édition génomique destinée à la lutte contre certaines formes graves de cancers. Cette technique génétique consiste ainsi à modifier in vitro les cellules immunitaires appelées cellules T afin qu'elles puissent reconnaître et détruire les cellules cancéreuses une fois réinjectées. Grâce à CRISPR/Cas, il est aussi possible de créer un nouveau matériel biologique à partir de microorganismes génétiquement modifiés, ou encore des carburants. L'agriculture et l'élevage exploitent notamment l'édition génomique pour cultiver des plantes et élever des animaux plus résistants aux maladies. Mais comment fonctionne le système CRISPR/Cas exactement ?

1
En laboratoire, on élabore un ARN guide sur mesure, identique aux brins d'ADN que l'on souhaite modifier. L'ajout de la protéine Cas9 entraîne la formation du complexe CRISPR/Cas.

2
Le complexe CRISPR/Cas est alors directement introduit dans une cellule grâce à un plasmide ou à un vecteur viral. L'ARN guide cherche alors, dans le patrimoine génétique de la cellule, la séquence d'ADN adaptée pour s'y lier. La protéine Cas9 coupe l'ADN à cet endroit-là et produit donc une cassure double brin qui va être réparée.

2A
On introduit de faux composants pour réparer la double chaîne d'ADN, ce qui permet notamment de désactiver un gène responsable d'une maladie.

2B
En ajoutant la séquence d'ADN extérieure souhaitée, on peut ainsi réparer un gène défectueux, voire ajouter de nouveaux gènes.



1.1 Génomique

« Dis-moi, combien de gènes possède un être humain ? » Marcel ouvre de grands yeux étonnés. « Euh ! », dit-il, « Aucune idée. Sans doute pas mal. Je me demande seulement comment ils arrivent tous à se caser dans le noyau cellulaire ! Il est pourtant minuscule. » Imad approuve de la tête : « Je crois que les gènes sont aussi super petits. Ils se composent seulement de molécules, ou quelque chose comme ça. » Après un bref moment de réflexion, Marcel dit : « Juste, ils se composent des quatre bases GACT. Super ! On dirait un tag ! Je crois que nous en avons des milliards dans chaque cellule. » Imad est surpris : « Dément ! Et combien de gènes est-ce que ça donne ? »

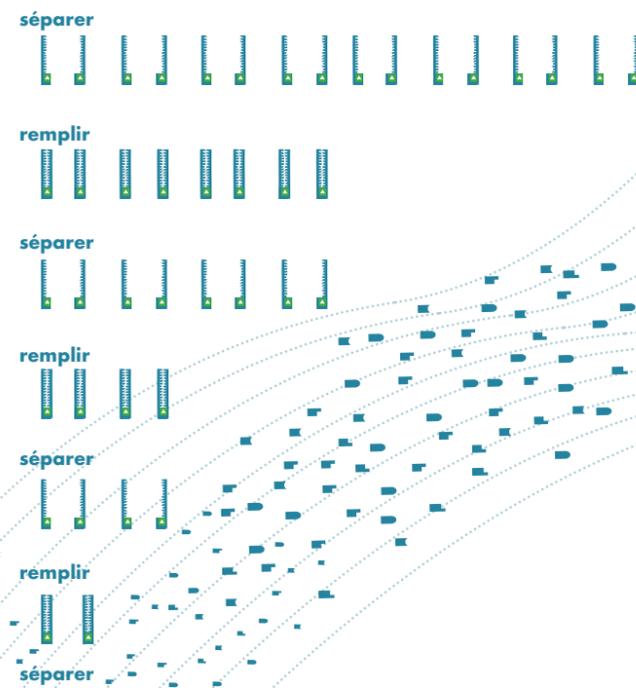
La grande surprise

La structure du corps humain est extrêmement complexe. Les os, les voies nerveuses et les organes ont tous fait l'objet d'études approfondies. Mais, à l'échelle moléculaire, il reste encore de nombreux mystères. Chaque cellule contient un chiffre astronomique de protéines différentes, qui sont toutes produites dans les gènes selon les plans de construction. L'étude de l'ADN répond donc à de nombreuses questions passionnantes : comment fonctionnent ces plans de construction ? Et combien l'être humain possède-t-il de gènes ?

C'est le domaine de la génomique qui s'occupe de ces questions. Le « Human Genom Project » a été lancé en 1990, avec pour objectif d'analyser les trois milliards de paires de bases du génome humain. Les chercheurs escomptaient au minimum 25 ans de travail. Or, grâce à la technologie informatique, à l'automatisation et à de meilleures méthodes de laboratoire, le code du génome humain était déjà disponible en avril 2003. La succession complète des lettres A, T, G, C de chaque cellule humaine était décryptée. 25 000 gènes codant des protéines ont été découverts. Le génome humain a beaucoup moins de gènes qu'on ne le supposait – à peine plus que les vers nématodes. La surprise était grande.

Comment l'on décrypte les gènes

Les gènes sont si petits qu'on ne peut même pas les voir au microscope. Pour pouvoir les étudier, on doit les extraire de la cellule et les multiplier. Pour cela, on copie l'ADN jusqu'à ce qu'il devienne visible du fait de la quantité obtenue. Cela se fait au moyen d'une enzyme, la polymérase, qui est capable de copier les séquences de gènes à un rythme élevé. On appelle cette technique « Polymerase Chain Reaction », abrégé en PCR (en français : amplification en chaîne par polymérase ou ACP). Mais comment est-il possible de lire en laboratoire la succession de lettres de l'ADN ? Ce que la cellule réussit sans aucun problème a posé un sérieux problème aux chercheurs : finalement, les molécules A, G, C et T ne sont pas visibles. Pour décrypter la succession de lettres, on recourt à la technique du séquençage, qui résout le problème par un détournement astucieux (voir graphique).



1. Préparation : isoler le fragment d'ADN

Avant de placer l'ADN dans le système d'analyse PCR, on le scinde en courts segments à l'aide de ciseaux d'ADN naturels, les enzymes de restriction.

Fragment d'ADN

Segment d'ADN

Composants d'ADN C, A, T, G

Polymérase

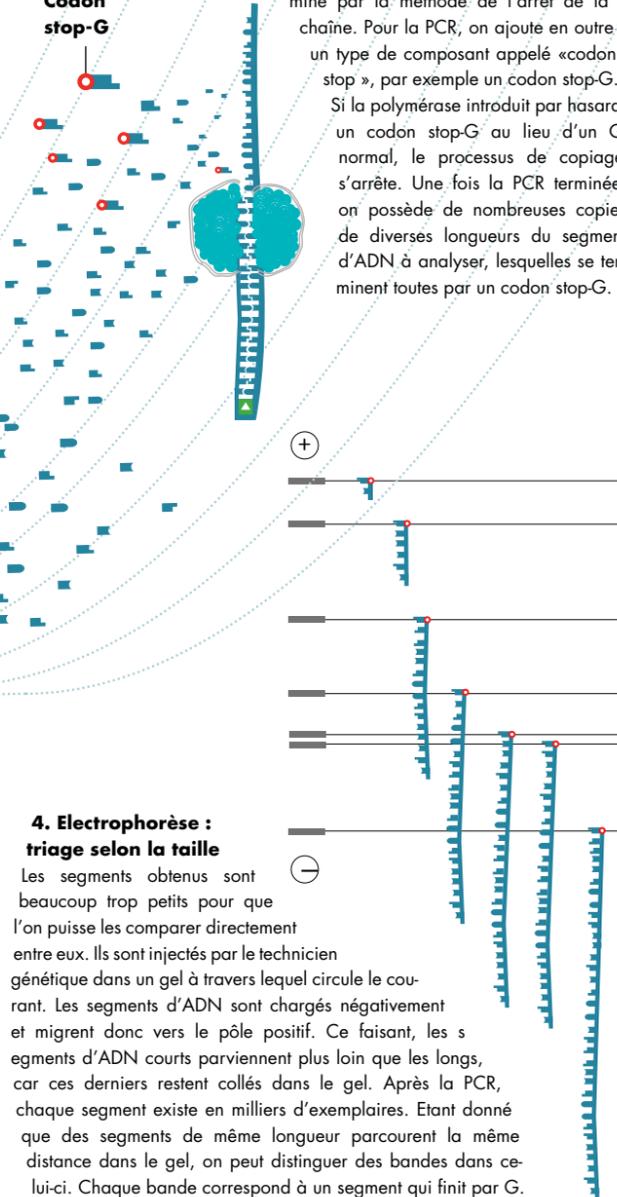
2. Technique PCR : une augmentation exponentielle

Pour réaliser une PCR, on place les composants d'ADN A, C, T, G ainsi qu'une enzyme – la polymérase – et des fragments d'ADN dans de petits récipients de plastique. Ce mélange est d'abord chauffé dans le système d'analyse PCR. Ce faisant, l'ADN se désagrège en différents brins. Puis on refroidit le mélange à une température à laquelle la polymérase travaille particulièrement bien : cette enzyme complète les différents brins à partir des paires de bases pour former de nouveaux doubles brins. Un fragment d'ADN est ainsi doublé à chaque cycle. Quinze cycles fournissent plus de 30 000 segments d'ADN identiques.

3. Séquençage : des fragments d'ADN dont la fin est connue

La succession des différents composants d'ADN présents dans un gène se détermine par la méthode de l'arrêt de la chaîne. Pour la PCR, on ajoute en outre un type de composant appelé « codon stop », par exemple un codon stop-G. Si la polymérase introduit par hasard un codon stop-G au lieu d'un G normal, le processus de copie s'arrête. Une fois la PCR terminée, on possède de nombreuses copies de diverses longueurs du segment d'ADN à analyser, lesquelles se terminent toutes par un codon stop-G.

Codon stop-G



4. Electrophorèse : triage selon la taille

Les segments obtenus sont beaucoup trop petits pour que l'on puisse les comparer directement entre eux. Ils sont injectés par le technicien génétique dans un gel à travers lequel circule le courant. Les segments d'ADN sont chargés négativement et migrent donc vers le pôle positif. Ce faisant, les segments d'ADN courts parviennent plus loin que les longs, car ces derniers restent collés dans le gel. Après la PCR, chaque segment existe en milliers d'exemplaires. Etant donné que des segments de même longueur parcourent la même distance dans le gel, on peut distinguer des bandes dans celui-ci. Chaque bande correspond à un segment qui finit par G. Si deux raies sont situées directement l'une à côté de l'autre, cela signifie que deux G sont également situés directement l'un à côté de l'autre dans le gène. Si les raies sont plus éloignées, cela signifie qu'un nombre de lettres correspondant les sépare. En répétant l'analyse avec le codon stop-A, le codon stop-C et le codon stop-T, on peut déterminer l'ensemble de la séquence.



Et encore davantage de travail...

Outre le code génétique de l'être humain, on a également décrypté le génome de différentes espèces animales et végétales. On connaît par exemple le code génétique de la souris ou celui du moustique responsable du paludisme. Toutefois, au sein d'une espèce, le code génétique des individus diffère aussi légèrement. Concrètement, cela signifie que quelques paires de bases varient d'un individu à l'autre dans l'ensemble de la chaîne d'ADN. Le génome de chaque être humain est unique, tout aussi individuel que ses empreintes digitales.

Aujourd'hui, les chercheurs savent que le séquençage du génome humain ne signifie pas que leur travail est terminé. Bien au contraire : il ne fait que commencer. Il s'agit maintenant d'étudier en quoi se différencient les codes génétiques des différents êtres humains et ce que cela signifie. Il faut découvrir comment est organisé le génome, comment surviennent des lésions des gènes et comment ceux-ci sont réparés par la cellule.

1.2 Transcriptomique

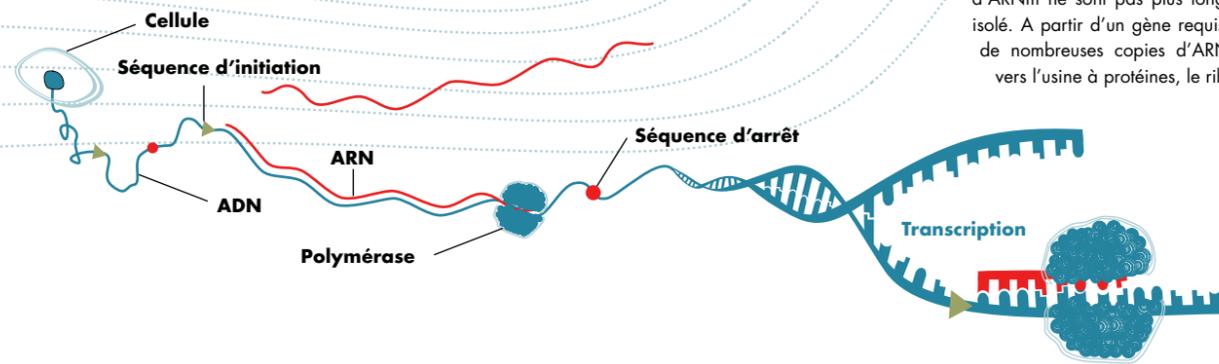
Pour que la protéine correspondant à un gène donné puisse être synthétisée, elle doit d'abord être copiée en une substance appelée ARN. Pour cela, la cellule dispose d'outils spécifiques. Ce processus porte le nom de transcription et est assuré par une enzyme, la polymérase. Pour que la polymérase détecte un gène sur la chaîne d'ADN longue de deux mètres, chaque gène commence par une séquence d'initiation et se termine par une séquence d'arrêt.

Le monde de l'ARN : complexe, dynamique...

Le terme de transcriptome désigne tous les ARN d'une cellule. Contrairement au génome, le transcriptome est multiple et dynamique : alors que chaque cellule de l'organisme possède le même génome, le transcriptome d'une cellule du foie ou celui d'une cellule du cerveau sont radicalement différents. Dans les deux types de cellules, ce sont des gènes différents qui sont activés. Les ARN présents dans la cellule varient donc fortement. Mais cela ne suffit pas : le monde de l'ARN est encore plus complexe. Alors qu'il n'existe qu'une sorte d'ADN dans le génome, l'ARN se divise en différents types. La copie du gène porte le qualificatif d'ARNm, « m » voulant dire « messenger ». Comme un messenger, en effet, il s'empresse de quitter le noyau cellulaire et sert de plan directeur de la protéine dans l'usine à protéines. Mais il existe aussi d'autres sortes d'ARN, qui ne sont jamais transcrits en protéines. Font partie de ces ARN les ARN ribosomiques (ARNr) et les ARN de transfert (ARNt).

... et incontournable

La recherche découvre de plus en plus de sortes d'ARN. par exemple les ARNsi ou les ARNsn. ARNsn signifie « ARN small nuclear ». Comme le dit leur nom, ils sont assez petits et logés à l'intérieur du noyau cellulaire. L'abréviation ARNsi signifie « ARN small interfering ». Dans certaines conditions bien précises, ces ARN peuvent provoquer la destruction des ARNm. La découverte du monde des ARN n'est pas encore achevée. On ignore encore pour l'instant comment fait la cellule pour que les ARN adéquats remplissent en toutes circonstances leurs fonctions au bon endroit et dans la quantité qui convient. Mieux comprendre ces mécanismes de régulation – tel est l'un des défis qui se posent aux chercheurs.



3. Compagnon de l'ARNm – l'ARNsn

Les ARNsn aident les ARNm dans leur maturation. Car c'est seulement au début que les ARNm ont la même longueur que les gènes copiés. Ils sont ensuite modifiés lors du processus de l'épissage : les segments inutiles sont découpés. Les ARNsn forment à cet effet des structures complexes qui fixent l'ARNm à l'endroit qui convient et le coupent. Etant donné qu'il est possible de découper des segments différents, il existe plusieurs ARNm matures différents à partir d'un seul gène.

2. Réduire des gènes au silence – l'ARNsi

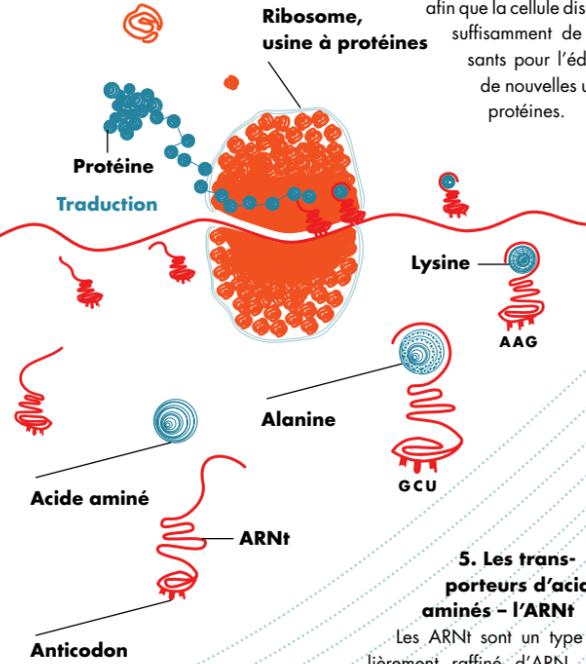
Les ARNsi exercent une fonction de contrôle et capturent certains ARNm. Ils forment des paires de bases sur l'ARNm avec les segments adéquats, ce qui bloque l'ARNm et finit par le détruire. Ce mécanisme porte le nom d'interférence de l'ARN. Les ARNsi peuvent donc réduire des gènes au silence.

1. Les messagers – l'ARNm

Toute cellule vivante copie des gènes en permanence et les transcrit en ARNm. Ce processus de la transcription se passe au sein du noyau cellulaire. Contrairement à l'ADN long de deux mètres, les molécules d'ARNm ne sont pas plus longues qu'un gène isolé. A partir d'un gène requis sont fabriquées de nombreuses copies d'ARNm qui migrent vers l'usine à protéines, le ribosome.

4. Composants de l'usine à protéines – l'ARNr

Les ARNr sont des éléments de l'usine à protéines, les ribosomes. Tous les êtres vivants possèdent des gènes codant des molécules d'ARNr. Celles-ci sont copiées en permanence afin que la cellule dispose de suffisamment de composants pour l'édification de nouvelles usines à protéines.

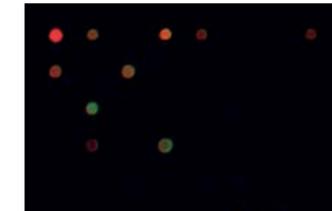


5. Les transporteurs d'acides aminés – l'ARNt

Les ARNt sont un type particulièrement raffiné d'ARN. Ils sont courbés à une extrémité de telle sorte que trois composants d'ARN font saillie. On les dénomme « anticodons ». Il existe des ARNt présentant toutes les variations possibles à trois, par exemple AAG ou GCU. La base d'ARN « U » correspond au composant « T » dans l'ADN. Grâce à leur structure, les ARNt peuvent fixer un acide aminé à leur autre extrémité. Il existe vingt acides aminés différents. Ce sont les éléments à partir desquels sont élaborées toutes les protéines. Chaque molécule d'ARNt « harponne » l'acide aminé qui appartient à son code triplet; pour AAG, c'est la lysine et, pour GCU, l'alanine. C'est alors qu'intervient l'astuce décisive : l'anticodon peut se lier à trois bases adéquates sur l'ARNm, AAG s'arrime donc à un TTC sur l'ARNm. Ainsi le message présent sur l'ARNm peut-il être traduit fragment par fragment dans la séquence correcte d'acides aminés. Dans le ribosome, les acides aminés sont reliés les uns aux autres. La chaîne qui en résulte se replie pour former la protéine définitive.

Puce à ADN

Pour analyser le transcriptome, on recourt à la technologie de la puce à ADN (également appelée « microarray »). Chaque gène est représenté sur une petite plaque de verre sous la forme d'un fragment d'ADN simple brin. On verse alors un liquide – extrait par exemple d'un fragment de tissu hépatique – sur la plaque. Ce liquide contient l'ensemble des ARNm de la cellule hépatique. Les ARNm hépatiques s'apparient aussitôt avec les gènes correspondants. Les gènes de la plaque qui restent libres n'ont pas été transcrits en ARNm dans les cellules hépatiques au moment de leur prélèvement. Ils apparaissent en noir sur la puce. La comparaison des gènes actifs au moment de l'administration d'un médicament est quelque chose de passionnant. On élabore une puce avant et après la prise du médicament et l'on procède à une comparaison sur ordinateur. Les gènes qui avaient déjà été transcrits en ARNm avant la prise du médicament sont marqués en rouge, les gènes nouvellement actifs apparaissent en vert, et les gènes actifs avant et après brillent en jaune.



« Quand même curieux ! Nous avons le même nombre de gènes que la souris. » Imad regarde son camarade d'un air interrogateur. Marcel approuve : « Oui, étonnant ! Mais également fascinant », réplique-t-il. « Impressionnant, tout ce qui se passe avec les gènes qui sont lus : découpés, puis recollés sur le chemin de l'usine à protéines. Ou simplement capturés et détruits ! Super, que tout fonctionne dans nos cellules ! » Imad se lève. « Hé ! heureusement que mes cellules fabriquent les bonnes protéines. Sinon, ma glycémie se mettrait à dérapier. Ou imagine : malgré tous nos efforts, nous ne fabriquerions plus de nouveaux muscles ! »

1.3 Protéomique

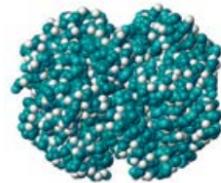
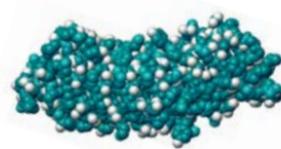
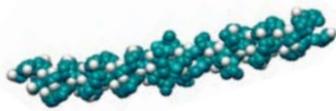
Les protéines représentent plus de la moitié du poids sec d'une cellule. Les protéines ne sont pas seulement les substances dont les cellules sont composées pour l'essentiel, elles assurent également presque toutes les fonctions vitales de notre organisme. Leur diversité est impressionnante : les protéines structurales, telles que le collagène, ont la forme d'un câble et confèrent leur solidité à nos os et à nos tendons. Les protéines de transport ont une forme sphérique. L'hémoglobine, par exemple, fixe l'oxygène que nous inspirons par les poumons et le transporte dans le sang. En tant qu'anticorps, les protéines protègent l'organisme des maladies et, en tant qu'éléments modelables, elles permettent les mouvements musculaires. D'autres protéines encore transmettent des messages ou, sous forme d'enzymes, accélèrent des réactions chimiques. Le fait que telle ou telle protéine d'une cellule soit active dépend pour l'essentiel de la nature des gènes qui sont lus. Outre l'expression génique,

la présence de certains principes actifs et la dégradation des protéines influent aussi sur la composition du protéome, autrement dit de l'ensemble des protéines d'une cellule, d'un tissu ou d'un être vivant. Étant donné qu'un gène peut commander la synthèse de plusieurs protéines différentes, la complexité du protéome est de loin supérieure à celle du génome. Si l'on prend pour base le nombre d'environ 25 000 gènes, on estime que l'être humain possède entre 100 000 et 500 000 protéines. Par adjonction ou clivage de groupes phosphates, une protéine peut très rapidement passer de la forme active à une forme passive. Le domaine de recherche de la protéomique acquiert de plus en plus d'importance. Les protéines jouent un rôle déterminant dans le bon fonctionnement de notre organisme. Connaître leur genèse et leur mode de fonctionnement est à la base de la compréhension des maladies.

Modèle d'une protéine structurale : le collagène

Modèle d'une protéine de liaison : l'ankyrine

Modèle d'une protéine de transport : l'hémoglobine



1.4 Recherche sur les cellules souches

Catherine et Aisha discutent pour décider ce qu'elles apporteront à la soirée organisée par Jean. Jean va déjà avoir 20 ans alors que la plupart de ses camarades de classe n'ont encore que 18 ans. Enfant, Jean a été très malade et n'a pu aller à l'école que plus tard. Jean avait une leucémie. Il doit d'avoir survécu à un don de cellules souches. La transplantation de moelle

osseuse lui a sauvé la vie. À l'époque, son état était grave, mais aujourd'hui Jean peut en parler tranquillement. Lorsque quelqu'un commence à éternuer au printemps, il dit en souriant : « Bof ! Ça fait douze ans que je n'ai plus attrapé le rhume des foins. Mes nouvelles cellules sanguines sont bien immunisées. »



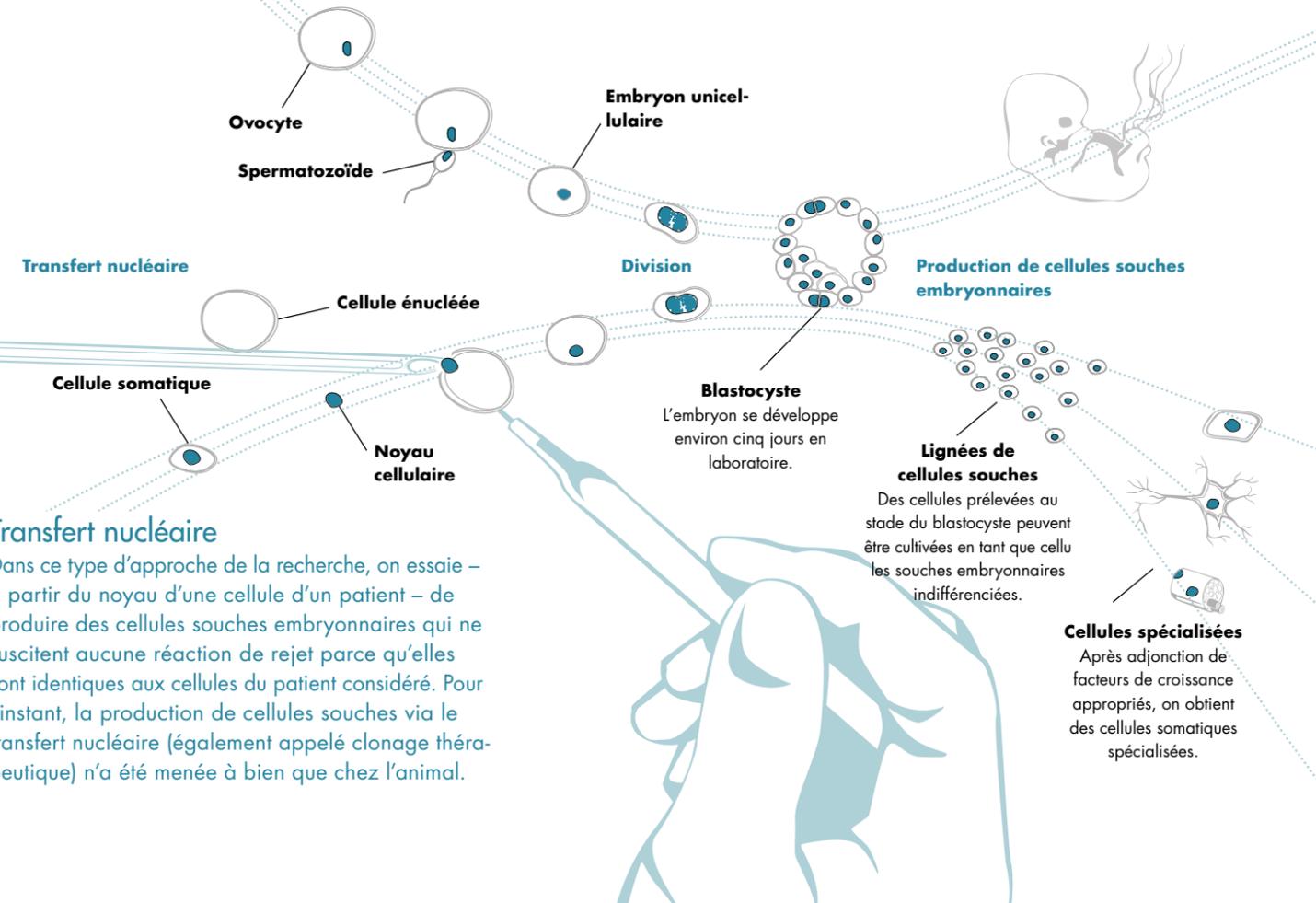
Toutes puissantes

Les cellules souches ont des aptitudes particulières. Elles peuvent se renouveler elles-mêmes par division et se différencier ensuite en différents types cellulaires matures – en cellules cardiaques, musculaires ou hépatiques, par exemple. On travaille aujourd'hui à régénérer par des cellules souches le tissu cardiaque lésé après un infarctus du myocarde. Ce que l'on expérimente ici est depuis longtemps une réalité pour le système sanguin. Pour traiter la leucémie, on transfère des cellules souches adultes dans la moelle osseuse du patient.

Outre les cellules souches adultes, il y a aussi des cellules souches embryonnaires. Elles se cultivent aisément en laboratoire et donnent – à condition d'y ajouter des facteurs de croissance – tous les différents types de tissu. Elles possèdent donc un énorme potentiel pour le développement de nouveaux

traitements. De nombreuses maladies graves, telles que la sclérose en plaques, le diabète ou la maladie d'Alzheimer sont dues à une dégénérescence tissulaire. Grâce aux cellules souches, on espère pouvoir cultiver des cellules de remplacement appropriées. Des applications expérimentales montrent que cela est du domaine du possible, par exemple pour guérir des lésions tendineuses ou pour pallier la déficience de nerfs sectionnés.

Fécondation in vitro



Transfert nucléaire

Dans ce type d'approche de la recherche, on essaie – à partir du noyau d'une cellule d'un patient – de produire des cellules souches embryonnaires qui ne suscitent aucune réaction de rejet parce qu'elles sont identiques aux cellules du patient considéré. Pour l'instant, la production de cellules souches via le transfert nucléaire (également appelé clonage thérapeutique) n'a été menée à bien que chez l'animal.

1.5 Animaux transgéniques

Dans le laboratoire d'expérimentation animale, la chercheuse raconte : « L'horloge interne, qui détermine le rythme veille-sommeil d'une souris, est commandé par des gènes. Toutefois, l'expression de ces gènes n'est pas la même chez tous les animaux, ce qui aboutit à des modèles d'activité différents. » Catherine, qui est un oiseau de nuit, sourit de contentement : « Voilà l'explication. Si ma mère entendait ça ! Ce sont mes gènes qui font que j'ai besoin de rester au lit le matin et de sortir longtemps le soir ! »

Expérimentation animale

Grâce à des cultures cellulaires et à des simulations par ordinateur, la recherche biomédicale acquiert des indices précieux. Mais pour savoir si ces acquisitions sont utiles pour la médecine, il faut souvent recourir à l'étude sur l'organisme entier. C'est pourquoi la science pratique l'expérimentation animale. Pour chaque médicament et chaque traitement, il faut s'attendre à ce que des effets indésirables se manifestent à côté de l'effet recherché. C'est la raison pour laquelle il n'est pas éthiquement défendable de développer des médicaments et de les utiliser directement chez l'être humain. Pour des raisons de sécurité des patients, l'expérimentation animale est exigée par la loi. Pour des raisons éthiques, elle est soumise à des réglementations rigoureuses. La règle dite des 3R « replace, reduce, refine » exige de remplacer chaque fois que cela est possible l'expérimentation animale par des méthodes

sans animaux, de réduire le nombre des animaux utilisés et de concevoir des tests respectant les animaux. Ce dernier point signifie par exemple qu'avant de procéder aux interventions on administre des analgésiques aux animaux ou que ceux-ci vivent avec des congénères et qu'ils disposent de possibilités de jeu dans leur cage. Ces mesures ont pour objet de tenir compte de la dignité de l'animal. D'un point de vue éthique, il est indispensable de ne procéder qu'aux essais absolument nécessaires chez l'animal. Cela réclame un examen minutieux des avantages et des inconvénients. Qu'est-ce qui pèse le plus ? La souffrance des animaux ou le bénéfice pour l'être humain ? En Suisse, chaque expérience menée chez l'animal doit être autorisée par une commission dans laquelle sont représentés non seulement des chercheurs, mais également des défenseurs des animaux.

Au cours de ces dernières années, le recours à des animaux transgéniques a permis d'effectuer de nouveaux travaux de recherche. Un animal transgénique porte dans toutes ses cellules somatiques un fragment modifié de l'information génétique. A l'aide de méthodes de génie génétique, on parvient à introduire chez une souris certains gènes qui déclenchent une maladie chez l'être humain. Cette souris développe alors un tableau clinique similaire à celui du sujet atteint. Il est aussi possible d'inactiver un gène donné. On appelle ces animaux « knock-out ». L'examen de l'animal permet de tirer des

conclusions sur la fonction du gène. Les animaux transgéniques jouent un rôle important dans la recherche sur le cancer ou en immunologie. Outre l'étude de maladies et de la manière de les combattre, les animaux transgéniques fournissent donc également des connaissances sur des processus encore inconnus dans l'organisme sain.

Souris transgéniques « Alzheimer »

La maladie d'Alzheimer est l'une des maladies les plus fréquentes liées à l'âge. En l'espace de cinq à quinze ans, les patients perdent irrémédiablement leurs capacités intellectuelles. On voit apparaître des troubles de la mémoire, du langage et de l'orientation, jusqu'à ce que les patients deviennent totalement dépendants. La maladie va de pair avec une dégénérescence progressive de cellules nerveuses du cerveau. Jadis, on ne pouvait étudier la maladie que chez des sujets décédés. Aujourd'hui, les chercheurs travaillent sur des souris transgéniques, ce qui permet d'analyser des aspects partiels de la maladie chez un modèle vivant. L'étude de personnes décédées a révélé que diverses protéines se comportent de manière erronée dans les cellules atteintes. Un exemple est celui de la protéine tau, qui s'accumule et s'aggrave. On peut étudier ce processus chez des souris transgéniques qui

produisent le gène tau en excès. On espère que ces découvertes déboucheront sur des approches thérapeutiques permettant de prévenir la maladie d'Alzheimer et de la traiter par voie médicamenteuse.

Souris sans syndrome de décalage horaire

Au cours de l'évolution, la vie s'est adaptée au changement de rythme du jour et de la nuit. Des horloges internes commandent d'innombrables fonctions vitales du rythme circadien. Il n'est pas très facile de modifier les horloges internes, comme le montrent le travail de nuit ou le phénomène du décalage horaire après un long voyage en avion. Dans la recherche, on utilise les souris knock-out pour comprendre les mécanismes moléculaires qui se cachent derrière le rythme naturel. En inactivant certains gènes de manière ciblée, on peut déterminer – à partir des modifications du comportement observées au cours de la journée chez les souris – la place qu'occupent ces gènes dans l'activité rythmique. Lorsque certains gènes sont inactivés, les souris perdent plus facilement leur rythme. Mais elles peuvent aussi mieux s'adapter à un changement. La connaissance des processus précis aide non seulement à comprendre les troubles du sommeil, mais également à éviter les accidents survenant lors du travail de nuit.



1.6 Nanobiotechnologie

La nanotechnologie traite de l'infiniment petit à des niveaux quasiment inimaginables. Un nanomètre correspond à un milliardième de millimètre. Dans les nanosciences, on analyse la manière dont on peut utiliser atomes et molécules comme « briques cellulaires » pour produire des matériaux et des structures dotés de propriétés nouvelles. La nanobiotechnologie est une branche des nanosciences. Elle traite des biomolécules, dont font partie l'ADN, les protéines, les hormones et les anticorps. A travers ces nouvelles connaissances, les chercheurs espèrent avant tout réaliser des avancées en médecine. Etant donné que de nombreuses maladies prennent naissance au niveau moléculaire, les analyses à l'échelle du nanomètre permettent des diagnostics plus rapides. Cela aidera à dépister

des maladies dès le stade précoce – le cancer, les maladies cardiovasculaires ou les infections virales, par exemple. Mais de nouveaux types de traitement fondés sur les biomolécules seront également développés. Chercheuses et chercheurs travaillent dans le monde entier à utiliser les nanoparticules pour transporter des médicaments. Le principe actif est emballé dans un « nanoconteneur » et libéré seulement sur son site d'action. Pour que les nanoparticules parviennent à l'endroit qui convient, elles sont pourvues de molécules spécifiques – des anticorps, par exemple – sur l'enveloppe extérieure. Si la recherche est intensive dans ce domaine, les applications cliniques sont toutefois encore très lointaines.

II Médecine



La médecine s'occupe de la prévention, du diagnostic et du traitement des maladies et des lésions. Mais aussi de la procréation, de la grossesse, de la naissance et de la mort. La recherche biomédicale s'efforce de comprendre les causes et les mécanismes d'une maladie afin de développer de nouveaux types de traitement. Le génie génétique joue en l'occurrence un rôle de plus en plus important. Cinq personnes venues consulter un médecin généraliste permettent de se faire une idée de la médecine moderne.

« En tout cas, tu as eu raison de prendre rendez-vous chez le médecin, François. » François est reconnaissant à son ami du soutien qu'il lui manifeste. Mais la sensation de bizarre persiste. Comment a-t-il pu être aussi stupide. Il finit en hâte son café. « Regarde », poursuit son ami, « au moins, tu réfléchis à la question. Tu ne connaissais même pas cette femme et vous n'avez pas utilisé de préservatif. C'était vraiment idiot. Ce qui serait encore plus grave, ce serait de ne pas faire maintenant un test VIH. » François approuve d'un signe de tête. « Il faut que je parte; dans dix minutes, je dois y être. » Une fois dans la rue, mille et une pensées lui courent dans la tête. Qu'est-ce qui va se passer si je me suis vraiment fait contaminer ? Si seulement le test était derrière moi et que le résultat soit négatif ! Au moins, aujourd'hui, on ne doit plus attendre des semaines. Grâce au génie génétique, les virus sont plus vite détectés. Si seulement, il pouvait ne pas y en avoir !

Une fillette joue dans la salle d'attente. Une femme feuillette distraitement une revue. Elle est trop inquiète pour lire les articles. Juste avant de voir le médecin, Madame Dupont se fait à nouveau du souci. Peut-être le résultat de l'examen n'est-il pas aussi réjouissant que le spécialiste a bien voulu le lui dire ? Elle repense à sa fièvre lorsque son médecin traitant l'a envoyée un an plus tôt passer des examens. Le diagnostic a été un choc : cancer du sein. C'était tout simplement impossible. Justement elle, qui avait tant de projets. A l'époque, elle venait d'emménager dans un nouvel appartement. Et elle avait accepté de garder son petit-fils une fois par semaine. Est-ce qu'elle allait pouvoir encore s'en occuper ? Son angoisse était grande.

Cela dit, les médecins l'avaient bien informée, et l'ablation de la tumeur s'était passée sans complications. Sa confiance revenait peu à peu, mais les premiers temps avaient été difficiles. Elle devait apprendre à affronter la maladie. Les échanges avec des personnes malades comme elle et l'accompagnement par des spécialistes l'avaient aidée. Madame Dupont s'étonne a posteriori de la grande diversité des traitements possibles. Après l'opération, la chimiothérapie et la radiothérapie, on utilise aussi un grand nombre de médicaments dans le traitement du cancer. Les médecins avaient analysé son type spécifique de cancer. Y compris l'activité des gènes dans les cellules tumorales. Et l'on avait ainsi établi que Madame Dupont faisait partie du quart des femmes souffrant de cancer du sein

dont les cellules tumorales produisent un facteur de croissance particulier permettant à la tumeur de proliférer rapidement. On avait pu lui administrer un médicament fabriqué par génie génétique, qui neutralise ces redoutables structures à la surface des cellules cancéreuses et qui stimule la destruction de ces cellules par le système immunitaire. Conçu sur mesure pour son cas, le traitement s'était très bien passé.

Madame Dupont pense à tous les changements survenus depuis cinquante ans. Son grand-père, lui aussi, avait eu un cancer mais il en était mort. A l'époque, on n'avait pas su exactement de quoi il s'agissait et l'on n'avait pratiquement rien pu faire. En ce temps-là, on n'était même pas armé contre de simples maladies infectieuses. Tout comme sa grand-tante, bien des jeunes femmes mouraient d'une infection après l'accouchement. Et puis, tous ces enfants qui mouraient d'une pneumonie ! Les choses ont vraiment changé. Elle sourit à la fillette en train de jouer.

L'assistante médicale entre dans la salle d'attente et appelle un patient. François doit encore attendre. Sur la table, il prend une brochure qui traite de la question des tests génétiques. Les titres le surprennent. Il sait que ces tests aident à diagnostiquer les maladies génétiques et à dépister des agents pathogènes. Mais la brochure comporte six autres chapitres. Il y est question de recherche sur le type de médicaments que chacun tolère ou non, ou encore d'analyses visant à établir des questions d'identité et de parenté. Un autre chapitre explique comment des tests aident à diagnostiquer ou à exclure des maladies dont on soupçonne l'existence. Les trois derniers chapitres traitent des thérapies géniques, de l'étude de maladies fondée sur le génie génétique ainsi que de médicaments et de vaccins produits par génie génétique. François est étonné. Le génie génétique semble être utilisé en routine dans de nombreux domaines de la médecine.



2.0 Médicaments

Le génie génétique est un outil désormais incontournable dans le développement et la production de médicaments. Dans la recherche sur de nouveaux antibiotiques, par exemple, l'analyse du génome et la protéomique livrent des indications importantes sur la localisation des points faibles où il est possible d'attaquer les bactéries. De nombreux médicaments sont produits par génie génétique. Depuis 25 ans, l'insuline fabriquée par génie génétique est autorisée dans le traitement du diabète. Les protéines produites par génie génétique jouent également un rôle déterminant pour les personnes souffrant d'hémophilie. Chez ces malades, un facteur de la coagulation sanguine fait en effet défaut; des blessures normalement sans gravité entraînent alors des hémorragies redoutables. Auparavant, ces patients recevaient ce facteur de coagulation à partir du sang fourni par des donateurs, ce qui a provoqué un certain nombre de cas de contamination par le virus du sida. Grâce au génie génétique, ce risque est aujourd'hui écarté. Outre l'amélioration de la sécurité, la capacité de production a aussi été accrue. Les besoins annuels en insuline se situent à hauteur de 2000 kg. Jadis, c'était le bétail de boucherie qui fournissait cette insuline. Mais une tonne de pancréas d'origine animale ne permet d'obtenir que 125 g d'insuline. Une production couvrant les besoins de tous les diabétiques serait pratiquement impossible.

Des protéines thérapeutiques grâce au génie génétique

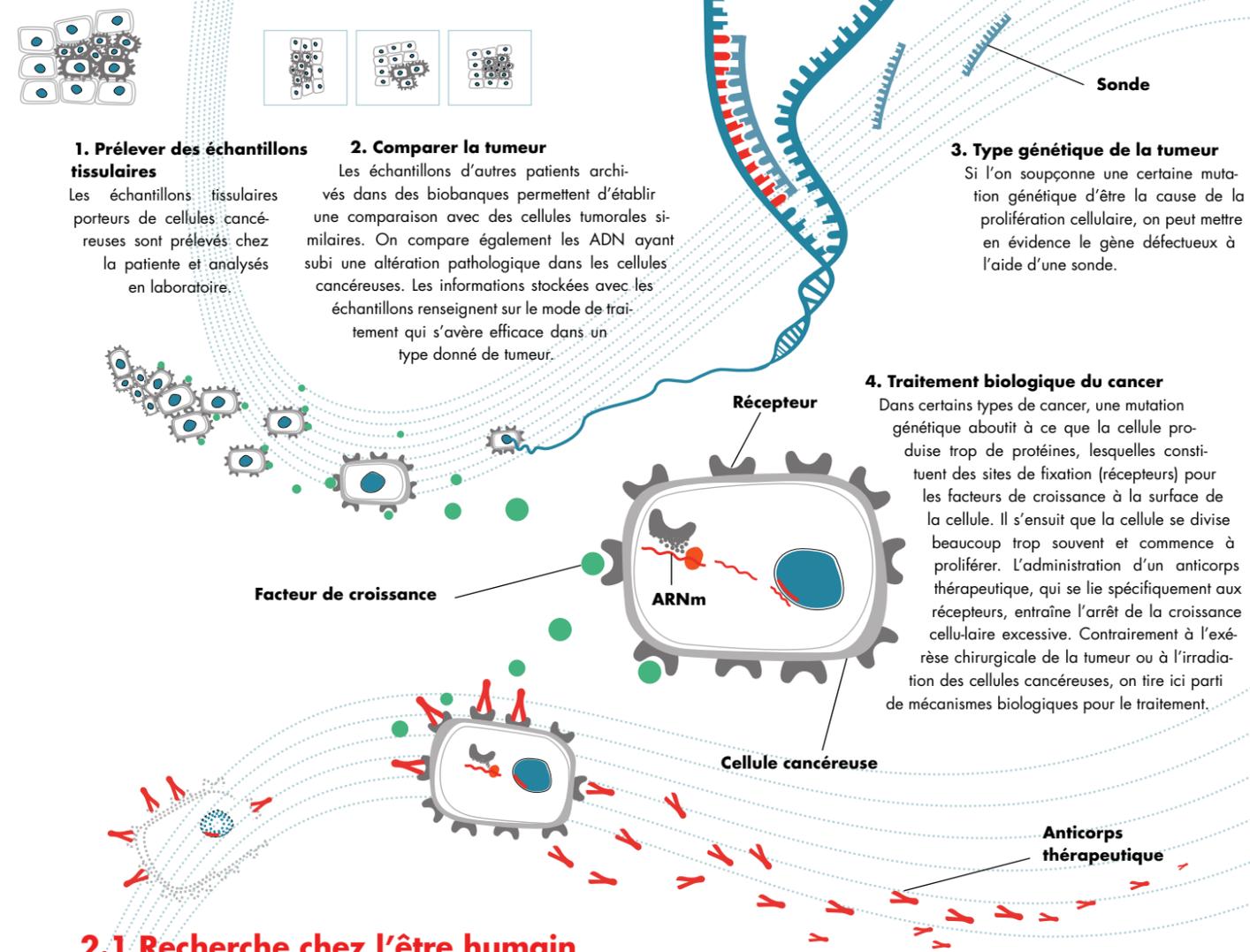
Les protéines fabriquées par génie génétique peuvent intervenir dans des mécanismes pathologiques. Une hormone, l'érythropoïétine – abrégé epo –, a été développée pour traiter l'insuffisance rénale et se voit aujourd'hui utilisée sous différentes formes dans le traitement de l'anémie. La qualité de vie des patients dialysés en a été fortement améliorée. Un autre médicament produit par génie génétique est l'interféron, qui combat les infections et les cellules tumorales. Les interférons sont employés dans le traitement de l'hépatite, du cancer ou de la sclérose en plaques. Dans le cas du psoriasis – une maladie chronique de la peau –, une protéine tirée de cultures cellu-

lares transgéniques stoppe les cellules immunitaires alarmées à tort, et dont l'intervention provoque les symptômes observés au niveau de la peau. Aujourd'hui, une centaine de médicaments produits par génie génétique sont autorisés en Suisse. Les experts estiment qu'un tiers des médicaments développés à l'heure actuelle reposent sur le génie génétique. Etant donné que l'on parle aussi de fabrication biotechnologique, on les appelle produits biologiques (« biologics » ou « biologicals » en anglais).

Des principes actifs tirés de cellules d'origine animale ou végétale

La production de protéines humaines dans des bactéries transgéniques a constitué une révolution. Toutefois, lorsque la protéine comporte des structures de surface complexes, telles que des chaînes de sucre greffées, les bactéries – fabriques de protéines relativement simples – atteignent leurs limites. Dans ce cas, on recourt à des cellules de levure ou de mammifères. Une autre possibilité réside dans le « pharming », l'utilisation de plantes et d'animaux comme source de production. Des recherches sont actuellement menées sur des plants de tabac, dont les cellules fabriquent un principe actif contre la borréliose, une maladie infectieuse transmise par les tiques. On pourrait également voir bientôt apparaître sur le marché des médicaments synthétisés dans le lait de chèvres transgéniques.

Depuis des jours, Madame Dupont réfléchit à l'idée de participer à une étude portant sur un traitement anticancéreux d'un type nouveau. La possibilité que, malgré l'opération, son cancer du sein ne soit pas totalement vaincu et que des cellules tumorales non détectées puissent encore subsister la préoccupe. Le nouveau traitement promet d'abaisser le risque d'apparition d'un nouveau foyer cancéreux. Madame Dupont est toutefois consciente que des effets indésirables peuvent aussi survenir. Sa décision mûrit peu à peu. Elle a pesé les chances et les risques de son point de vue personnel et décide de participer à l'étude.



2.1 Recherche chez l'être humain

Grâce au progrès médical, d'innombrables maladies et lésions peuvent aujourd'hui être traitées ou guéries. Après avoir été testés en laboratoire et en expérimentation animale, de nouveaux traitements sont testés dans le cadre d'études cliniques. Dans l'optique de la sécurité des patients et pour des raisons d'ordre éthique, une telle recherche chez l'être humain est soumise à des directives strictes, les « bonnes pratiques cliniques » (« Good Clinical Practice » en anglais).

De l'utilité des collections biologiques

La recherche menée chez l'être humain aide à comprendre les maladies. Les maladies plurifactorielles, par exemple, dans lesquelles non seulement des gènes, mais aussi des facteurs extérieurs – comme le mode de vie – jouent un rôle. Pour analyser l'influence des différents facteurs pathogènes, on collecte des données de patients (âge, poids, habitudes, etc.) et des échantillons tissulaires. On appelle biobanque une collection systématique d'échantillons – tels que sang, tissu tumoral ou

ADN – ainsi que les données médicales qui s'y rapportent. L'évaluation des données permet de mieux comprendre l'apparition de maladies comme le diabète, les maladies cardio-vasculaires ou l'asthme.

Détermination de la dose individuelle pour un médicament donné

Dans l'organisme, les médicaments entrent en contact avec de nombreuses protéines. Les enzymes peuvent lier des médicaments et les inactiver dans le foie. Selon le code génétique, l'activité des différentes enzymes varie d'une personne à l'autre. C'est pourquoi un médicament sera dégradé lentement chez un sujet, et rapidement chez un autre. Dans le second cas, il faut prescrire une dose plus élevée pour que le médicament agisse comme il convient. Ce domaine porte le nom de pharmacogénétique. Grâce à une puce à ADN, qui analyse les variantes génétiques de certaines enzymes hépatiques, le médecin peut déterminer à quelle catégorie appartient un sujet.



2.2 Thérapie génique

D'un point de vue théorique, le principe de la thérapie génique est simple: pour guérir les maladies dues à une mutation dans le génome, on incorpore un gène sain dans les cellules. Il est ainsi possible de combattre la cause des maladies. On distingue la thérapie génique somatique, qui ne modifie que des cellules de l'organisme par génie génétique, de la thérapie génique germinale. Une thérapie germinale, qui porte aussi sur les ovocytes et les spermatozoïdes, aurait des répercussions sur tous les descendants. Celle-ci est rejetée pour des raisons éthiques.

Des virus comme taxis génétiques

Il existe deux types de thérapies géniques: 1. Dans la thérapie ex vivo, on prélève des cellules chez le patient. Le génome défaillant à l'intérieur des cellules est ensuite corrigé en laboratoire. Les cellules traitées par génie génétique sont enfin réinjectées dans l'organisme. 2. Dans la thérapie in vivo, les gènes sont introduits directement dans les cellules de l'organisme. Ces deux procédés font appel à un virus en guise de taxi génétique. Les virus peuvent en effet amener les cellules à incorporer l'ADN viral dans le génome. On utilise cette aptitude pour transporter le gène thérapeutique dans les cellules malades.

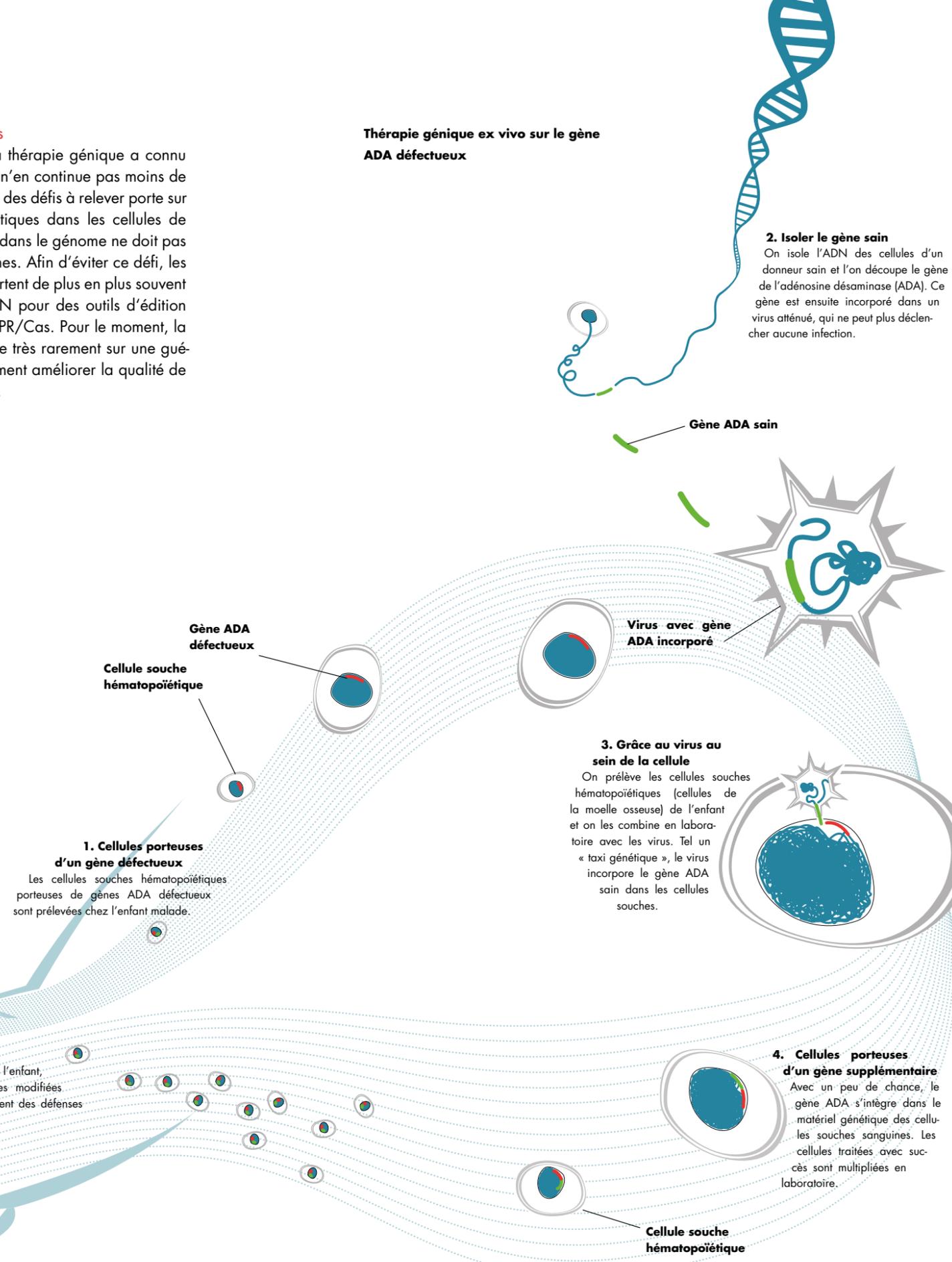
Une voie très prometteuse, mais avec des revers

Le premier cas de thérapie génique remonte à 1990 aux Etats-Unis, chez une fillette de quatre ans qui souffrait d'une immunodéficiência congénitale. Cette maladie est due à une anomalie d'un gène, l'enzyme adénosine désaminase (ADA). En l'absence de cette enzyme, des produits de dégradation nocifs s'accumulent dans le sang, ce qui entraîne la destruction de cellules importantes du système immunitaire. Toute infection devient alors potentiellement mortelle. Grâce à la thérapie génique, des enfants atteints ont pu être guéris. Toutefois, quelques-uns développèrent ultérieurement une leucémie, à la suite de quoi les traitements furent stoppés. Cet exemple montre à quel point il est important de peser soigneusement les bénéfices et les risques avant toute thérapie génique. Depuis lors, les interrelations ont été analysées et des améliorations ont été apportées au traitement.

Des progrès en dépit des obstacles

Au cours des dernières années, la thérapie génique a connu de nombreuses améliorations. On n'en continue pas moins de chercher le taxi génétique idéal. L'un des défis à relever porte sur l'introduction des gènes thérapeutiques dans les cellules de l'organisme. De plus, l'intégration dans le génome ne doit pas retentir sur la fonction d'autres gènes. Afin d'éviter ce défi, les taxis génétiques modernes transportent de plus en plus souvent des séquences de gènes ou d'ARN pour des outils d'édition ciblée du génome tels que le CRISPR/Cas. Pour le moment, la thérapie génique ne débouche que très rarement sur une guérison, mais elle peut considérablement améliorer la qualité de vie ou allonger l'espérance de vie.

Thérapie génique ex vivo sur le gène ADA défectueux



Le saviez-vous ?

Les taxis génétiques peuvent aussi être des lipides ou des nanoparticules.

Le saviez-vous ?

Aujourd'hui, les ciseaux à gènes sont de plus en plus utilisés dans les thérapies génétiques. Ces outils permettent une intégration stable et précise du gène souhaité dans le génome.

2.3 Vaccins et anticorps

Mieux vaut prévenir que guérir ou, en d'autres termes, mieux vaut se faire vacciner que tomber malade. Surtout lorsqu'il s'agit de maladies potentiellement mortelles. Il existe deux types de vaccins. Dans l'immunisation active, l'organisme est stimulé à produire des anticorps dirigés contre l'agent pathogène. Quant à la vaccination passive, il s'agit d'une mesure d'urgence. Dans ce cas, on injecte directement des anticorps, par exemple lorsque l'on est en présence d'un risque de tétanos. Jadis, on devait obtenir les anticorps à partir de dons de sang humain. Désormais, on les produit par génie génétique. On parle alors d'anticorps monoclonaux. Grâce au génie génétique, les fragments de l'agent pathogène requis pour l'immunisation active peuvent aussi être obtenus en laboratoire. Le premier vaccin fabriqué par génie génétique a été autorisé en 1985. Il protège les personnes vaccinées contre l'hépatite B, laquelle – non traitée – aboutit à l'ictère et au cancer du foie. Depuis peu, les anticorps sont également utilisés en appoint pour traiter des maladies chroniques. On dénombre déjà 18 anticorps produits par génie génétique qui sont autorisés comme médicaments – par exemple contre les rhumatismes ou les allergies. Autre exemple : un anticorps qui ralentit la dégénérescence oculaire et préserve ainsi la vue des personnes âgées.

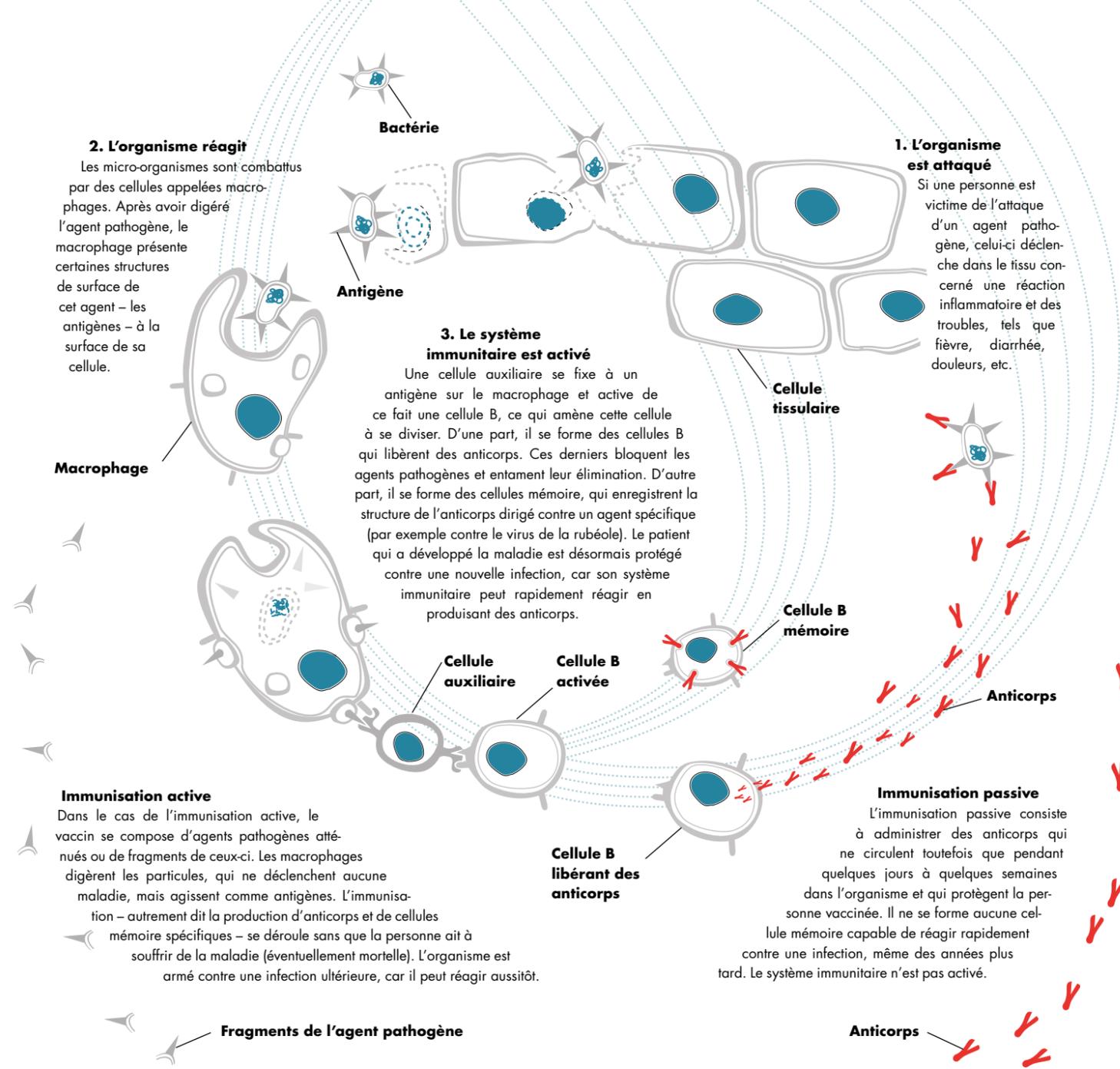
Anne trouve que c'est débile de se faire vacciner. Mais Papa a expliqué que la piqûre protège d'une maladie où elle devrait rester au lit et pourrait peut-être attraper une grave inflammation du cerveau. Anne ne comprend pas tout à fait. Mais Papa lui a dit aussi qu'elle recevra un nouveau livre d'images si elle est courageuse quand on la vaccine. Et ça, Anne l'a très bien compris.

Optimisation des vaccins

La recherche s'efforce constamment d'améliorer les vaccins. Par exemple contre le paludisme, qui provoque chaque année la mort de trois millions de personnes. Ici, c'est le séquençage du génome de l'agent pathogène qui fournit la base de nouvelles cibles thérapeutiques. C'est en particulier aussi grâce au génie génétique que l'on peut réagir aujourd'hui plus efficacement à de nouveaux agents pathogènes, tels que les virus responsables du SRAS ou de la grippe (aviaire). Une nouvelle approche consiste à utiliser des fragments d'ADN de l'agent comme vaccin. Les vaccins à ADN présentent l'avantage de ne devoir être administrés qu'une seule fois, et d'être plus faciles à conserver. Pour les pays du Sud, cet aspect serait d'une grande importance.

Vacciner contre le cancer

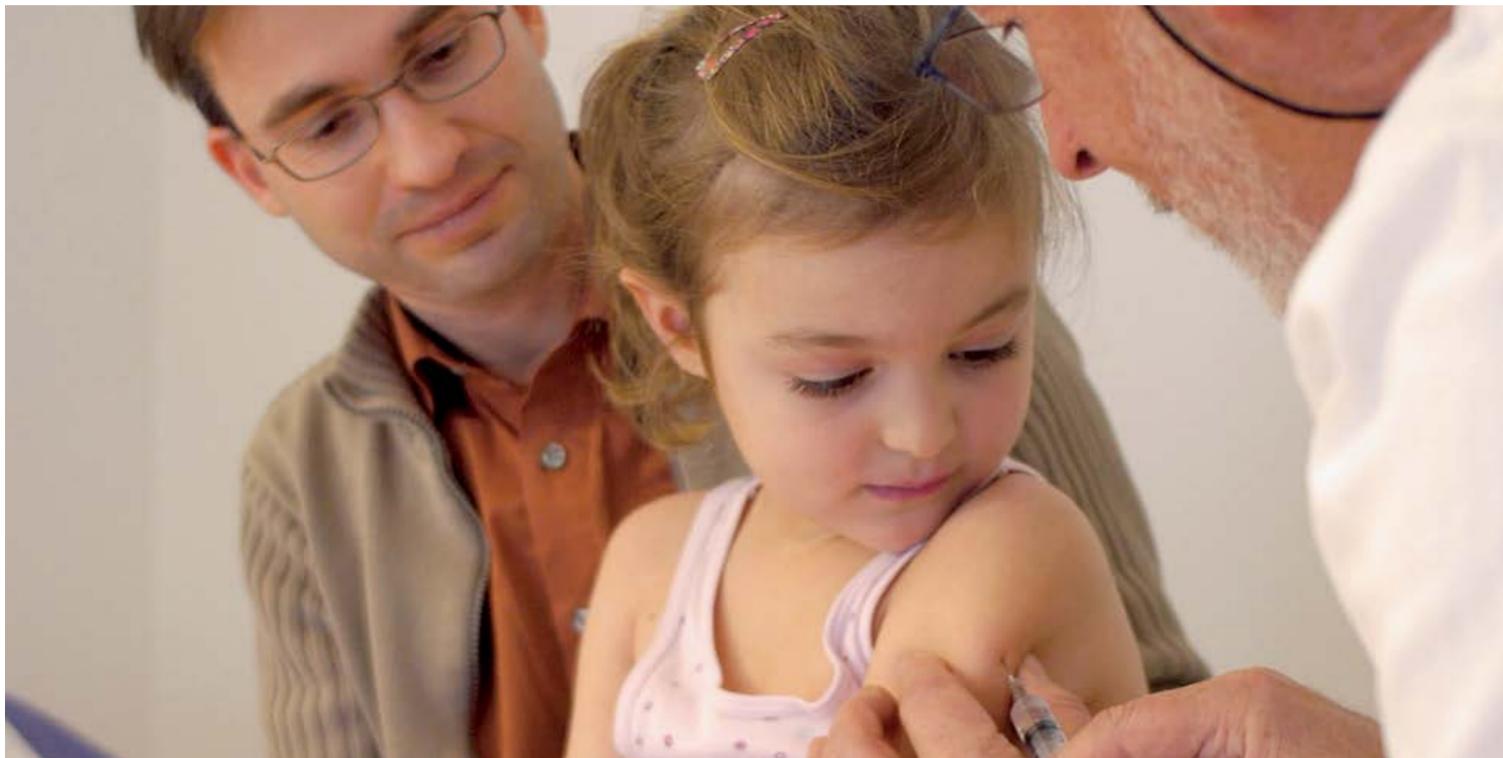
Nous connaissons avant tout les vaccinations contre les maladies infantiles et comme mesure de protection lors de voyages à l'étranger. Mais la recherche travaille aussi à développer des vaccins contre le cancer, le diabète ou la maladie d'Alzheimer, pour n'en citer que quelques-unes. Depuis peu, on dispose également d'un vaccin contre le cancer du col de l'utérus, deuxième type de cancer par la fréquence chez la femme. Caractéristique de ce cancer : il est majoritairement déclenché par le virus du papillome humain (VPH). Le vaccin fabriqué par génie génétique protège contre quatre types de virus et prévient environ 70% des cancers. Le vaccin n'agit toutefois que chez les femmes qui n'ont pas encore été en contact avec le virus, de sorte qu'une vaccination devrait avoir lieu avant les premiers rapports sexuels.



2.4 Méthodes de dépistage

Pour diagnostiquer les maladies infectieuses, on doit cultiver les agents responsables prélevés dans le sang, l'urine ou les selles du patient ou identifier des anticorps spécifiques. Or, ces procédés sont parfois très longs. Aujourd'hui, on recourt souvent à des méthodes de génie génétique, qui détectent le matériel génétique de l'agent. Les diagnostics peuvent ainsi être posés plus rapidement et avec une plus grande fiabilité. Un exemple : quelques semaines peuvent s'écouler entre le moment où

est contractée une infection à VIH et l'apparition détectable d'anticorps anti-VIH. En revanche, le test de génie génétique, dans lequel on recherche des fragments d'ADN du VIH, est déjà fiable peu de temps après la contamination. Même si l'agent responsable est connu, l'utilisation de méthodes de génie génétique est positive. L'analyse des VIH montre par exemple s'il s'agit d'une variante génétique du virus résistante à certains médicaments. Il est alors possible d'adapter le traitement.



2.5 Immunologie des tumeurs

Lutter contre le cancer avec son propre système immunitaire: un idéal qui habite les chercheurs depuis longtemps. L'immunologie des tumeurs offre aujourd'hui une approche prometteuse dans le monde médical. Toutefois, les thérapies ne fonctionnent pas toujours. Dans les prochaines années, des études cliniques devraient permettre de répondre à plusieurs questions encore en suspens. La médecine s'est malgré tout enrichie de pistes thérapeutiques très prometteuses.

Système immunitaire et cancer

Notre système immunitaire fonctionne comme un système de défense contre les intrus indésirables tels que bactéries, virus ou champignons. Il peut également détecter des cellules modifiées dans notre organisme et les éliminer. Les cellules cancéreuses sont des cellules normales qui se sont modifiées de manière génétique ou épigénétique et se multiplient de façon incontrôlée. Lorsqu'elles infiltrent un tissu sain, les cellules cancéreuses peuvent le supplanter et le détruire. En cas de cancer, les défenses immunitaires se révèlent généralement insuffisantes pour lutter contre les cellules anormales. Qui plus est, les cellules cancéreuses sont certes reconnues par notre système immunitaire, mais pas détruites. Un secret, qui n'a été dévoilé qu'au cours des années 1990, est à l'origine de l'immunologie des tumeurs: les chercheurs James P. Allison et Tasuku Honjo ont découvert que certaines protéines agissent comme un

frein sur le système immunitaire et empêchent celui-ci de combattre les cellules cancéreuses. Les chercheurs ont reçu le prix Nobel de médecine en 2018 pour leur découverte révolutionnaire. Il existe aujourd'hui deux approches pour traiter un cancer: l'immunothérapie passive mise sur la destruction directe des cellules cancéreuses, tandis que l'immunothérapie active renforce le système immunitaire et attaque ainsi indirectement les cellules cancéreuses.

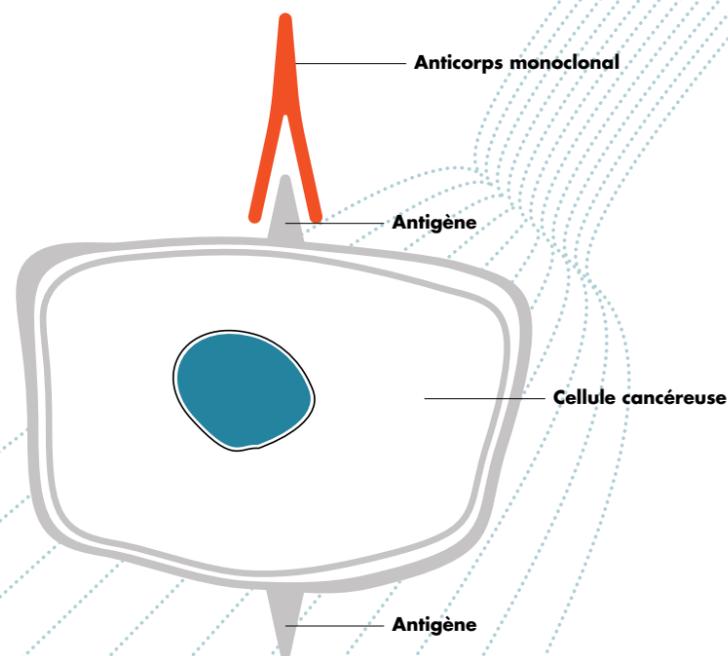
Immunothérapie passive

Dans le cas de l'immunothérapie passive, les chercheurs doivent comprendre exactement comment les protéines de surface des cellules cancéreuses, appelées antigènes, se distinguent des cellules normales. Les antigènes sont en fait des fragments de protéines produits à l'intérieur de la cellule et se présentant à sa surface. A partir de ces fragments peuvent être fabriquées des protéines spécifiques, appelées anticorps monoclonaux. Les anticorps monoclonaux se lient de manière sélective avec des antigènes sur les cellules tumorales. Il est déterminant que la structure des antigènes des cellules cancéreuses se distingue de celle des cellules normales. De plus, certains gènes sont lus plus souvent dans les cellules cancéreuses, provoquant une production accrue de protéines. Les anticorps monoclonaux reconnaissent ces différences et peuvent se fixer de manière ciblée sur les cellules cancéreuses et entraîner leur destruction ou en ralentir la croissance. Le premier anticorps thérapeutique a été autorisé en 1997. Les anticorps monoclonaux sont aujourd'hui utilisés de manière probante dans le traitement des leucémies ou des lymphomes. Les anticorps monoclonaux ne sont pas du tout adaptés au traitement de tumeurs solides.

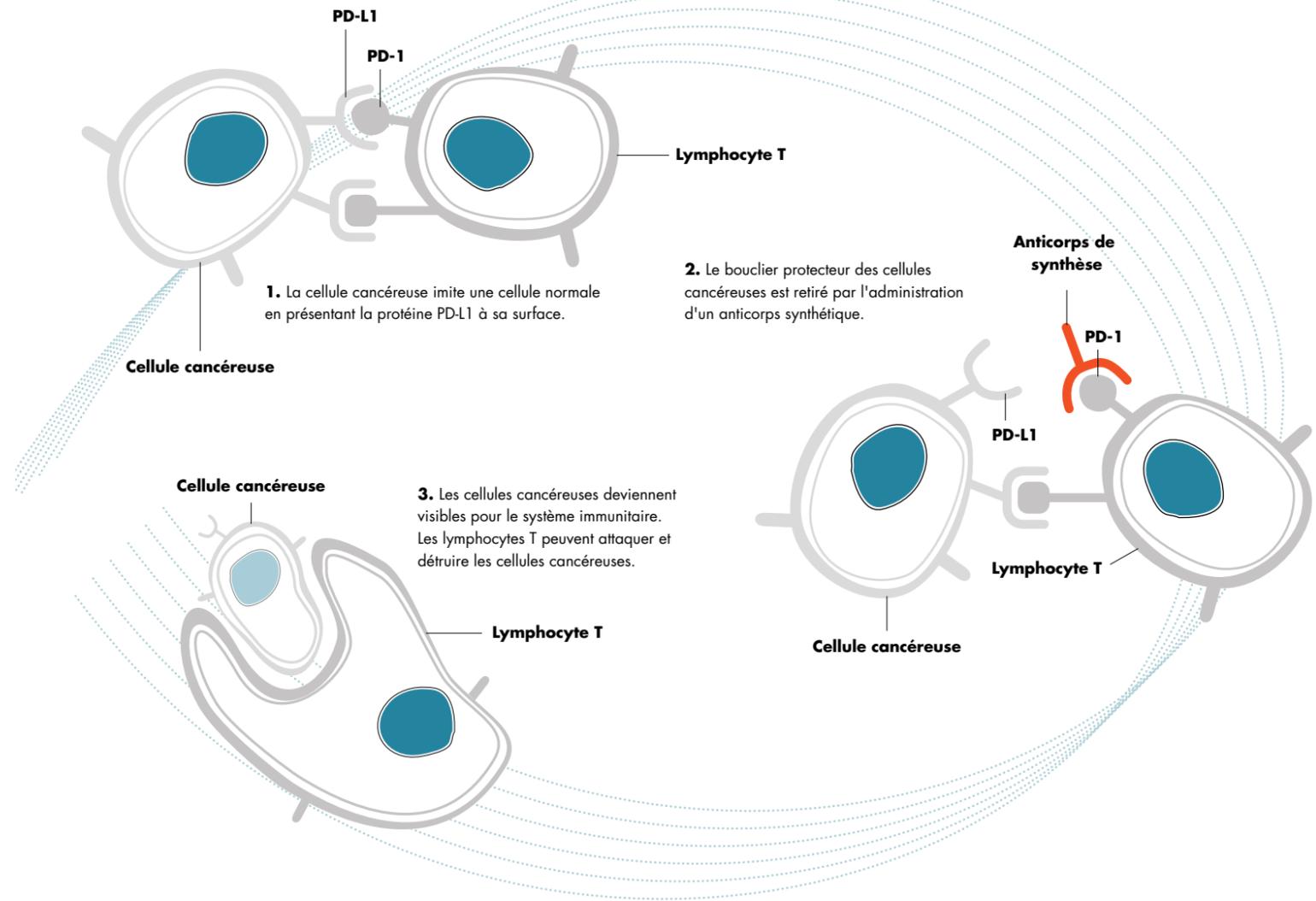
Intervention sur la régulation immunitaire

Avec l'immunothérapie active, le système immunitaire dans son ensemble ou des cellules cibles particulières du système immunitaire est/sont stimulé-es pour s'attaquer aux cellules cancéreuses. L'idée d'activer nos forces d'autoguérison pour lutter contre des maladies a plus de 100 ans. Les traitements les plus prometteurs sont ceux qui empêchent la liaison des cellules cancéreuses à ce qu'on appelle des checkpoints immunitaires, comme PD1 ou CTLA-4. Les cellules cancéreuses utilisent cette liaison pour imiter les cellules saines. Cela les rend invisibles pour notre système immunitaire. Les anticorps de synthèse comme l'ipilimumab ou le nivolumab peuvent se lier aux checkpoints à la place des cellules cancéreuses, neutralisant ainsi le bouclier protecteur de ces dernières. Les médicaments permettent ainsi la communication entre cellules immunitaires et cellules cancéreuses, conduisant finalement à leur destruction. Cette thérapie pourrait en particulier se révéler remarquablement efficace face au mélanome malin. Il convient désormais de mieux comprendre et de limiter les effets indésirables tels que les inflammations et les réactions auto-immunes.

Immunothérapie passive



Immunothérapie active



Transfert adoptif de cellules avec cellules CAR-T

Une autre méthode prometteuse dans le domaine de l'immunothérapie active repose sur l'association entre thérapie génique et thérapie cellulaire. Avec la thérapie CAR-T, des cellules particulières du système immunitaire, les lymphocytes T, sont prélevées sur les patients et génétiquement modifiées en laboratoire. Les lymphocytes T des patients sont alors dotés d'une protéine spéciale, le récepteur antigénique chimérique (CAR). Le CAR est capable de reconnaître de manière ciblée les antigènes sur les cellules cancéreuses et de s'y lier. Les cellules cancéreuses sont ainsi anéanties. Les cellules CAR-T sont alors multipliées en laboratoire, puis

réintroduites chez le patient par perfusion. En raison des effets secondaires importants, ces thérapies sont actuellement réservées aux patients dont les possibilités de traitement ont été épuisées. Et elles font de véritables miracles: des malades de cancers jusqu'alors incurables peuvent être soignés. Souffrant de leucémie lymphoïde aiguë, Emily Whitehead a été la première patiente à pouvoir bénéficier de la thérapie CAR-T en 2012. Cette Américaine âgée d'à peine six ans à l'époque est depuis sans récurrence de cancer. Les thérapies CAR-T sont utilisées avec succès face à différentes formes de cancers du sang.

2.6 Hérité

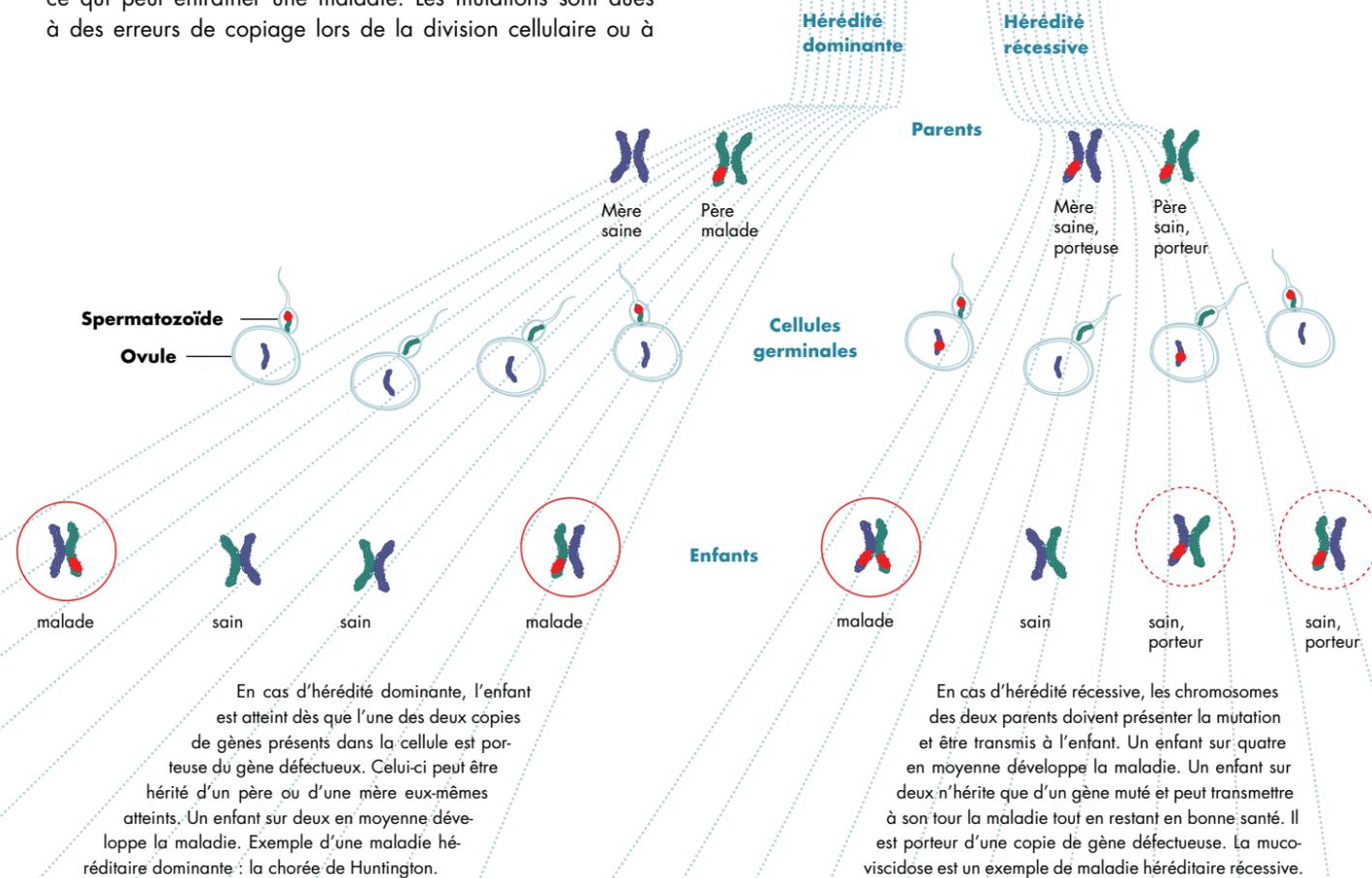
Les membres d'une même famille se ressemblent. Toutefois, les enfants ne sont jamais identiques à leurs parents. La raison en réside dans la recombinaison des gènes parentaux au moment de la transmission héréditaire. Les deux parents fournissent en effet dans l'ovule ou le spermatozoïde un demi-jeu de chromosomes. A la suite de la fusion de l'ovule et du spermatozoïde, l'enfant reçoit un génome à nouveau complet. Ce qui s'avère déterminant, c'est que les gènes peuvent être présents en diverses variantes; on parle alors d'allèles. Dans le gène qui détermine le groupe sanguin, on distingue par exemple trois allèles : A, B et O (zéro). Etant donné que nous héritons des gènes du père et de la mère, chaque gène est présent deux fois – l'expression de l'allèle peut donc être deux fois identique ou différente – autrement dit, par exemple, AA ou AO. L'allèle dominant A s'impose par rapport à l'allèle récessif zéro. Un enfant porteur des allèles A et zéro aura donc le groupe sanguin A. Le groupe sanguin zéro n'apparaît que si l'enfant a hérité de deux allèles zéro.

Mutations comme moteurs de l'évolution

Chaque gène se compose de constituants d'ADN placés dans un certain ordre. Si cet ordre est modifié, le gène est muté, ce qui peut entraîner une maladie. Les mutations sont dues à des erreurs de copiage lors de la division cellulaire ou à

des influences extérieures, telles qu'un rayonnement radioactif. Parfois, une mutation modifie un gène de façon telle qu'il en résulte une protéine améliorée. Par exemple une protéine qui peut stocker davantage d'oxygène. L'être vivant s'en trouve dynamisé. Au cours de l'évolution, les mutations ont entraîné de nouvelles formes de vie. Les animaux porteurs d'une mutation d'un gène codant un pelage blanc disposaient par exemple d'un avantage dans les territoires recouverts de neige et ont constitué une nouvelle espèce au fil du temps.

Le couple Tessier est soucieux. Tous deux se savent porteurs du gène de la mucoviscidose. Une personne sur 2500 est touchée par cette maladie récessive. L'enfant qu'ils attendent en fait-il aussi partie ? Les malades souffrent d'un engorgement des voies aériennes, ce qui entraîne des problèmes respiratoires et cause de graves inflammations. Or, un test génétique permet de contrôler si le fœtus est porteur du gène muté. Les Tessier ne sont pas sûrs de vouloir se soumettre à ce test. Ils espèrent obtenir des clarifications lors d'un entretien avec un spécialiste de génétique médicale.



2.7 Tests génétiques

La plupart des tests génétiques qui sont réalisés concernent des personnes présentant des symptômes pathologiques. Connaître les causes génétiques aide à comprendre la maladie et à évaluer son cours. Dans le traitement du cancer, les tests génétiques à visée diagnostique jouent un rôle important. A côté des tests diagnostiques, il existe également des tests prédictifs. Ceux-ci dépistent des maladies qui ne se sont pas encore déclarées, par exemple la chorée de Huntington transmise sur le mode dominant. Celle-ci entraîne une dégénérescence de composants du système nerveux s'accompagnant de graves handicaps pour le patient. Etant donné qu'il n'existe pas de prévention possible, connaître l'existence de la mutation est extrêmement éprouvant, mais peut être important pour le choix de vie. Dans le cas de maladies héréditaires dont on peut éviter l'apparition, les tests génétiques prédictifs présentent un grand avantage. Par exemple pour la phénylcétonurie, une maladie du métabolisme, qui est systématiquement recherchée en Suisse chez tous les nouveau-nés.

Tests génétiques prénatals

Par diagnostic prénatal, on entend des examens destinés à dépister ou à exclure certaines maladies chez l'enfant à naître. S'il existe des maladies héréditaires dans la parenté ou toute autre forme de suspicion, on peut analyser le matériel génétique du fœtus. En cas de résultat pathologique, les parents n'ont généralement que deux possibilités : soit faire l'option de la vie avec l'enfant malade ou handicapé, soit décider une interruption de grossesse.

Ethique

Les tests génétiques se distinguent d'autres types de diagnostics médicaux : leurs résultats restent valables sur de longues périodes et peuvent aussi concerner des proches parents. Les informations que fournissent les tests génétiques sur une grave maladie héréditaire ont des répercussions sur le choix personnel de vie et le planning familial. Le recours aux tests prédictifs de maladies varie très fortement selon les individus. Certaines personnes apprécient l'option qui leur est proposée et la considèrent comme une possibilité supplémentaire de mener une vie autonome. D'autres préfèrent ne pas chercher à savoir s'ils risquent de contracter la grave maladie héréditaire existant dans leur famille. D'un point de vue éthique, il importe d'exiger que les intéressés ne se prononcent qu'après une information approfondie pour ou contre un test (consentement éclairé). Car il existe aussi un droit de ne pas savoir. Les personnes concernées doivent se voir proposer une consultation médicale et un accompagnement poussés. Si l'on est en présence de résultats de tests génétiques qui laissent entrevoir une maladie ultérieure, il faut s'assurer que celle-ci n'entraînera pas de discriminations en matière d'assurance ni sur le marché du travail. En Suisse, ces principes sont inscrits dans la loi.

2.8 Médecine reproductive

Depuis 1978, la fécondation in vitro permet de déclencher une grossesse chez les couples qui n'arrivent pas à avoir d'enfant. Jusqu'à présent, plus de cinq millions d'enfants ont vu le jour grâce à cette technique. En Suisse, quelque deux milles enfants sont nés chaque année, qui ont été artificiellement engendrés. La fécondation in vitro n'est pas une technique génétique en tant que telle, mais elle consiste à féconder un ovule en le mettant en présence directe de spermatozoïdes. Pour cela, il faut tout d'abord procéder au prélèvement de l'ovule chez la femme. Quelques jours après la fécondation, on transfère un à trois embryons dans l'utérus de la femme. Comme lors de la procréation naturelle, tous les embryons ne se fixent pas forcément dans la matrice utérine.

Examen des tout-petits

Contrairement aux embryons s'étant naturellement développés dans l'utérus de la mère, les embryons in vitro peuvent être examinés par le médecin dès les premiers stades de développement. Outre les examens externes au microscope – les embryons étant alors trop petits pour être vus à l'œil nu, on peut également procéder à des analyses génétiques. On appelle cela le diagnostic préimplantatoire (DPI). Ce procédé consiste à prélever une cellule sur l'embryon âgé de quelques jours, afin d'analyser son matériel génétique et de détecter d'éventuelles anomalies. L'embryon continue de se développer malgré cette cellule manquante.

Ethique

Pratiqué depuis 1990 à l'étranger, le DPI est autorisé en Suisse à compter depuis premier septembre 2017 dans les centres de fertilité accrédités, pour les couples porteurs de maladies génétiques graves ou n'arrivant pas à avoir des enfants de façon naturelle. D'un point de vue éthique, il faut disposer de raisons déterminantes pour laisser mourir les embryons présentant un résultat négatif au lieu de les implanter dans l'utérus. S'agit-il d'embryons sans aucune chance de se développer ou atteints de maladies mortelles ? Détruit-on des embryons sains seulement pour sélectionner celui qui permettra une transplantation de cellule chez le frère ou la sœur malade ? Quel est l'impact psychique et physique chez les parents ? A cet égard, l'évaluation du DPI comparé au diagnostic prénatal (DPN) est un point important. Dans le cadre du DPI, un embryon créé en laboratoire et présentant une maladie ou un handicap ne sera pas implanté dans l'utérus de la mère. Le DPN se déroule, lui, pendant la grossesse. Si l'on diagnostique une maladie grave ou un handicap chez l'embryon ou le fœtus dans l'utérus de

Applications du diagnostic préimplantatoire

S'il existe des maladies génétiques dans la famille, on peut alors vérifier si l'embryon porte le gène défectueux. Grâce au DPI, les couples concernés peuvent sélectionner les embryons qui ne sont pas porteurs de la maladie génétique. Les autres embryons meurent aux premiers stades de développement. Le DPI révèle également la présence éventuelle de chromosomes supplémentaires ou manquants. La plupart de ces anomalies, appelées monosomies et trisomies, entraînent la mort de l'embryon pendant la grossesse. Grâce au DPI, on peut ainsi identifier les embryons qui n'ont aucune chance de survie et ne pas les implanter dans l'utérus, ce qui contribue à réduire le nombre de fausses couches suite à une fécondation in vitro.

Par ailleurs, le DPI permet de donner vie à un « bébé sauveur ». Contrairement à ce que l'on peut penser, ces enfants ne sont sujets à aucune modification génétique. A l'aide du DPI, on choisit un embryon dont les tissus sont compatibles avec ceux d'une sœur ou d'un frère déjà né(e) et gravement malade. Après la naissance du bébé sauveur, on prélève des cellules dans le sang du cordon ombilical ou dans la moelle osseuse afin de traiter le frère ou la sœur malade.

la mère, les parents optent dans la plupart des cas pour un avortement. Les considérations éthiques quant au DPI ou au DPN diffèrent sur des aspects essentiels, et notamment en ce qui concerne la charge pour la mère, qui doit être réduite autant que possible, ou la décision à prendre, une situation tout à fait différente selon que l'embryon est déjà dans l'utérus de la mère ou encore en laboratoire. Pour les couples atteints de maladies génétiques graves, le DPI peut être d'un grand secours. Par ailleurs, le DPI permet également de réduire considérablement le nombre de fausses couches après une fécondation in vitro. Ces nouvelles possibilités utiles aux patientes et aux enfants nécessitent toutefois une réglementation adaptée. Mais comment peser le pour et le contre au cas par cas, en toute responsabilité ? Y a-t-il un risque qu'avec le temps le DPI soit étendu à un nombre croissant de maladies moins graves ? Qui doit décider si le recours au DPI est justifié ou non dans la situation concrète d'un couple ?

Diagnostic préimplantatoire

L'illustration montre un embryon humain – environ au troisième jour de son développement – chez lequel on a prélevé une cellule à l'aide d'une pipette d'aspiration. La photo a été prise au microscope. A l'œil nu, l'embryon est invisible ou n'apparaît tout au plus que comme un point minuscule. A partir du matériel génétique de la cellule prélevée, on peut analyser génétiquement un embryon conçu en laboratoire avant de le transférer dans l'utérus.



2.9 Médecine légale

L'amplification en chaîne par polymérase (ACP ou PCR) sert à produire des quantités d'ADN mesurables (voir chapitre 1.2). Grâce à la technique PCR, on peut multiplier des traces minuscules d'ADN et être ainsi en mesure de procéder à une analyse. On utilise ce procédé en médecine légale pour confondre un criminel à partir de son empreinte génétique ou pour disculper un innocent. Si un homme est soupçonné d'avoir commis un crime sexuel, son ADN est analysé. La comparaison de son profil génétique avec celui des cellules sanguines ou des spermatozoïdes retrouvés chez la victime fournit une réponse indiscutable. La technique de l'empreinte génétique est également utilisée pour établir une paternité contestée. La comparaison des ADN montre si la personne en question est bien le père de l'enfant.

Une information entre les gènes

L'empreinte génétique se présente sous la forme de bandes spécifiques qui sont colorées après réalisation d'une PCR et d'une électrophorèse, et qui apparaissent dans le gel. Si le modèle caractéristique fournit des résultats aussi concluants pour la médecine légale, c'est que la probabilité que deux individus affichent les mêmes bandes est infime (sauf chez

des jumeaux unicellulaires). Ce que l'on analyse, ce ne sont pas les gènes, ce sont de petits segments répétitifs du patrimoine génétique. Ceux-ci se situent sur l'ADN entre les gènes et ne sont pas copiés en ARN. Des fragments d'ADN situés côte à côte et se répétant souvent se retrouvent dans le génome de tous les êtres humains, mais le nombre des répétitions est différent d'un individu à l'autre. Ce sont ces différences que l'on étudie dans l'empreinte génétique. Si l'on analyse plusieurs de ces régions et que l'on combine les résultats, il est extrêmement peu vraisemblable que l'on puisse confondre deux personnes. Contrairement au séquençage de gènes, l'empreinte génétique, qui n'analyse que la longueur et les répétitions de fragments sélectionnés, ne permet pas d'en déduire les propriétés d'un individu – la prédisposition à une maladie, par exemple.

III Agriculture et alimentation



L'utilisation du génie génétique dans les obtentions végétales, l'agriculture et l'alimentation est désignée sous le nom de génie génétique vert. Alors que les plantes transgéniques sont cultivées depuis déjà des années sur des superficies énormes dans diverses régions du monde, ce sont la réserve et le scepticisme qui prévalent en Europe à l'égard de cette nouvelle technologie. Les aliments modifiés par génie génétique sont-ils donc un bienfait ou un risque pour l'humanité? Une question dont discutent vivement non seulement les experts, mais aussi les quatre étudiants ci-après vivant en communauté.

«Vous avez faim?», demande Marc à ses colocataires. «Une faim de loup!», répond Pierre. «Alors préparons des spaghettis avec de la salade. C'est rapide et c'est toujours bon.» Marc approuve et sort un paquet de pâtes de l'armoire. «Attention, problème!», s'écrit Cécile, «il est écrit ici que du maïs génétiquement modifié a été importé sans autorisation en Suisse. Les organisations de protection des consommateurs mettent en garde contre les risques pour la santé.» Pierre, qui étudie depuis quatre ans la biotechnologie végétale, s'efforce de calmer le jeu: «Ah!, encore une chose que tu as lue dans le journal. Mais ça ne vaut vraiment pas la peine d'en faire tout un plat.» Cécile hoche la tête: «Les OGM sont dangereux, tout le monde le sait. En tout cas, moi, je n'en veux pas.» «Alors, c'est que tu as un problème.» Pierre explique à Cécile qu'aujourd'hui le génie génétique est présent partout dans la vie quotidienne: «Ton pull et tes jeans ont été fabriqués je ne sais où à partir des fibres d'un coton produit par génie génétique. Quand tu fais ta lessive, tu emploies des enzymes produites par génie génétique, et notre chocolat contient de la lécithine provenant de soja génétiquement modifié. Sans parler des médicaments.» A cet instant, Fabienne entre dans la cuisine. Son regard s'arrête sur l'expression du visage de Cécile: «Est-ce qu'il y a un problème?» Marc sourit: «Non. Juste une petite discussion. Assieds-toi. Le repas est prêt.»

Au moment de faire la vaisselle, Pierre revient sur le sujet: «Cécile, je comprends très bien que les OGM te préoccupent. On entend tout le temps des choses négatives sur la question.» «Justement», répond sa colocataire. Pierre explique: «Mais il y a beaucoup de contrevérités. Il n'y a aucune preuve que le génie génétique soit dangereux.» «Que tu dis. Mais, ici, finalement, c'est toi le spécialiste...», lui lance Cécile. «Qu'est-ce que les chercheurs savent donc aujourd'hui sur des conséquences éventuellement négatives à long terme?» Pendant que Marc prépare un café, il se lance dans un commentaire: «C'est un point important que les scientifiques doivent toujours garder à l'esprit. Autre chose: nous ne sommes pas ici dans une zone de non-droit. Chez nous, le génie génétique vert est très sévèrement encadré par la loi – beaucoup plus sévèrement que dans la plupart des autres pays.» «Et qu'est-ce qui se passera s'il arrive quelque chose tout à côté, en France?», réplique Cécile. «Un organisme génétiquement modifié qui se propage sans contrôle ne s'arrête pas à la frontière!»

«J'ai encore besoin de quelque chose de sucré. Est-ce que nous avons du chocolat dans la maison?», demande Fabienne. «Oui, génétiquement modifié!», se moque Marc. Fabienne prend une tablette et commence à lire la liste des ingrédients: «Il y a de la lécithine de soja, mais je ne vois aucune mention de génie génétique.» «Ça ne veut pas dire que la lécithine ne provienne pas de soja génétiquement modifié. Les composants purifiés ne doivent pas être mentionnés», dit Pierre, qui est au courant. Fabienne est étonnée: «Autrement dit, je mange peut-être ici un aliment génétiquement modifié sans le savoir?» «C'est bien possible. Mais c'est exactement la même lécithine que dans du soja normal.», la rassure Pierre. «Peu importe», réplique Cécile, «je ne veux pas manger d'OGM. Basta!» «Tu as ta nourriture bio.», dit Marc. «Je vais mettre un peu de musique. Des préférences au DJ?»

La discussion continue pendant le dîner. Cécile regarde attentivement le paquet de spaghettis: «C'est bien qu'on ait chez nous l'obligation de mentionner la présence d'OGM dans la nourriture. On peut au moins choisir soi-même ce que l'on veut manger. En tout cas, ces spaghettis sont naturels.» «Qu'est-ce que ça veut dire... naturels?», réplique Marc. «Bonne question, Marc, on pourrait qualifier ces pâtes de nourriture mutante.» Après cette remarque, Pierre surprend un regard noir de Cécile: «Tu exagères!» «Pas du tout», poursuit Pierre, «les variétés actuelles de blé dur sont nées d'une culture par mutation. On a procédé à une irradiation pour modifier le patrimoine génétique du blé. Et il en est résulté de nouvelles variétés. Personne ne sait exactement ce qui s'est passé avec ces plantes.» «Et personne ne s'en soucie», ajoute Marc, «mais les choses ont bon goût.» Cécile n'est pas impressionnée: «Eh bien! Ça me fait passer l'envie de manger. Demain, c'est mon tour de faire la cuisine. Là, on mangera au moins bio, il n'y aura pas de génie génétique là-dedans.»



3.0 Obtentions végétales

Les plantes cultivées constituent la principale source de nourriture pour l'homme et l'animal. Or, en dépit de toutes les mesures de précaution, 25–40% des récoltes sont détruites par les parasites, les maladies et les mauvaises herbes. La sélection de variétés résistantes et productives est donc un objectif important de l'agriculture. Depuis que les hommes ont commencé à pratiquer l'agriculture, il y a 10 000 ans, ils ont sélectionné chaque année les plantes particulièrement avantageuses et ont continué à les reproduire. De cette intervention constante dans la nature sont nées au fil des millénaires un grand nombre de plantes cultivées qui se distinguent radicalement de leurs ancêtres, les plantes sauvages.

« Qu'est-ce que tu fais exactement dans ton laboratoire ? », se renseigne Fabienne auprès de son voisin de table. « Nous voulons comprendre comment un plant de pomme de terre se protège contre une attaque de champignon. Les pommes de terre sauvages savent le faire. Nous essayons maintenant de trouver des gènes de résistance et de les transférer chez des variétés cultivées sensibles à la maladie », explique Pierre. « Ça m'a l'air très technique. Est-ce qu'il n'y a pas de risques pour la nature ? », insiste Fabienne. « C'est un point important. Heureusement, d'un point de vue écologique, la pomme de terre est justement sans problème. Elle se reproduit par des tubercules, pas par du pollen. Les gènes incorporés ne peuvent donc pas se croiser avec ceux d'autres plantes. Nous cherchons à produire une pomme de terre qui se protège elle-même. Il faudra ensuite moins de chimie, moins de pulvérisations. » Pierre résume son attitude : « Autrement dit, je me considère comme un Vert moderne. »

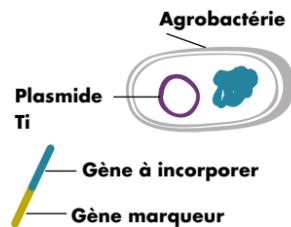
Méthodes de la biotechnologie

Les méthodes d'obtention n'ont cessé d'être élargies au cours des cent dernières années : pollinisation contrôlée (froment, par exemple), culture de semences hybrides pour augmenter le rendement en multipliant le nombre de jeux de chromosomes (maïs, par exemple) ou sélection par mutation, c'est-à-dire en traitant des plantes par des substances chimiques modifiant le patrimoine génétique ou par bombardement radioactif (nectarine, par exemple). L'introduction de méthodes biotechnologiques a permis d'obtenir des plantes en laboratoire à partir de cultures cellulaires. Cette technique est utilisée pour multiplier des plants de pommes de terre exempts de virus. Toutes les méthodes d'obtention reposent sur un processus commun : la modification durable du génome végétal.

En 1983, des chercheurs sont parvenus pour la première fois à obtenir une plante transgénique : une équipe a en effet réussi à transférer un gène d'une bactérie dans un plant de tabac. Cette étape ouvrait des perspectives entièrement nouvelles en matière d'obtention. Même des gènes étrangers à l'espèce – provenant par exemple d'autres variétés végétales, de champignons, d'animaux ou de bactéries – pouvaient désormais être incorporés au génome végétal.

1. Une bactérie comme taxi génétique

« Agrobacterium tumefaciens » est une bactérie du sol qui peut transférer des segments de son patrimoine génétique dans le génome de plantes. Les gènes transférés amènent la plante hôte à fabriquer les protéines dont la bactérie a besoin pour subsister.



2. Le taxi génétique est préparé

Les agrobactéries possèdent des plasmides dits « Ti ». Les chercheurs utilisent ces anneaux d'ADN comme instrument pour incorporer les gènes souhaités. À l'aide de gènes marqueurs, ils peuvent détecter après le transfert de gènes les cellules végétales qui ont intégré dans le génome les gènes étrangers incorporés au préalable dans le plasmide.

Fragments de feuille de l'Arabette des Dames

4. Fusion de cellules bactériennes et végétales

Les agrobactéries et les gènes supplémentaires présents dans le plasmide sont mis en contact avec des fragments de feuille de l'« Arabette des Dames ».

5. Incorporation des gènes

Les cellules végétales blessées situées à la périphérie des fragments attirent les bactéries et les amènent à injecter leur ADN dans la cellule végétale à travers un petit canal de liaison. Quelques-unes des cellules végétales incorporent les gènes souhaités dans leur génome.

Cellule végétale

6. Petite différence, grand effet

Le gène marqueur confère aux cellules végétales la capacité d'utiliser le mannose – un type de sucre – comme aliment. En temps normal, la plante ne le peut pas. Si le milieu nutritif contient du mannose au lieu de sucre de canne, seules survivent les cellules qui possèdent le gène marqueur. À partir de ces cellules, on régénère ensuite des plantes entières qui disposent d'une nouvelle propriété grâce au gène étranger incorporé.

3.1 Du laboratoire au plein champ

Selon le concept du pas à pas, les organismes génétiquement modifiés (OGM) sont soumis à des contrôles de sécurité approfondis avant d'être disséminés dans l'environnement. C'est seulement à partir du moment où – dans l'état actuel des connaissances – on est sûr qu'une plante transgénique est aussi peu problématique que n'importe quelle autre plante que l'on passe à l'étape de l'essai en plein champ. Les essais contrôlés en plein champ sont déterminants, car c'est seulement ainsi que l'on voit si une plante transgénique fait ses preuves dans les conditions complexes de la nature. Outre l'efficacité de la propriété nouvelle incorporée par génie génétique, on analyse aussi les répercussions négatives possibles sur la santé de l'être humain et de l'animal ainsi que sur l'environnement. Il s'écoule en moyenne de dix à quinze ans jusqu'à ce qu'une variété d'OGM reçoive l'autorisation de culture commerciale.

Situation en Suisse

En Suisse, les premiers essais de dissémination ont été réalisés en 1991/1992 par la Station de recherche agronomique de Changins avec des pommes de terre transgéniques résistantes aux virus. Le troisième et pour l'instant dernier essai en plein champ – une équipe de chercheurs de l'EPF de Zurich testait une variété de blé résistante aux champignons – a été précédé de querelles politiques qui ont duré des années. Même une fois l'autorisation obtenue, l'essai a été accompagné de protestations émises par les milieux critiques à l'égard du génie génétique. Avec l'adoption de l'initiative « stop OGM », en novembre 2005, la culture commerciale de plantes transgéniques a été interdite pour cinq ans. Les essais en plein champ à des fins de recherche continuent toutefois à être autorisés.

Sécurité

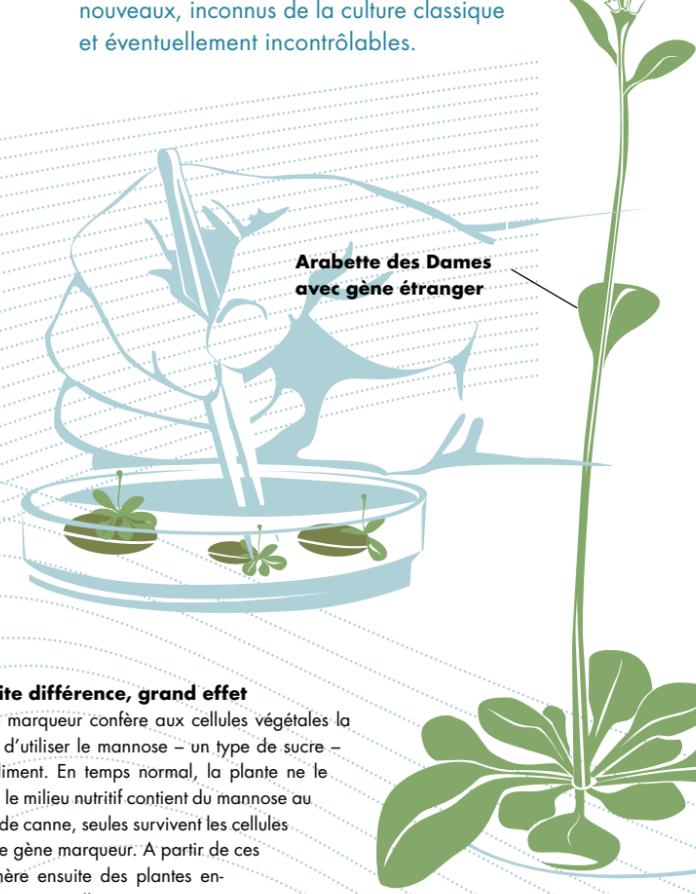
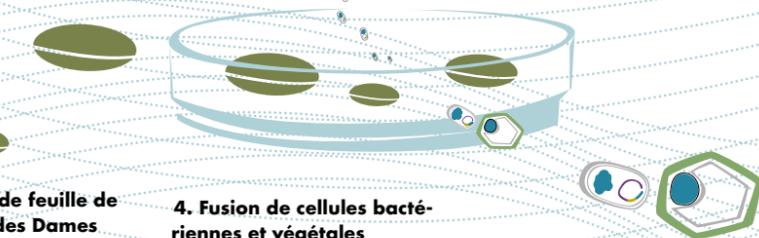
La Suisse possède l'un des arsenaux législatifs les plus sévères au monde en matière de plantes transgéniques. Si une plante transgénique est cultivée à des fins commerciales, des études à long terme – on parle de monitoring – sont exigées. La recherche sur la sécurité biologique se concentre sur des questions telles que : les plantes de culture résistantes aux insectes portent-elles préjudice non seulement au parasite, mais également à d'autres organismes à l'air libre ou dans le sol ? Les transgènes peuvent-ils se transmettre à des variétés sauvages apparentées via la dispersion du pollen ? Un tel transfert de gènes a-t-il des répercussions écologiques négatives ? Les connaissances actuelles provenant de milliers d'essais en plein champ menés de par le monde et d'une longue pratique culturelle commerciale ne fournissent aucun indice démontrant que les plantes de culture transgéniques auraient causé des dommages à l'environnement. À l'heure qu'il est, rien n'indique que le génie génétique pourrait entraîner des problèmes nouveaux, inconnus de la culture classique et éventuellement incontrôlables.



Arabette des Dames

3. Une mauvaise herbe comme modèle

Parmi les plantes utilisées en laboratoire, on trouve souvent une plante de la famille des crucifères, l'« Arabette des Dames » (« Arabidopsis thaliana »). Grâce à son petit génome et à sa facilité de culture, elle sert depuis les années 1940 de plante modèle idéale aux chercheurs.



Arabette des Dames avec gène étranger

3.2 Situation mondiale

Des plantes de culture transgéniques sont cultivées à des fins commerciales depuis 1996. Et, depuis lors, le génie génétique vert a connu un développement imposant dans le monde : en 2006, des variétés génétiquement modifiées ont été cultivées dans 22 pays sur une superficie de 102 millions d'hectares, ce qui correspond à environ la superficie de l'Allemagne, de la France et de l'Italie réunies. Les Etats-Unis, l'Argentine, le Brésil, le Canada, l'Inde et la Chine comptent à cet égard parmi les pays les plus importants. Les plantes de la première génération modifiées par génie génétique concernent essentiellement quatre espèces – le soja, le maïs, le coton et le colza – et se définissent par des caractéristiques de culture améliorées. Pour le soja, la part des plantes transgéniques représente actuellement 64% de la récolte mondiale, et 38% pour le coton. Plus de dix millions d'agriculteurs, pour l'essentiel dans les pays en développement, ont cultivé des plantes transgéniques en 2006. En Europe, les surfaces cultivées sont comparativement modestes. En Suisse, aucune plante transgénique n'a encore été cultivée à des fins commerciales.

Des contributions à la sécurité alimentaire mondiale

Plus de 850 millions d'êtres humains dans le monde souffrent de sous-alimentation et de la faim, soit environ une personne sur huit. Selon les prévisions de l'ONU, la population mondiale passera à neuf milliards d'êtres humains en 2025. Dans le même temps, la surface agricole utile régresse en de nombreux endroits sous les effets de l'érosion, de la salinisation ou de

la prolifération urbaine. Pour que l'humanité dispose de suffisamment de denrées alimentaires à long terme, il faut non seulement opérer une redistribution des biens, mais aussi augmenter les rendements des surfaces cultivables disponibles. Un autre défi consiste à obtenir des plantes de culture qui puissent aussi résister à la chaleur et à la sécheresse ou se développer sur des sols salins. Il s'agit en définitive d'obtenir des plantes présentant une meilleure teneur en nutriments pour remédier aux carences alimentaires. Il est incontestable qu'à lui seul le génie génétique ne pourra pas résoudre le problème complexe de la faim. Les efforts doivent porter tout à la fois sur le plan social, politique et économique, ainsi que sur la formation – en particulier chez les femmes. Mais les méthodes d'obtention par génie génétique peuvent contribuer à atteindre les trois objectifs cités.

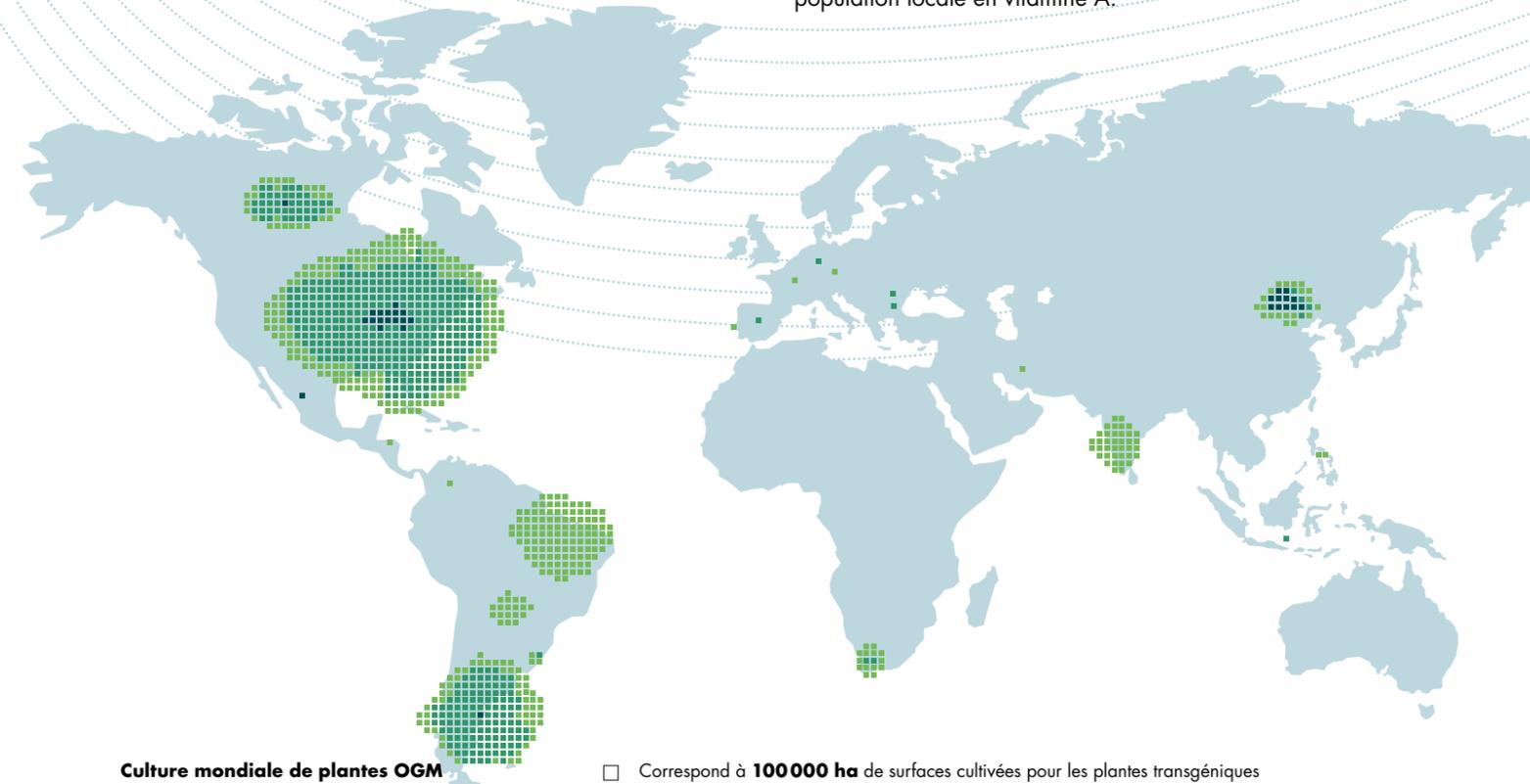
Cécile s'est retirée dans sa chambre. Allongée sur son lit, elle lit une lettre de Saaranya, son amie indienne. Deux fois déjà, Cécile a parcouru l'Inde. Elle est fascinée par cette culture étrangère. Mais également déprimée, quand elle voit la pauvreté et la faim qu'elle y a rencontrées. Pierre lui a parlé du « riz doré ». Un riz qui doit aider à combattre la carence en vitamine A dans les pays en développement. Cécile est pensive. « Ce pourrait-il que ce riz biotechnologique ait malgré tout ses bons côtés ? Je vais demander à Saaranya ce qu'elle en pense. Son oncle est bien paysan. », pense-t-elle, et elle se met à écrire.

Du coton résistant aux insectes

Les plants de coton fournissent la moitié de la matière première requise par l'industrie textile mondiale. Son principal parasite est le ver de la capsule du cotonnier (ou charançon du coton), contre lequel il faut pulvériser de grandes quantités d'insecticides. Comme pour le maïs (voir pages suivantes), on a sélectionné des variétés de coton transgéniques qui synthétisent la protéine Bt dans leurs cellules. Cette protéine protège les plantes contre les insectes ravageurs, tels que la pyrale du coton. Différentes études ont analysé l'expérience faite par les paysans avec le coton Bt, en particulier en Chine et en Inde. Les résultats obtenus en Inde de 2001 à 2006 font apparaître pour les agriculteurs de nets avantages par rapport à la culture des variétés traditionnelles : le recours aux produits chimiques phytosanitaires a pu être diminué dans des proportions allant jusqu'à 70% avec le coton Bt, ce qui a permis de réduire non seulement la charge écologique sur les champs, mais également les risques pour la santé auxquels les intoxications par insecticides exposent les producteurs. Parallèlement, les rendements ont augmenté en moyenne de près de la moitié. Le bénéfice net des agriculteurs a progressé des deux tiers en moyenne. Ces chiffres varient toutefois en fonction du pays, de la région et de la saison de culture.

« Riz doré »

Un exemple de la manière dont le génie génétique vert peut aider à combattre les carences alimentaires dans les pays en développement est apporté par le riz produisant de la provitamine A. Le riz est essentiellement consommé décortiqué, car, sans son écorce, il ne rancit pas et est plus facile à cuire. Le riz décortiqué ne contient cependant pas de provitamine A (bêta-carotène). C'est pourquoi les personnes qui se nourrissent presque exclusivement de riz souffrent souvent de carence en vitamine A. Chez les enfants, cela entraîne une sensibilité accrue aux infections ainsi que des troubles de la vue allant jusqu'à la cécité. Des millions de gens en sont victimes. Or, des chercheurs de l'EPF de Zurich et de l'Université de Fribourg-en-Brisgau sont parvenus – en transférant trois gènes – à développer une variété de riz qui produit lui-même de la provitamine A dans le grain, ce qui lui confère une couleur dorée, d'où le nom de « riz doré » qui l'a rendu célèbre. En tant que projet humanitaire, le riz à provitamine A doit être mis gratuitement à la disposition des petits paysans des pays en développement. Les entreprises impliquées ont largement renoncé à leurs prétentions découlant du brevet. Compte tenu de la lenteur de la procédure d'autorisation de mise sur le marché, il s'écoulera encore quelque temps avant que les paysans puissent planter le « riz doré » et améliorer ainsi l'approvisionnement de la population locale en vitamine A.



Culture mondiale de plantes OGM

Source : International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA), www.isaaa.org

- Correspond à 100 000 ha de surfaces cultivées pour les plantes transgéniques
- Surfaces cultivées en plantes transgéniques en 1996
- Augmentation des surfaces cultivées en plantes transgéniques jusqu'en 2001
- Augmentation des surfaces cultivées en plantes transgéniques jusqu'en 2006

3.3 Denrées alimentaires

En Suisse, quelques plantes génétiquement modifiées ainsi que différents produits issus de micro-organismes transgéniques sont autorisés comme denrées alimentaires ou comme composants de denrées alimentaires.

Enzymes et additifs

Les enzymes sont des protéines spécifiques qui accélèrent des réactions chimiques. On les utilise depuis des millénaires comme auxiliaires technologiques dans la production de denrées alimentaires. Comme exemples tirés de la pratique, on citera la chymosine (enzyme de la présure), utilisée dans la fabrication du fromage, ou les pectinases, utilisées dans la production de jus de fruits. Plus de 90% des enzymes employées proviennent aujourd'hui de micro-organismes génétiquement modifiés. Ceux-ci permettent d'obtenir des enzymes plus pures, plus efficaces et plus respectueuses de l'environnement. Des additifs, tels que les vitamines, les édulcorants, les colorants et les conservateurs proviennent de plus en plus de micro-organismes génétiquement modifiés.

Micro-organismes

Plus d'un quart de nos denrées alimentaires sont fabriquées à l'aide de micro-organismes. Comme cultures initiales (ou cultures «starter»), on utilise les levures pour la production de pain, de vin et de bière, et les bactéries d'acide lactique participent à la fabrication de yoghourt ou de choucroute. Des micro-organismes sont par ailleurs employés comme cultures

de protection pour préserver de l'altération des produits frais sensibles – la viande, par exemple –, car ils bloquent la croissance de germes pathogènes. La recherche expérimente des méthodes de génie génétique pour optimiser les cultures initiales et les cultures de protection.

Un soja tolérant aux herbicides

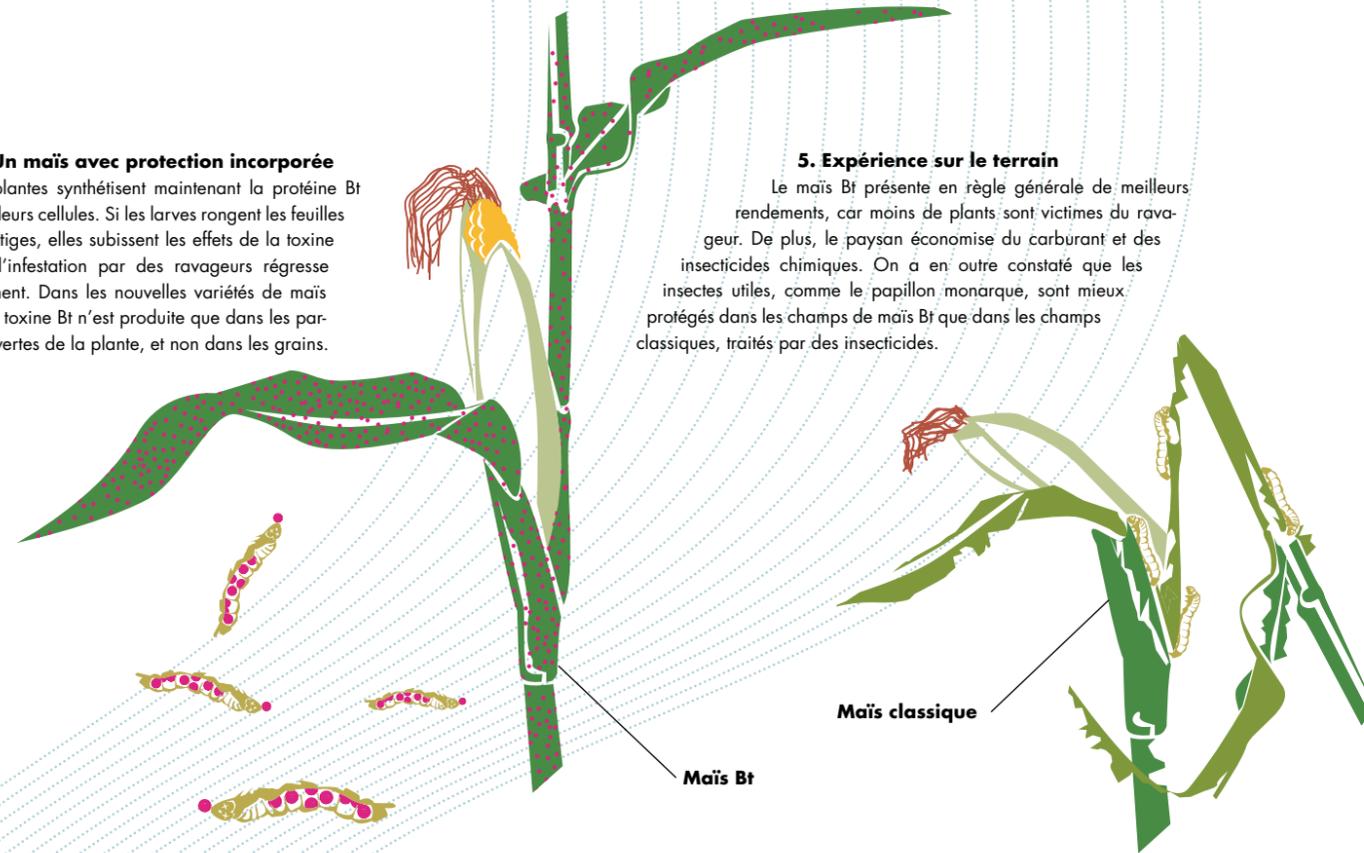
Depuis 1996, un soja transgénique tolérant aux herbicides est autorisé dans notre pays comme denrée alimentaire et aliment pour animaux. Des milliers d'aliments contiennent des produits à base de soja – la lécithine comme émulsifiant dans les sucreries, par exemple. Les mauvaises herbes sont responsables de gros problèmes dans la culture du soja, problèmes que l'on ne peut résoudre qu'en pulvérisant des herbicides. Pour faciliter le contrôle de ces mauvaises herbes, les techniciens génétiques ont obtenu une variété de soja insensible au glyphosate. Le glyphosate est un herbicide qui est rapidement dégradé dans le sol. Si l'on traite les champs de soja transgénique au glyphosate, les mauvaises herbes sont détruites, cependant que le soja continue à pousser. Les paysans ne doivent donc utiliser le produit qu'à partir du moment où la concurrence des mauvaises herbes devient trop forte pour les plants de soja. Le soja transgénique permet en outre une culture du sol sans labour, ce qui évite l'érosion. Ainsi l'agriculteur n'économise-t-il pas seulement du temps, de l'énergie et des produits phytosanitaires, il protège aussi l'environnement.

4. Un maïs avec protection incorporée

Les plantes synthétisent maintenant la protéine Bt dans leurs cellules. Si les larves rongent les feuilles et les tiges, elles subissent les effets de la toxine Bt – l'infestation par des ravageurs régresse fortement. Dans les nouvelles variétés de maïs Bt, la toxine Bt n'est produite que dans les parties vertes de la plante, et non dans les grains.

5. Expérience sur le terrain

Le maïs Bt présente en règle générale de meilleurs rendements, car moins de plants sont victimes du ravageur. De plus, le paysan économise du carburant et des insecticides chimiques. On a en outre constaté que les insectes utiles, comme le papillon monarque, sont mieux protégés dans les champs de maïs Bt que dans les champs classiques, traités par des insecticides.

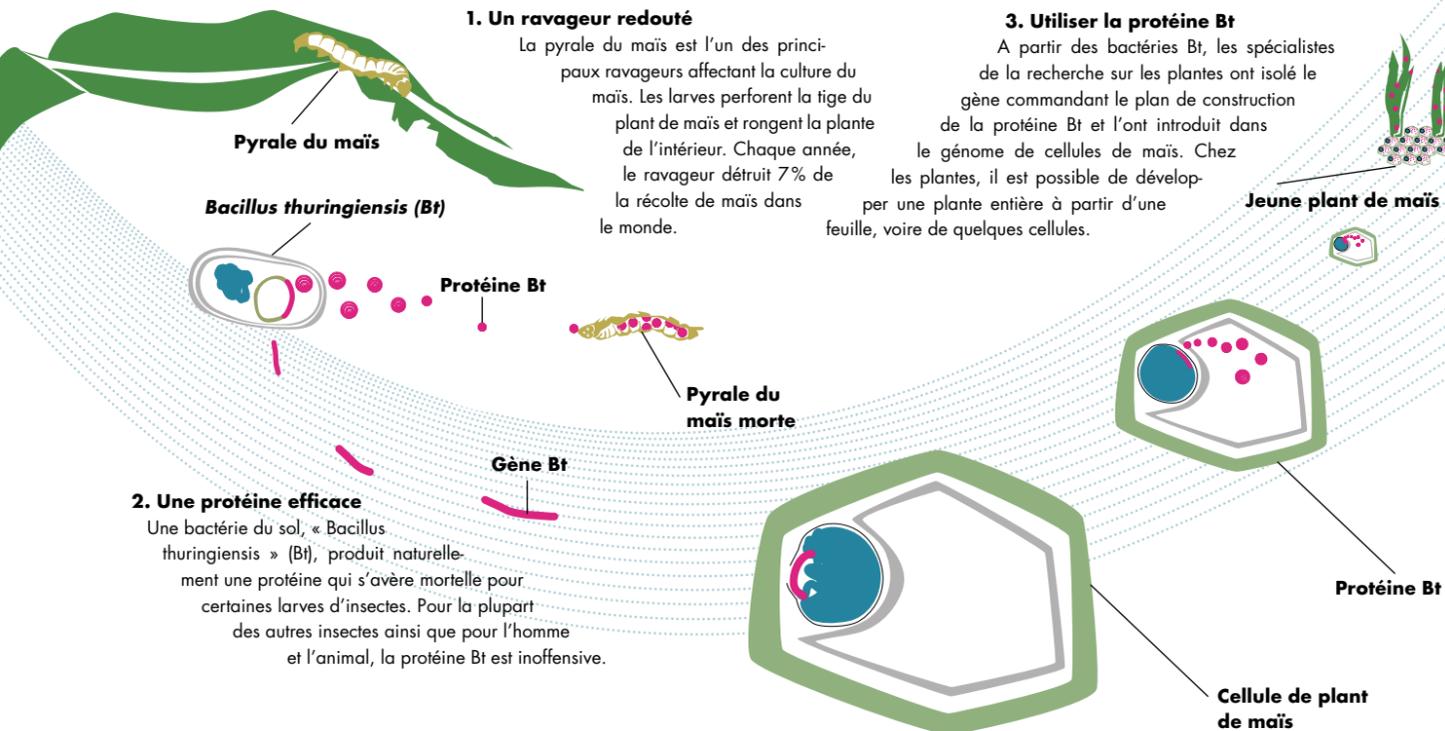


3.4 Un produit génétiquement modifié pour la Suisse

Le champignon « *Phytophthora infestans* » provoque le mildiou de la pomme de terre et anéantit chaque année environ un cinquième de la récolte mondiale. En Suisse, la culture de la pomme de terre entraîne la pulvérisation de 50 tonnes de fongicides par an pour combattre cette maladie. En culture biologique, les paysans utilisent jusqu'à 4 kg de cuivre par hectare. Or, le cuivre s'accumule dans le sol et peut rendre celui-ci stérile à terme. En Amérique du Sud, il existe des formes sauvages de pomme de terre résistantes à *Phytophthora*. Les tentatives menées jusqu'à présent pour introduire par croisement les propriétés de résistance des espèces sauvages chez les variétés commerciales de pommes de terre par les méthodes de sélection traditionnelles ont été peu couronnées de succès. Or, la recherche est parvenue à isoler certains des gènes à la base de cette résistance. Une variété transgénique porteuse de deux gènes de résistance a été testée en Allemagne en 2006 dans des essais en plein champ. Les gènes déclenchent dans les pommes de terre des réactions de défense qui ralentissent la propagation du champignon. Des pommes de terre transgéniques, résistantes aux champignons, constitueraient également pour les paysans suisses une option intéressante pour réduire fortement le recours aux fongicides.

Sécurité

Les aliments génétiquement modifiés comptent parmi les denrées alimentaires analysées avec le plus d'attention. Ils subissent des contrôles de sécurité approfondis. Au nombre de ceux-ci figure la question de savoir si les protéines nouvellement formées peuvent provoquer des allergies. Pour répondre à cette question, on dispose de tests informatiques, de tests de laboratoire et de tests cutanés fiables. Un second aspect important est celui de la toxicologie : les protéines transgéniques ou d'autres composants sont-ils toxiques pour l'homme et l'animal ? Élément important de ces contrôles : les études d'alimentation animale. C'est seulement lorsque l'ensemble des études ont montré qu'un OGM est tout aussi sûr qu'un aliment traditionnel qu'il reçoit son autorisation de mise sur le marché. Depuis plus de dix ans, des aliments génétiquement modifiés sont consommés de par le monde par des millions de personnes sans qu'aucun problème de santé soit apparu jusqu'ici. D'ailleurs : consommer des gènes n'a rien de nouveau. Nous absorbons tous les jours dans notre alimentation – génétiquement modifiée ou pas – environ un gramme d'ADN.



3.5 Autorisation, déclaration, valeurs seuils

Une majorité de Suisses font preuve de scepticisme vis-à-vis du génie génétique dans l'agriculture et l'alimentation, voire le rejettent absolument. Les raisons en sont complexes. Il est de fait que les produits OGM autorisés jusqu'ici n'apportent aucun avantage direct aux consommateurs. Mais c'est également un fait que le débat sur les plantes et les aliments OGM est souvent marqué par des critiques indifférenciées et des scénarios de risque hypothétiques. Et cela, bien que les produits OGM autorisés jusqu'ici aient fait la preuve de leur sécurité d'emploi pour l'homme, l'animal et l'environnement. Or, c'est précisément ce point qui est stipulé dans la loi sur le génie génétique et dans la loi sur les denrées alimentaires : les produits OGM ne sont autorisés par les autorités qu'à partir du moment où tout risque pour la santé et l'environnement peut être exclu dans l'état actuel des connaissances.

Liberté de choix grâce à l'étiquetage

Deuxième pilier après celui de la protection de la santé : la protection contre la tromperie des consommateurs. En Suisse, les produits OGM doivent être étiquetés. L'ordonnance sur les denrées alimentaires stipule qu'un aliment doit porter sur l'étiquette la mention « génétiquement modifié » lorsqu'il contient plus de 0,9% d'OGM. C'est parce que des contaminations involontaires par des produits OGM ne pouvaient être totalement évitées lors de la récolte, du transport ou de la transfor-

mation de produits traditionnels qu'une telle mention a été introduite dans l'étiquetage. En ce qui concerne les aliments pour animaux, cette valeur seuil est également de 0,9%; pour les semences, le seuil est fixé à un niveau encore plus bas, à savoir 0,5%.

Coexistence signifie côte à côte

La production agricole sans organismes génétiquement modifiés est également protégée par la loi. Il est incontestable que le côtoiement de systèmes de culture avec et sans génie génétique dans un espace aussi restreint que l'est le territoire suisse impose des exigences élevées en matière de mise en œuvre. Diverses études ont toutefois montré que la coexistence – selon le type de plante – est parfaitement possible. Pour les pommes de terre, par exemple, un croisement par dispersion du pollen est exclu, puisque les pommes de terre se reproduisent par des tubercules. En tant que plante autofécondante, le blé ne pose pas non plus de problème. Pour le maïs, il convient de laisser un espace de 50 mètres entre un champ avec OGM et un champ sans OGM pour maintenir le taux de croisement au-dessous de 0,5%. A côté de cela, il existe des cultures, telles celles du seigle, dont le pollen se disperse très loin sans perdre de son pouvoir fécondant. Ici, une séparation propre s'avère problématique. Il doit aussi y avoir une stricte séparation des flux de produits lors de la récolte et de la transformation.

3.6 De nouveaux produits à l'horizon

Cela fait longtemps que les spécialistes de la biotechnologie végétale travaillent à la deuxième et à la troisième génération des cultures transgéniques. Les progrès de la génomique et de la protéomique fonctionnelles ainsi que les automatisations et la bio-informatique permettent d'acquérir un aperçu moléculaire détaillé de la cellule végétale. Grâce au génie génétique, on peut aussi de plus en plus poursuivre des objectifs plus complexes. Trois exemples le démontrent parfaitement :

De l'amidon de pomme de terre optimisé

La pomme de terre n'est pas seulement un pourvoyeur majeur d'amidon pour l'alimentation, c'est aussi une source importante de matière première pour l'industrie du papier, du textile et des colles. L'amidon de pomme de terre se compose d'amylose et d'amylopectine. Des chercheurs allemands ont obtenu une pomme de terre transgénique chez laquelle le gène commandant la synthèse de l'amylose a été inactivé. De ce fait, son amidon ne contient pratiquement plus que de l'amylopectine, une substance de base idéale pour de multiples applications industrielles.

Ethique

Aux Etats-Unis, les Américains considèrent les denrées alimentaires génétiquement modifiées d'un autre point de vue que ne le font les Européens. Alors qu'aux Etats-Unis le génie génétique est considéré, y compris dans l'alimentation, comme un développement fondamentalement positif, de nombreux Européens ont une attitude sceptique à l'égard des nouvelles techniques, également vis-à-vis de la production alimentaire. Un élément déterminant dans l'appréciation éthique des OGM concerne – outre la sécurité d'emploi pour l'homme, l'animal et l'environnement – la liberté de choix des consommateurs. Celle-ci est garantie chez nous par des prescriptions en matière d'étiquetage ainsi que par des contrôles réguliers. Des seuils de déclaration sont la condition préalable à la mise en œuvre pratique des prescriptions. Compte tenu de l'exemple du riz à provitamine A – qui pourra peut-être apporter une contribution importante à la lutte contre la carence en vitamine A dans les pays en développement – et des effets protecteurs pour l'environnement de nombreuses plantes OGM, se pose également la question de savoir s'il est éthiquement justifié de renoncer aux avantages potentiels du génie génétique vert.

Médicaments à base de plantes

Les chercheurs travaillent depuis des années sur des plantes qui produisent des médicaments ou des vaccins. Ils espèrent ainsi – grâce à ces usines végétales fabriquant des médicaments – obtenir une production bon marché en quantités industrielles. Des plants de tabac, de tomates ou des chardons transgéniques servent à fabriquer des vaccins contre le choléra ou le SRAS ainsi que des médicaments, tels que l'insuline ou l'interféron. Plusieurs d'entre eux sont actuellement testés dans le cadre d'essais cliniques menés chez l'homme.

Plantes résistantes à la chaleur

Des chercheurs égyptiens testent en plein champ des variétés de blé optimisées par génie génétique, lesquelles nécessitent beaucoup moins d'eau que les variétés classiques – ce grâce à un gène supplémentaire provenant de l'orge.

« Regarde ce que j'ai ici ! » Pierre tend une bouteille de bière à Marc. « De la bière de maïs ? », s'exclame celui-ci tout surpris. « Oui, et encore, une spéciale : brassée à partir de maïs génétiquement modifié », répond Pierre. « J'ai obtenu cette bouteille dans une exposition sur le génie génétique vert. » « Ouah ! C'est marqué : OGM – organismes génétiquement modifiés. Et qu'est-ce que je dois en faire ? », réagit Marc. « Essaie donc ! C'est sûrement pas mauvais ! », suggère Pierre. « C'est la première fois que j'ai conscience d'avoir en mains un produit OGM. Je n'ai encore jamais vu de nourriture OGM. » Marc avale une bonne gorgée : « Hum ! Effectivement. Pas si mauvais. On dirait de la bière. » « Et c'en est ! », réplique Pierre.



IV Biotechnologie blanche et protection de l'environnement



Par biotechnologie blanche, on entend des procédés de fabrication industriels qui recourent à des enzymes, des cellules ou des micro-organismes naturels ou optimisés par génie génétique. Les procédés biotechnologiques offrent des alternatives économiquement et écologiquement intéressantes à des processus chimiques. Le nombre des entreprises spécialisées dans ce type de produits ne cesse d'augmenter. Visite dans une entreprise biotech.

Au niveau du fermenteur situé au fond, un voyant se met à clignoter. Michel Perrot regarde le moniteur et vérifie le réglage de l'installation de production. Les bactéries qui se trouvent dans la cuve et qui produisent de la lipase – une enzyme – sont très sensibles à toute modification de leur environnement, telles que variations de température ou variations nutritionnelles. Le programme commandé par ordinateur propose des ajustements, que le Dr Perrot confirme. Pendant qu'il attend de voir les signaux s'ajuster sur l'écran, il consulte à nouveau la documentation de la réunion de la veille : « On peut penser que la biotechnologie contribuera à résoudre des problèmes environnementaux essentiels – en

4.0 Biocatalyse

Les enzymes sont des catalyseurs biologiques – elles accélèrent les réactions chimiques. Elles travaillent non seulement avec grande rapidité et précision, mais également dans le respect de l'environnement : en milieu aqueux, sous pH, température et pression modérés. C'est pourquoi l'utilisation de la biocatalyse à grande échelle remplace de nombreux procédés polluants – par exemple dans l'industrie du papier, du cuir ou du textile ainsi que dans la fabrication de détergents. La production d'enzymes se fait aujourd'hui presque exclusivement à l'aide d'organismes génétiquement modifiés (OGM). La production par génie génétique est infiniment plus respectueuse de l'environnement que toutes les méthodes traditionnelles. Pour une enzyme telle que la glucosidase, par exemple, on consomme 80% d'électricité en moins et la quantité de déchets est réduite de 97% grâce à une levure génétiquement modifiée.

Laver et dérouiller

Dans la vie quotidienne, nous utilisons par exemple les enzymes dans notre buanderie. Les poudres à laver contiennent des enzymes conçues spécifiquement pour dégrader les graisses, l'amidon et les protéines, ce qui élimine les taches provoquées par les sauces et les spaghettis. Grâce à ces enzymes, la température de lavage a pu être abaissée de 90 à 40 degrés, et les performances de lavage ont pu être améliorées. Dans l'industrie textile, les enzymes servent au blanchiment des jeans. Au lieu d'utiliser des substances chlorées nocives, on recourt à une enzyme fabriquée par génie génétique, la

facilitant, par exemple, l'approvisionnement en eau potable, en favorisant la mise au point de procédés industriels plus efficaces de transformation des matières premières, en permettant des méthodes viables de boisement et de reboisement et en détoxiquant les déchets dangereux. » Monsieur Perrot est stupéfait en lisant d'où provient cette citation : cette phrase a été prononcée lors de la Conférence sur l'environnement de Rio de Janeiro. Elle figure au chapitre 16 de l'« Agenda 21 », le programme d'action en matière de politique environnementale. Pour Michel Perrot, il est clair que le génie génétique blanc apporte une contribution importante à la protection de l'environnement. Mais il constate toujours à quel point il est difficile de l'expliquer à sa famille et à ses amis. Nombreuses sont les personnes qui assimilent en effet automatiquement procédés industriels et pollution de l'environnement. Grâce aux enzymes que fabrique son entreprise, il devient possible de mettre en œuvre des procédés qui réduisent massivement consommation d'énergie, production de déchets et production d'eaux usées par comparaison avec les techniques traditionnelles de la chimie de synthèse.

laccase, pour produire des jeans « délavés ». Un autre exemple vient du domaine de la construction métallique : les substances utilisées pour le dérouillage contiennent des produits chimiques nocifs tant pour la santé que pour l'environnement. Or, il existe des micro-organismes ayant la faculté d'enlever les couches de rouille. La recherche travaille à développer une technique de dérouillage alternative, respectueuse de l'environnement.



4.1 Biosynthèse

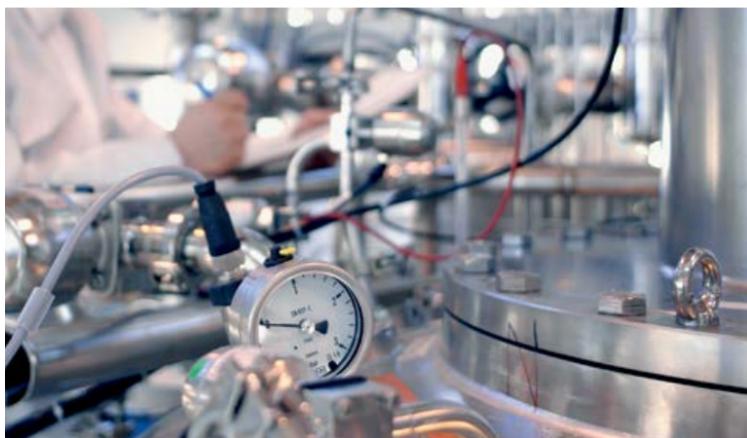
Autre application du génie génétique dans la protection de l'environnement : la biosynthèse. La production de substances de qualité supérieure à l'aide d'organismes transgéniques s'effectue avant tout dans l'industrie pharmaceutique. Mais les OGM sont également utilisés pour fabriquer des produits non plus à partir de matières premières fossiles, comme le pétrole ou le gaz naturel, mais à partir de ressources renouvelables. Dans le cadre d'un projet de grande envergure mené en France, des chercheurs travaillent par exemple à développer des produits chimiques à partir de céréales. Au nombre des domaines d'application possibles figurent des solvants, des matières plastiques ou des revêtements routiers innovants.

Des flacons de shampoing biodégradables

Certains micro-organismes produisent en petite quantité des substances de réserve comparables à du plastique. Grâce au génie génétique, il est possible de diriger et d'augmenter la production microbienne. En tant que plastique biodégradable, ces substances sont idéales pour des biens à brève durée de vie, tels que cabas ou flacons de shampoing. Aux Etats-Unis, il existe d'ores et déjà des entreprises qui fabriquent du bioplastique à l'échelle industrielle – du polylactide, par exemple. Ce plastique biodégradable est essentiellement utilisé pour l'emballage des denrées alimentaires. Mais on le trouve aussi dans des bouteilles d'eau, des tapis, des cartes téléphoniques et des voitures – depuis 1998, Toyota intègre des pièces en bioplastique dans quelques-uns de ses modèles.

Soie d'araignée : plus résistante que l'acier

Pour fabriquer leurs nids, les araignées produisent un fil de soie composé de protéines. Or, les chercheurs sont parvenus à insérer dans le patrimoine génétique d'une bactérie le gène commandant la production de ce fil. Les micro-organismes produisent dans de grands fermenteurs ce matériau qui se caractérise par une résistance à la traction et une élasticité extrêmement élevées. Semblable à de la laine, la soie d'araignée peut absorber l'eau, puis la restituer, et elle est biodégradable. La substance produite par biotechnologie peut être utilisée dans l'industrie textile, pour des revêtements de surface ou en technologie médicale.



4.2 Bio-indicateurs

L'arsenic est une substance toxique qui constitue une grave menace pour la nappe phréatique. Dans les pays en développement, l'eau est souvent extraite à l'aide de pompes manuelles et consommée sans contrôle ni préparation, ce qui, en cas d'eau polluée, provoque des intoxications par l'arsenic et des cancers. Etant donné que la quantité d'arsenic varie dans des proportions importantes, l'eau des puits doit être régulièrement contrôlée. Pour cela, il faut disposer d'un procédé de détection à la fois simple et bon marché. C'est ce qu'offre un bio-indicateur, qui repose sur des bactéries génétiquement modifiées. Les bio-indicateurs permettent de mettre en évidence des substances chimiques dans un échantillon d'air, de sol ou d'eau. La détection de l'arsenic repose sur la capacité de bactéries intestinales d'identifier l'arsenic et de réagir par la production d'une protéine de défense. Des chercheurs sont parvenus à modifier les bactéries de telle sorte qu'en réaction à l'arsenic elles produisent une enzyme qui transforme une substance incolore en un colorant bleu. Les bactéries transgéniques sont appliquées sur une bandelette de papier. Lorsque l'on humecte la bandelette-test avec de l'eau du puits, on peut déduire de la coloration bleue la teneur en arsenic. Couronné par un prix, le procédé est déjà utilisé dans la pratique.

Sécurité

Lorsqu'en 1973 on réussit la première modification d'une bactérie par génie génétique, le monde scientifique ne fut pas seulement fasciné, il fit également preuve de vigilance. Les chercheurs du monde entier se réunirent à Asilomar (Californie) pour débattre des risques du génie génétique. Les directives élaborées constituèrent la base pour travailler en sécurité sur les OGM. Elles ont été depuis lors constamment élargies. Avant même l'époque du génie génétique, les chercheurs travaillaient d'ailleurs sur des micro-organismes, dont certains étaient parfois redoutables, comme le virus de la variole. Cette expérience acquise dans la sécurité d'emploi des bactéries et des virus s'est avérée très utile lorsqu'il s'est agi de travailler sur des organismes génétiquement modifiés dans les laboratoires et les installations de production. Dans la mise en œuvre des procédés du génie génétique blanc, tels que la biocatalyse et la biosynthèse, aucun OGM n'est disséminé dans l'environnement. La production a lieu dans des systèmes fermés. Aucun ADN ne se trouve dans le produit fini, mais uniquement l'enzyme (comme dans les poudres à laver). Des directives strictes relatives aux mesures techniques – filtres de sécurité ou traitement des eaux usées, par exemple – garantissent la sécurité dans les laboratoires et dans les installations de production biotechnologiques.

4.3 Assainissement biologique

L'épuration des eaux usées et de l'air vicié ainsi que l'assainissement des décharges sont une préoccupation centrale dans la protection de l'environnement. Ils passent en partie par des procédés biologiques. L'exemple classique du recours aux micro-organismes est celui des installations d'épuration. Le potentiel métabolique des bactéries, des levures et des champignons est si diversifié que des substances non problématiques suffisent pour dégrader des substances nocives. Des micro-organismes peuvent même dégrader du pétrole. Après le naufrage du pétrolier Exxon Valdez, ce sont des micro-organismes qui ont nettoyé quelque 1800 km des côtes de l'Alaska et les ont débarrassées d'environ 40 millions de litres de pétrole.

Microbes et plantes comme service de nettoyage

Les micro-organismes des stations d'épuration ne sont pas génétiquement modifiés. Il existe toutefois des applications de l'assainissement biologique où le génie génétique s'avérerait judicieux. Par exemple pour éliminer des substances comme les composés organiques volatiles à longue chaîne ou la dioxine, qui ne sont toujours pas biodégradables. De nombreux projets portent sur la recherche de voies métaboliques adaptées au sein des micro-organismes. D'autres équipes travaillent à améliorer des plantes transformant les métaux lourds. Grâce au génie génétique, on est déjà parvenu à modifier des plants de moutarde de telle manière qu'ils absorbent le mercure présent dans le sol et le transforment en molécules posant moins de problèmes.

Production d'une enzyme pour la détermination de la glycémie

Production classique dans la bactérie *Leuconostoc*

Consommation de nutriments	6400 kg = 100%
Consommation d'eau potable	120 m ³ = 100%
Sulfate d'ammonium	13000 kg = 100%
Consommation d'eau de refroidissement	1500 m ³ = 100%
Consommation d'eau usées	1200 m ³ = 100%
Consommation d'électricité	4000 kWh = 100%

Source : Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz

4.4 Biocarburants

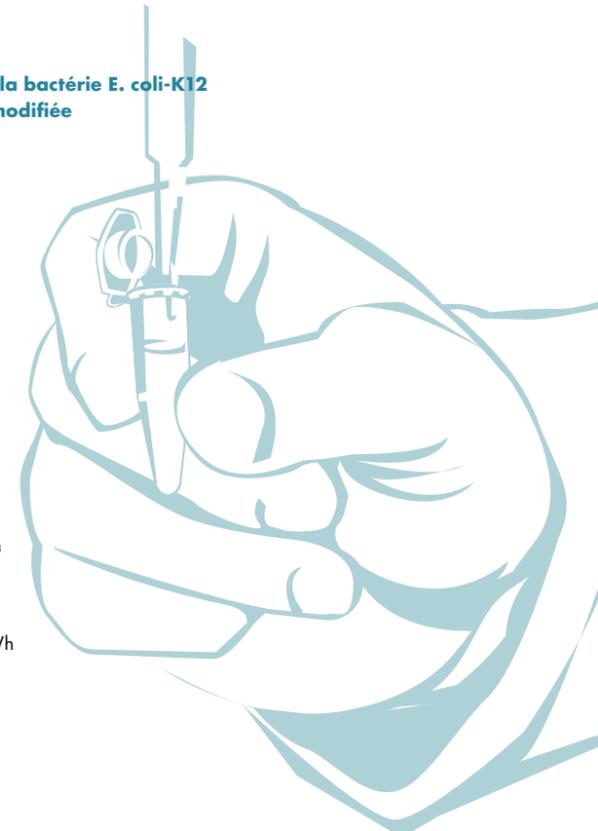
Le passage de substances de départ fossiles – basées sur le pétrole et le gaz naturel – à des matières premières renouvelables constitue un défi pour la planète. Deux types de carburant liquide sont déjà largement présents sur le marché : le biodiesel et le bioéthanol. A l'origine, les moteurs diesel avaient été conçus pour fonctionner aux huiles végétales – l'huile de colza, par exemple. Une idée qui est reprise aujourd'hui. Pour produire du bioéthanol (alcool), on fait fermenter des plantes contenant de l'amidon et du sucre. Le bioéthanol est aujourd'hui produit à grande échelle dans plus de trente pays à partir de la biomasse. Au Brésil, la part de marché du bioéthanol par rapport à la consommation totale de carburants est d'ores et déjà de 16%. En Europe, la Suède joue un rôle de pionnier.

De la paille dans le réservoir

Le génie génétique appuie la production de biocarburants à double titre. D'une part, il aide à cultiver des variétés végétales appropriées. Aux Etats-Unis, par exemple, on teste un type de maïs génétiquement modifié produisant une enzyme qui clive l'amidon dans les épis mûrs et prédigère les grains. On économise ainsi un quart de l'énergie nécessaire pour la production d'éthanol. D'autre part, le génie génétique permet de produire des enzymes en grandes quantités. Pour pouvoir utiliser des déchets jusque-là inutilisables, comme la paille, les tiges de maïs ou les déchets de bois pour la production de biocarburants, il faut procéder à l'hydrolyse enzymatique de la cellulose présente dans les plantes. Condition préalable : la production bon marché des enzymes appropriées par des micro-organismes génétiquement modifiés.

Production dans la bactérie *E. coli-K12* génétiquement modifiée

2,5% = 160 kg
0,8% = 1 m ³
1,5% = 200 kg
2,0% = 30 m ³
0,02% = 0,2 m ³
2,5% = 100 kWh



V Législation



Le génie génétique concerne de nombreux domaines de notre vie. En conséquence de quoi, la réglementation du génie génétique est inscrite dans un grand nombre de lois et se trouve en constante évolution. Le peuple participe aux décisions dans l'élaboration des processus de décision. Que cela ne soit pas toujours simple, c'est ce que montre l'exposé public intitulé « Le génie génétique dans le panier de la ménagère – qu'est-ce qui est autorisé ? ».

La salle est bien remplie. Après une introduction sur le génie génétique, l'intervenante aborde la question de la législation. Dans ce contexte, elle évoque trois grandes votations suisses sur la question : les articles constitutionnels sur le génie génétique de 1992, l'initiative pour la protection génétique de 1998 et la loi relative à la recherche sur les cellules souches de 2004. L'oratrice s'adresse au public : « Remémorez-vous

l'une de ces votations. Remplir le bulletin de vote a-t-il été simple pour vous ? » Environ la moitié des personnes présentes approuvent, les autres secouent la tête en signe de dénégation. « C'est bien compréhensible », poursuit-elle, « de tels projets sont complexes et difficiles à évaluer. » Mais les résultats ont donné une image claire et nette : au cours des quinze dernières années, les citoyens se sont toujours prononcés contre les interdictions générales et pour un recours contrôlé au génie génétique. Autrement dit, les abus doivent être empêchés et les risques exclus dans toute la mesure du possible. Ces votations fixent le cap pour la législation relative au génie génétique en Suisse. Et l'intervenante d'insister : « C'est pourquoi vous trouvez dans vos paniers différents produits autorisés fabriqués par génie génétique, parmi lesquels des médicaments, des jus de fruits, de la poudre à laver ou des T-shirts. »

5.0 La Constitution fédérale suisse

La réglementation du génie génétique en Suisse repose sur deux paragraphes de la Constitution fédérale. L'article 119 réglemente le génie génétique dans le domaine humain, l'article 120 le génie génétique chez les animaux, les plantes et les micro-organismes. Ces articles constitutionnels ont été approuvés par le peuple à une forte majorité de 74%. Ces articles protègent l'être humain des abus, mais fixent également plusieurs interdictions. Ainsi toute forme de clonage d'êtres humains est-elle interdite, et il n'est pas non plus permis de modifier des embryons par génie génétique. Parallèlement aux interdictions, ces articles sont assortis d'un mandat. Ils chargent la Confédération, dans le respect de la dignité humaine et de l'intégrité des organismes vivants, d'édicter des dispositions sur le re-

cours au patrimoine génétique. Objectif : garantir la sécurité de l'être humain et de l'environnement, et protéger la diversité génétique. Afin de satisfaire au mandat de la Constitution fédérale, un train de mesures législatives intitulé « Gen-Lex » a été préparé. Dans le même temps, diverses organisations déposaient l'initiative pour la protection génétique. Celle-ci exigeait que soient interdits la production d'animaux transgéniques, le brevetage dans le domaine du génie génétique et la dissémination d'organismes génétiquement modifiés. L'initiative était soumise au peuple en juin 1998; elle était rejetée à une majorité des deux tiers. Les citoyens ne voulaient pas d'interdiction générale, mais souhaitaient une réglementation, comme l'envisageait le projet Gen-Lex.

5.1 Accords internationaux

Le génie génétique est utilisé à l'échelle mondiale et transnationale. Diverses réglementations européennes et divers accords internationaux sont également importants pour la Suisse. Ainsi la Suisse a-t-elle, comme beaucoup d'autres pays, signé la Convention sur les Droits de l'Homme et la Biomédecine (Convention sur la biomédecine), laquelle interdit toute forme de discrimination d'une personne à partir de son matériel génétique. Il est en outre précisé que des modifications du génome humain ne sont autorisées qu'à des fins thérapeutiques, et non pour engendrer des descendants génétiquement modifiés. Dans le domaine de l'agriculture, le Protocole de Carthagène réglemente l'utilisation et l'importation de semences, nourritures pour animaux et denrées alimentaires génétiquement modifiées. Cet important Accord international,

soutenu par la Suisse, interdit que des organismes génétiquement modifiés soient commercialisés à l'échelle transnationale sans l'autorisation d'organes étatiques. L'objectif est de réduire à un minimum les risques éventuels pour l'être humain, l'animal et l'environnement, conformément au principe de précaution. Dans l'élaboration de ses lois nationales relatives au génie génétique également, la Suisse s'efforce fondamentalement d'établir une harmonisation avec le droit européen. Sans motif impérieux, il importe de ne pas déroger à ce dernier. Etant donné que des solutions isolées ont peu de sens dans le contexte d'une technologie appliquée à l'échelle planétaire, la Suisse s'engage tant au niveau européen qu'international en faveur d'une réglementation rigoureuse et réaliste du génie génétique.



5.2 Cadre juridique dans le domaine humain

La législation concernant les applications génétiques sur l'humain dans le domaine de la biomédecine a été concrétisée et complétée au cours des dernières années par plusieurs lois fédérales. Quelques règlements sont encore en cours d'élaboration.

Analyses génétiques

La Loi fédérale sur l'analyse génétique humaine (LAGH) a été mise en place pour encadrer les tests génétiques : elle réglemente les analyses génétiques réalisées dans le domaine médical ainsi que le traitement de tests de paternité. La loi sur les profils d'ADN entre en compte pour les procédures pénales. La LAGH aborde tous les aspects centraux des analyses, tels que les droits des personnes concernées et la prestation de conseils génétiques. Le contrôle des laboratoires par les autorités garantit la qualité de l'analyse génétique. La LAGH est en cours de révision afin d'être adaptée aux méthodes modernes de biologie moléculaire et aux avantages, mais aussi aux risques qu'elles impliquent.

Recherche sur l'être humain

En vigueur depuis janvier 2014, la loi relative à la recherche sur l'être humain (LRH) régit tous les domaines de la recherche sur l'être humain, et notamment les études cliniques avec des adultes, enfants et fœtus, la recherche sur le matériel biologique humain tel que les échantillons de sang, ou encore les données personnelles. Au cœur de la LRH se trouve la protection de la dignité et de la personne humaine ainsi que le respect de la liberté de recherche. Pour que la recherche soit autorisée, les personnes concernées doivent avoir été informées et donner leur consentement éclairé.

Traitement des embryons et cellules souches

La loi sur la procréation médicalement assistée (LPMA) sert de garde-fou quant au traitement des embryons en dehors du corps de la mère. Elle établit les critères d'autorisation de la fécondation en laboratoire et interdit les applications abusives de la technologie génétique. Le clonage, la thérapie génique germinale et l'hybridation de patrimoine génétique humain et non humain sont ainsi proscrits. L'examen de l'embryon via le DPI sera autorisé en Suisse depuis septembre 2017 pour les couples porteurs d'une maladie génétique grave ou ne pouvant pas avoir d'enfant de façon naturelle.

En 2004, les deux tiers de la population ont approuvé la Loi relative à la recherche sur les cellules souches (LRCS), qui régit la production de cellules souches embryonnaires. Les cellules souches embryonnaires ne doivent provenir que d'embryons issus d'une fécondation in vitro ne pouvant pas être utilisés pour induire une grossesse. La production de cellules souches à partir d'embryons surnuméraires ne peut avoir lieu qu'avec le consentement du couple concerné et l'autorisation des autorités et de la commission d'éthique.

Commissions d'éthique dans le domaine humain

Compte tenu de l'actualité des thèmes d'éthique médicale, le Conseil fédéral a instauré une Commission nationale d'éthique dans le domaine de la médecine humaine (CNE), chargée de suivre l'évolution de la biomédecine et d'émettre un avis d'ordre éthique sur les questions qui se présentent. Il lui incombe également d'informer le public et de favoriser la discussion sur les sujets pertinents en matière d'éthique. La Commission élabore par ailleurs des recommandations destinées à la pratique médicale et attire l'attention des responsables politiques sur les lacunes dans la législation. Les commissions d'éthique cantonales se chargent de l'évaluation de projets de recherche tels que les études sur des médicaments, vérifiant le respect des lignes directrices sur les bonnes pratiques cliniques.

5.3 Lois dans le domaine non humain

La Suisse a établi des normes extrêmement strictes en matière de réglementation de l'utilisation du génie génétique concernant les animaux, les plantes et l'environnement. Etant donné que le génie génétique dans le domaine non humain englobe de nombreux domaines différents, il a fallu, d'une part, compléter les lois existantes et, d'autre part, en créer de nouvelles.

Animaux transgéniques

La loi sur la protection des animaux a pour objectif d'assurer le bien-être des animaux. Les expériences sur animaux doivent être interdites lorsqu'elles infligent à l'animal des souffrances disproportionnées par rapport au bénéfice escompté en termes de connaissances ou qu'il existe des méthodes de substitution appropriées. La loi prévoit l'obligation de solliciter une autorisation pour la production, l'élevage et la détention d'animaux génétiquement modifiés.

Commission pour la sécurité biologique (CFSB)

Il y a dix ans, le Conseil fédéral instituait la Commission fédérale d'experts pour la sécurité biologique (CFSB), dont font partie des représentants des universités, de l'industrie ainsi que d'organisations de défense des consommateurs et de l'environnement. Ainsi, d'une part, les connaissances spécifiques requises en matière de génie génétique, d'écologie et de médecine sont-elles disponibles et, d'autre part, les points de vue des différents groupements d'intérêts sont-ils également représentés. La CFSB collabore à la préparation des lois et soutient leur mise en œuvre : l'avis de la CFSB doit, par exemple, être sollicité avant que soit autorisé un essai de dissémination avec des plantes génétiquement modifiées.

Commission d'éthique (CENH)

La Commission fédérale d'éthique pour le génie génétique dans le domaine non humain (CENH) a été créée en 1998. Elle a pour mission d'observer les développements et les applications du génie génétique dans le domaine tant végétal qu'animal et environnemental, et de prendre position sur ces sujets d'un point de vue éthique. Elle étudie en particulier les projets de loi et les demandes relatives à l'utilisation d'organismes génétiquement modifiés. Lors de son analyse, la Commission d'éthique examine attentivement les avantages et les inconvénients respectifs. Ce faisant, elle veille à la prise en considération de principes, tels que le respect de la dignité de la créature et la protection de la diversité génétique des espèces animales et végétales. L'éventail des points de vue représentés dans la Commission est large et reflète la diversité des avis au sein de l'opinion publique.

Agriculture et denrées alimentaires

Les denrées alimentaires issues d'organismes génétiquement modifiés doivent être autorisées par les autorités et déclarées – autrement dit clairement étiquetées. C'est ce que prévoit la loi sur les denrées alimentaires ainsi que diverses ordonnances afin de garantir la protection de la santé publique et la protection contre la tromperie. Les critères déterminants pour l'octroi d'autorisations sont la sécurité pour l'être humain et pour l'environnement. Une autorisation n'est accordée que si toutes les prescriptions des lois sur l'environnement et la protection des animaux sont respectées. Les lacunes existantes dans la législation sont constamment comblées. Un exemple à cet égard concerne les travaux relatifs à l'Ordonnance sur les mesures de coexistence. Celle-ci aura pour objet de réglementer la coexistence de méthodes de culture classiques et de culture de plantes génétiquement modifiées.

Les OGM dans l'environnement

Depuis 2004, la loi sur le génie génétique est en vigueur. Les principaux points de la loi portent sur la protection de la diversité biologique, la protection de la production agricole exempte d'organismes génétiquement modifiés et la garantie de la liberté de choix pour tous les intéressés. Un moratoire est en vigueur en Suisse jusqu'en 2021 pour la production d'OGM à des fins agricoles. En 2005, le peuple a approuvé à une majorité de 56% l'initiative « Pour des aliments produits sans manipulations génétiques ». Cette période est mise à profit pour analyser les chances et les risques liés à la culture de plantes génétiquement modifiées en Suisse. Parmi les projets de recherche figurent également des essais de dissémination, lesquels ne sont pas interdits par le moratoire.



VI Glossaire

Acides aminés

Acide aminé = Constituant des → protéines. Il existe vingt acides aminés différents.

ADN = Acide désoxyribonucléique. Substance chimique dont sont constitués les → gènes.

Agrobactérie = Bactérie du sol qui attaque les plantes et peut transférer des → gènes dans le → génome de la plante.

Allèle = L’une des nombreuses expressions d’un → gène. Pour le gène du groupe sanguin, il existe par exemple trois expressions différentes, les allèles O (zéro), A et B. Il existe des allèles → récessifs et des allèles → dominants.

Animal knock-out = Souris ou tout autre animal de laboratoire chez lequel on a inactivé un → gène en pratiquant une intervention par → génie génétique.

Antibiotiques = Substances tirées de → micro-organismes, qui agissent sur d’autres → bactéries en inhibant leur croissance ou en les détruisant.

Anticodon = Trois → bases (par exemple GUA) qui se trouvent à une extrémité d’un → ARNt replié. Pendant la → traduction, l’anticodon se fixe à un → codon adéquat sur l’→ARNm (par exemple à CAU).

Anticorps = → Protéines qui font fonction de substances de défense du → système immunitaire.

Anticorps monoclonal = → Anticorps fabriqué en laboratoire. La production s’effectue dans des → cellules nées de la fusion d’une cellule produisant des anticorps et d’une cellule cancéreuse.

ARN = Acide ribonucléique. → ARNm,→ARNr, →ARNsi,→ARNt.

ARNm = ARN messenger. Copie simple brin d’un → gène, qui porte le plan directeur de la synthèse des → protéines.

ARNr = ARN ribosomique, constituant des →ribosomes.

ARNsi = De l’anglais : « small interfering ». Courts segments d’→ARN qui se lient à l’→ARNm et régulent l’activité des gènes par le mécanisme de l’→interférence de l’ARN.

ARNt = ARN de transfert. → ARN lié à l’un des vingt → acides aminés différents, qui se lie avec son → anticodon à un → codon sur l’→ARNm et assure ainsi l’incorporation correcte de l’acide aminé correspondant dans la → protéine en formation.

B

Bactérie = Organisme unicellulaire, → micro-organisme.

Base = Les bases adénine (A), guanine (G), cytosine (C) et thymine (T) sont les constituants de l’→ADN. L’→ARN comporte de l’uracile (U) au lieu de thymine.

Biochimie

Biobanque = Collection d’échantillons organiques, tels que sang, tissu tumoral ou → ADN mis en relation avec les données relatives à la santé et au mode de vie du donneur.

Bioindicateur = Système biologique (le plus souvent des → bactéries) pour détecter des substances toxiques pour l’environnement ou d’autres types de substances.

Bioinformatique = Science qui traite du stockage et de l’évaluation – assistés par ordinateur – de données biologiques.

Biologie moléculaire = Science qui traite des phénomènes moléculaires se produisant à l’intérieur des → cellules.

Biotechnologie = Utilisation de → micro-organismes, de → cellules et d’→enzymes – modifiés ou non modifiés par → génie génétique – pour la transformation et la production de substances.

Bonnes pratiques cliniques = Règles contrôlées d’un point de vue éthique pour la mise en œuvre de traitements médicaux et d’→études cliniques.

Brevet = Droit de protection de la propriété intellectuelle, qui réglemente l’exploitation commerciale – limitée dans le temps – d’une invention. Les résultats sont rendus publics.

C

Cancer = Prolifération cellulaire maligne (tumeur), due à une division cellulaire incontrôlée.

Catalyseur = Accélérateur d’une réaction.

Cellule = Plus petite unité viable autonome. Élément de base de tous les organismes pluricellulaires (être humain, animaux, plantes).

Cellule souche = → Cellule qui se renouvelle elle-même et peut se différencier ensuite en différents types cellulaires matures.

Cellule souche adulte = → Cellule souche indifférenciée dans les tissus organiques – cellule souche sanguine, par exemple.

Cellule souche embryonnaire = → Cellule indifférenciée obtenue à partir d’un → embryon âgé de quelques jours, et qui – en laboratoire – peut se développer en pratiquement tous les types cellulaires de l’organisme.

Cellules germinales = Terme générique pour désigner les ovules et les spermatozoïdes. Les cellules germinales ne contiennent que 23 →chromosomes.

Chromosome = → ADN visible au microscope, compacté en filaments formant une pelote au sein du → noyau cellulaire. L’être humain compte 46 chromosomes ou 23 paires de chromosomes par → cellule.

Clonage

Clonage reproductif = réalisation d’un →transfert nucléaire dans le but d’obtenir un enfant cloné. Interdit en Suisse.

Clonage thérapeutique = Réalisation d’un → transfert nucléaire dans le but de produire des → cellules souches embryonnaires génétiquement identiques à celles du donneur du noyau cellulaire et de les utiliser pour réparer des →cellules défectueuses.

Clone = Etre vivant génétiquement identique à un autre. Les → bactéries créées par division cellulaire, par exemple, sont des clones. Les jumeaux homozygotes (provenant d’un seul œuf) sont également des clones génétiquement identiques.

Code génétique = Désigne l’appariement préétabli des → codons de l’→ADN ou de l’→ARN correspondant aux vingt → acides aminés. Le code génétique est identique chez tous les êtres vivants.

Codon = Succession de trois → bases (par exemple CGA) de l’→ADN ou de l→ARN. Le codon contient le code commandant la synthèse d’un →acide aminé ou d’un signal de départ ou d’arrêt, qui marquent le début ou la fin du → gène.

Coexistence = Présence simultanée de différents systèmes. Dans le → génie génétique vert, cotoiement de cultures de plantes → OGM et de cultures traditionnelles.

Consentement éclairé = Accord donné par une personne pour la mise œuvre d’un traitement la concernant, après que le médecin (ou le responsable d’une expérimentation) l’a informée en détail des conditions de ce traitement.

CRISPR = clustered regularly interspaced short palindromic repeats.

CRISPR/Cas = méthode génétique permettant de modifier les gènes de façon ciblée.

Cas = Endonucléase = enzyme coupant l’ADN ou l’ARN.

D

Dépistage = Examen de grandes quantités d’échantillons tissulaires différents ou d’un groupe de population dans le but de déceler certaines → mutations ou variantes génétiques.

Diagnostic prédictif = → Tests génétiques visant à évaluer la probabilité de survenue d’une maladie.

Diagnostic préimplantatoire (DPI) = → Test génétique réalisé chez un → embryon fécondé →in vitro en laboratoire. Les embryons sains sont ensuite transférés dans l’utérus.

Diagnostic prénatal (DPN) = Analyses menées chez l’→embryon ou le fœtus pendant la grossesse.

Dominance

Dominante (hérédité) = Hérédité d’un → allèle, qui s’impose face à un allèle → récessif et se manifeste sous la forme d’une caractéristique physique. Les allèles dominants apparaissent toujours dans le → phénotype.

E

Electrophorèse = Migration de particules chargées électriquement (→ADN, par exemple) dans un gel à travers lequel passe un courant. Permet la séparation de fragments d’ADN de longueur différente.

Embryon = La forme de développement précoce d’un être vivant; chez l’être humain, les huit premières semaines. On parle ensuite de fœtus.

Empreinte génétique = Certains segments du matériel génétique qui sont caractéristiques de chaque être humain. L’analyse et la comparaison de l’empreinte génétique est une méthode utilisée pour identifier clairement une personne.

Enzyme = → Protéine qui, en tant que → catalyseur biologique déclenche et accélère des processus métaboliques (processus chimiques).

Enzyme de restriction = → Enzyme qui découpe l’→ADN à certains endroits.

Epissage = Découpage de certaines séquences extraites de l’→ARNm après la → transcription.

Essai de dissémination = Dissémination d’organismes génétiquement modifiés (→OGM) d’un laboratoire de recherche fermé dans l’environnement.

Etres vivants transgéniques = → Micro-organismes, animaux ou plantes modifiés par → génie génétique.

Etude clinique = Analyse scientifique d’un (nouveau) traitement médical dans des conditions contrôlées.

Evolution = Transformation de tous les êtres vivants à partir de formes originelles simples selon le principe de la sélection naturelle : en raison de leurs → gènes et de leur comportement, les organismes particulièrement bien adaptés survivent mieux que les autres et ont donc plus de descendants.

Exon = Région codante d’un → gène, qui n’est pas excisée lors de l’→épissage.

F

Fermenteur = Cuve de réaction dans laquelle on cultive des → micro-organismes et d’autres → cellules.

Fertilisation in vitro (FIV) = Fécondation artificielle de l’ovule à l’extérieur du corps humain. L’→embryon est ensuite implanté dans l’utérus.

Fongicide = Substance chimique qui détruit les champignons.

G

Gène = Segment sur l’→ADN, qui contient l’information nécessaire à la production d’un → ARN. La plupart des ARN servent de plan directeur de la synthèse des → protéines. Les gènes sont les fondements de l’hérédité.

Gène de résistance = → Gène codant une → protéine qui confère à l’organisme une capacité de résistance contre des substances toxiques ou le froid.

Gène marqueur = → Gène conférant à un organisme une propriété facilement identifiable. Par exemple un gène codant une → enzyme, qui confère à une → bactérie la capacité de transformer une substance incolore en une substance colorée.

Génétique = Science de l’hérédité.

Génie génétique = Science qui traite de l’analyse, de l’isolation et de la recombinaison de matériel génétique (→ADN).

Génie génétique blanc = Expression couramment utilisée pour désigner le → génie génétique dans la production industrielle et dans la protection de l’environnement.

Génie génétique rouge = Expression couramment utilisée pour désigner le → génie génétique en médecine.

Génie génétique vert = Expression couramment utilisée pour désigner le → génie génétique dans la sélection végétale et l’agriculture.

Génome = Totalité de l’information génétique, c’est-à-dire de tous les → gènes, concernant une → cellule ou une espèce.

Génomique = Science qui décrypte et analyse le → génome d’un être vivant.

Génotype = Equipement génétique d’un individu. Contrairement au → phénotype, qui désigne uniquement les caractéristiques physiques, le génotype est transmis aux descendants.

Good Clinical Practice = → Bonnes pratiques cliniques

H

Herbicide = Désherbant chimique, substance détruisant des plantes.

Héréditaire (maladie) = Maladie déclenchée ou favorisée par une anomalie génétique (→mutation).

Hormone = → Protéine qui fait office de médiateur et qui déclenche des réactions dans les → cellules – l’insuline, par exemple.

I

In vitro = Expression latine signifiant « dans le verre ». Processus mis en œuvre en éprouvette, mené en laboratoire.

In vivo

In vivo = Expression latine signifiant « dans l’être vivant ». Processus mis en œuvre dans l’organisme vivant.

Informed consent = → Consentement éclairé.

Insecticide = Substance chimique de lutte contre les ravageurs; produit détruisant les insectes.

Interférence de l’ARN = Mécanisme qui inhibe la synthèse de certaines → protéines. Ce faisant, de courts segments d’→ARNsi se lient à l’→ARNm et provoquent sa dégradation.

Intron = Domaine d’un → gène qui est découpé de l’→ARNm lors de l’→épissage.

L

Leucémie = → Cancer du système hématopoïétique.

Lutte contre les OGM

Liberté de choix = Possibilité de décider entre plusieurs offres. Entre des denrées alimentaires résultant d’une production avec des → OGM ou traditionnelle, par exemple.

Ligase = → Enzyme catalysant l’union de fragments d’→ADN.

Lipase = → Enzyme dégradant les graisses.

M

Maïs Bt/ coton Bt = Plantes → transgéniques porteuses d’un → gène provenant d’une bactérie du sol, *Bacillus thuringiensis*, à partir de laquelle les cellules végétales produisent un insecticide. Les plantes sont ainsi protégées contre certains insectes ravageurs.

Maladie monogénique = Maladie → héréditaire déclenchée par un seul → gène.

Méiose = Division cellulaire lors de la formation d’ovules et de spermatozoïdes. La méiose divise par deux le jeu de chromosomes dans les → cellules. Chez l’être humain, la réduction s’opère de 46 → chromosomes dans une cellule somatique à 23 chromosomes dans les ovules et les spermatozoïdes.

Microarray = → Puce à ADN.

Micro-organismes = → Bactéries, → virus, champignons et algues unicellulaires.

Mitose = Mécanisme survenant lors de la division cellulaire. L’→ADN est dédoublé et transmis aux deux cellules filles.

Monosomie = Absence d’un → chromosome. Au lieu d’être présent sous forme de paire, un chromosome est unique dans le → noyau cellulaire.

Multifactoriel = Dû à plusieurs causes.

Mutation = Modification spontanée ou due à des influences extérieures (rayonnement, produits chimiques, par exemple) du matériel génétique.

N

Nanobiotechnologie = Science qui combine les méthodes de la → biotechnologie avec celles de la nanotechnologie (technologie dans le domaine du milliardième de mètre).

Noyau cellulaire = Région entourée d’une enveloppe à l’intérieur des cellules des animaux et des plantes, qui renferme le matériel génétique.

O

OGM = Organisme génétiquement modifié, également appelé organisme → transgénique.

P

Paire de bases = Compte tenu de leur structure chimique, les bases A et T (ou U) ainsi que C et G s’apparient. L’appariement des bases permet, par exemple, la copie de l’→ADN en → ARN (→transcription) et l’appariement → codon/→anticodon.

PCR = En anglais : Polymerase chain reaction. Méthode de laboratoire permettant de multiplier des fragments d’→ADN.

Pesée des intérêts = Méthode d’éthique utilisée pour la prise de décision. Tous les arguments pour et contre une question controversée sont réunis et minutieusement examinés.

Pharmacogénétique/pharmacogénomique = Science qui étudie les spécificités héréditaires de la métabolisation de médicaments, par exemple la rapidité de la dégradation d’un médicament par le foie, déterminée par les → enzymes.

Pharming = Production d’→enzymes et de médicaments par des plantes et des animaux modifiés par → génie génétique.

Phénotype = Ensemble des caractères extérieurs d’un organisme, tels que taille, couleur des yeux, groupe sanguin, etc. Est déterminé par le → génotype et l’environnement.

Plasmide = Petit fragment circulaire d’→ADN, qui est surtout présent dans les → bactéries.

Polymérase = → Enzyme qui rend possible la synthèse de molécules d’→ADN ou d’→ARN.

Produits biologiques = En anglais : « biologics » ou « biologicals » = → Protéines fabriquées par → génie génétique, qui sont utilisées comme médicaments.

Protection contre la tromperie = Obligation de désigner avec une clarté suffisante (déclaration) les denrées alimentaires et autres produits, afin que les consommateurs puissent effectuer leurs achats en conformité avec leur vision du monde.

Protéine = Substance naturelle composée d’→acides aminés, dont sont constituées pour une≈grande part toutes les → cellules.

Protéome = Ensemble de toutes les → protéines d’une → cellule ou d’un tissu. Selon la phase de la vie ou l’état du sujet (malade, en bonne santé), le protéome est composé de protéines différentes.

Protéomique = Science qui étudie le → protéome. Elle analyse par exemple l’interaction de → protéines lors de l’apparition d’une maladie.

Puce à ADN = Fournit des informations sur l’activité d’un → gène en détectant les → ARNm au sein d’une → cellule.

R

Récessive (hérédité) = Hérédité d’→allèles qui n’apparaissent sous la forme de caractères que lorsqu’ils sont présents en double copie, car ils sont réprimés par des allèles → dominants.

Recombinaison = En → génie génétique, combinaison de segments d’→ADN, y compris provenant de différents êtres vivants.

Résistance = Aptitude d’un organisme à se défendre contre des influences extérieures négatives, par exemple contre la sécheresse, les ravageurs ou les maladies.

Ribosome = Usine à protéines. Complexe constitué d’→ARNr et de → protéines, qui – à partir d’un → ARNm servant de matrice – commande la synthèse des protéines composées d’→acides aminés.

S

Séquençage = Méthode visant à décrypter la succession de → bases d’un → gène ou de l’ensemble du → génome.

Sida = Syndrome d’immunodéficience acquise (en anglais : Acquired immune deficiency syndrome = aids). Déficience immunitaire acquise transmise par un virus, le → VIH.

SRAS = Syndrome respiratoire aigu sévère. Maladie provoquée par un → virus, qui est apparue pour la première fois en 2002. Ce virus provient vraisemblablement d’un agent pathogène qui n’avait jusqu’alors touché que des animaux.

Système immunitaire = Système assurant la protection contre des substances et des organismes exogènes, tels que le pollen, les → bactéries ou les → virus.

T

Test génétique = Analyse de l’→ADN visant à tirer des conclusions sur différents aspects d’un individu, tels que causes d’une maladie ou parenté.

Thérapie génique = Traitement d’une maladie → héréditaire par incorporation d’un → gène dans les → cellules. On distingue entre → thérapie génique somatique et → thérapie génique germinale.

Thérapie génique germinale = Intervention par → génie génétique dans les ovules et les spermatozoïdes. Interdite en Suisse.

Thérapie génique somatique = Transfert de gènes dans des cellules de l’organisme (à l’exception des → cellules germinales) dans le but de traiter des maladies → héréditaires et autres.

Traduction = Transposition de la séquence de → bases de l’→ARNm dans la succession des → acides aminés de la → protéine. Ce processus a lieu dans les → ribosomes.

Transcription = Processus permettant la copie d’→ADN en → ARN. Synthèse d’→ARN simple brin reposant sur le principe de l’appariement des bases fondé sur la matrice d’→ADN double brin.

Transcriptome = Ensemble des molécules d’→ARN présentes dans une → cellule à un moment donné.

Transcriptomique = Etude des molécules d’→ARN. On étudie par exemple la question de savoir à quel moment et dans quelles → cellules certains → gènes sont actifs, c’est-à-dire quand et où leur → ARNm est présent.

Transfert de gènes = Transfert de → gènes dans des cellules receveuses.

Transfert nucléaire = Fusion du → noyau cellulaire d’une cellule somatique avec un ovule énucléé dans le but de créer un → clone, qui est génétiquement identique au donneur du noyau cellulaire.

Transgénique = Modifié par → génie génétique.

Trisomie = Présence d’un → chromosome surnuméraire. Le cas le plus fréquent est celui du triplement (au lieu du doublement) du chromosome numéro 21, ce qui provoque le syndrome de Down. Les sujets atteints présentent un handicap intellectuel et parfois aussi physique.

V

Variété hybride = Variété cultivée (céréales, par exemple), née du croisement de deux organismes génétiquement très éloignés. Procure des rendements plus élevés grâce à la multiplication du nombre de → jeux de chromosomes.

VIH = Virus de l’immunodéficience humaine (en anglais : human immunodeficiency virus = HIV). → Virus qui provoque le → sida.

Virus = Petite particule (→ micro-organisme) constituée de → protéines et d’→ADN ou d’→ARN, qui ne peut se reproduire qu’avec l’aide de → cellules vivantes. Provoque souvent des maladies.

Editeur : Fondation Gen Suisse, Berne

Concept et texte : Sibylle Ackermann, Kurt Bodenmüller, Daniela Stebler, Daniela Suter, Gen Suisse

Photos : Carmela Odoni, Bern. S. 31 © Dr. Lev Levkov, Karolinska Institute, Stockholm.

Composition et illustration : Burson-Marsteller, Berne

6e édition digital en français et allemand

© Gen Suisse, Berne 2018

Remerciements

Nous remercions les institutions suivantes, qui nous ont aimablement assistés lors des prises de vues photographiques :

– Institut Institut de biologie végétale de l’Université de Fribourg,

– Institut de biochimie de l’Université de Fribourg,

– Cabinet du Dr Beat Hermann, Berne,

– Bioengineering AG, Wald/ZH.

Nos remerciements vont en outre à tous les protagonistes pour les rôles qu’ils ont joués comme habitants d’une communauté d’étudiants, patients, élèves, médecins, etc.

«Le dialogue est notre objectif.»
Fondation Gen Suisse
Aarberggasse 29
3011 Bern
Tél. : +41 (0)31 356 73 84
Fax : +41 (0)31 356 73 01
info@gensuisse.ch
www.gensuisse.ch



GEN SUISSE.