

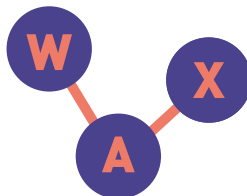


LE GÉNIE

DU GÉNOME



Tout ce que vous n'avez jamais voulu savoir sur la génétique
parce que vous ne saviez pas que ça existait.

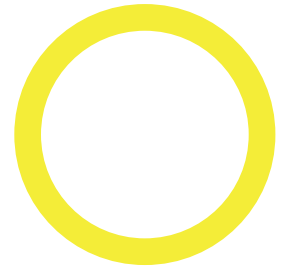




SOMMAIRE

MODIFIER LE GÉNOME À SA GUISE, UNE RÉALITÉ ?	4
QUELQUES CLÉS DE COMPRÉHENSION	6
ET SI MANIPULER LE VIVANT REVENAIT À FAIRE DE LA CUISINE...	10
RETROUVE-T-ON LES OGM AILLEURS QUE DANS NOTRE CUISINE ?	14
FAIRE DU GÉNIE GÉNÉTIQUE C'EST UN PEU PARTIR À L'AVENTURE	18
LES OGM C'EST VIVANT, ÇA CHANGE QUOI ?	22
QUELS ENJEUX POLITIQUES ET ÉCONOMIQUES SE CACHENT DERRIÈRE LES OGM ?	23
LES DERNIERS DÉVELOPPEMENTS DU GÉNIE GÉNÉTIQUE : LA FOLIE DES CRISPR	26
C'EST BIEN JOLI MAIS À QUOI ÇA SERT ?	32
WHAOU C'EST GÉNIAL, MAIS ÇA FAIT UN PEU PEUR QUAND MÊME	33
FAQ : VOICI DES CHOSES QUE L'ON ENTEND SOUVENT, WAX RÉPOND À UN PETIT VRAI/FAUX !	37
ACTIVITÉS	42
LES CARTES À GÈNE	43
JEUX	48
POUR ALLER PLUS LOIN	61
LEXIQUE	62
BIBLIOGRAPHIE	66

MODIFIER LE GÉNOME À SA GUISE, UNE RÉALITÉ ?



Le printemps 2015 marque certainement une nouvelle étape dans l'histoire du génie génétique : pour la première fois, une équipe de scientifiques a tenté de modifier le génome d'un embryon humain pour prévenir le développement d'une maladie chez cet individu. L'objectif : tester l'efficacité d'une nouvelle méthode d'édition de l'ADN, appelée CRISPR-Cas, afin de corriger un gène responsable d'une maladie génétique du sang chez le nouveau-né. Certes l'embryon n'était pas viable et l'expérience s'est arrêtée là. Mais la suite est facile à imaginer : modifier et réimplanter des embryons humains... bref créer des nouveau-nés sur mesure.

La révolution des bébés CRISPR ne relève pas de la fiction mais bien d'un futur proche, plus palpable que jamais. Il est ainsi aujourd'hui concevable que nos petits-enfants puissent se retrouver un jour face au dilemme de devoir choisir, en connaissance de cause : modifier certaines caractéristiques génétiques de leur bébé afin d'ôter tout gène de prédisposition à des maladies ou laisser faire la nature comme il se faisait avant la révolution du génie génétique...

Il est donc plus que jamais temps de parler d'éthique liée à l'usage de ces technologies. Ce n'est d'ailleurs pas pour rien que des scientifiques du monde entier ont décidé de se réunir à l'occasion d'une conférence inédite sur le sujet en décembre 2015. Bref, ce n'est pas osé de dire que nous sommes en train de vivre un véritable tournant historique !

Alors pour ne pas passer à côté de ce grand débat sociétal et se faire sa propre idée, WAX vous propose un kit pédagogique autour du génie génétique : une première partie théorique, suivie d'activités et de documents pour aborder ces sujets de façon ludique et pratique.

L'objectif de ce kit est de vous donner des clés de compréhension équilibrées sur des grandes questions que nous pose aujourd'hui la science à ce sujet.



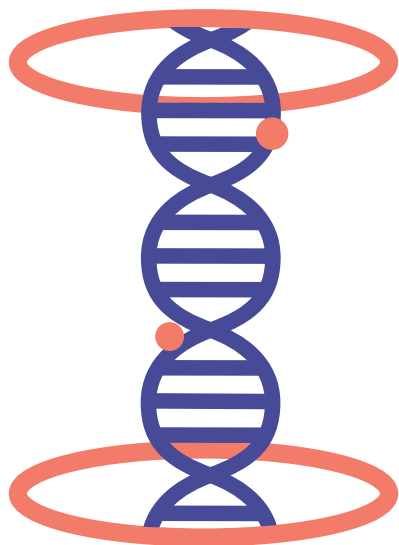


QUELQUES CLÉS DE COMPRÉHENSION



Dès le Néolithique, l'Humain cherche à utiliser et à modifier le vivant à son avantage. Pour manger tout d'abord, en croisant les plantes donnant les meilleurs rendements de culture par exemple. Pour produire des médicaments ensuite, en favorisant les plantes à vertus médicinales. Ou encore pour produire de l'énergie en développant les biocarburants notamment. On modifie donc le vivant depuis plus longtemps qu'on ne le pense. Cependant depuis 10 000 ans les pratiques utilisées ont bien évolué. On parle aujourd'hui de génie génétique pour qualifier l'ensemble des procédés utilisés pour identifier, isoler, modifier et transférer des gènes d'un organisme à un autre. Cependant avant de parler de génie génétique, il a fallu découvrir la génétique et donc fondamentalement la notion de gène. Revenons dans les années 70...

*Pour information les mots suivis d'une * sont définis dans le lexique.*



Retour aux origines...

1866 : Gregor Mendel découvre les lois de l'hérédité, qui définissent la manière dont les gènes se transmettent de génération en génération. À travers une série d'expériences sur l'hybridation* des pois, il met en évidence le principe de l'hérédité qui explique le transfert des caractères des parents vers les descendants.

1938 : l'usage de la bactérie *Bacillus thuringiensis*, dans les champs, pour lutter notamment contre la pyrale du maïs, a été développé et expérimenté en France.



1953 : Watson, Crick et Franklin démontrent que l'ADN* a une structure en double hélice et est constituée de 4 nucléotides : A,T,C,G qui sont complémentaires 2 à 2.

1970 : Paul Berg et al. découvrent les enzymes de restriction*, véritables ciseaux biologiques utilisés lors d'un procédé de génie génétique appelé transgénèse*.

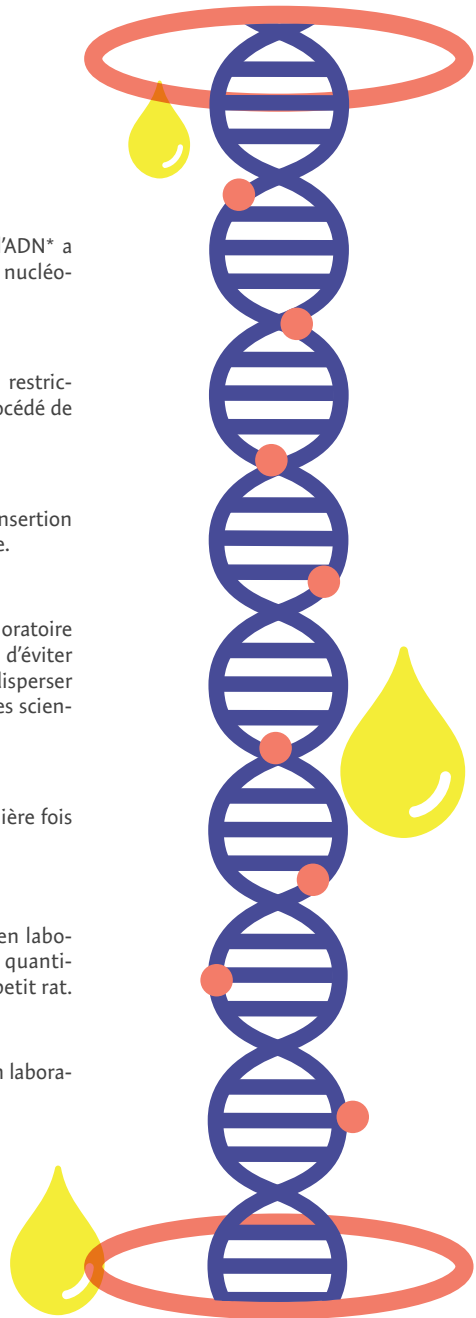
1973 : une première transgénèse est réalisée avec l'insertion d'un gène d'amphibien africain dans l'ADN d'une bactérie.

1975 : conférence d'Asilomar : il est décidé un moratoire (=délai) d'un an sur les manipulations génétiques, afin d'éviter que des bactéries génétiquement modifiées puissent se disperser dans l'environnement. Cette conférence est lancée par les scientifiques travaillant sur ce sujet.

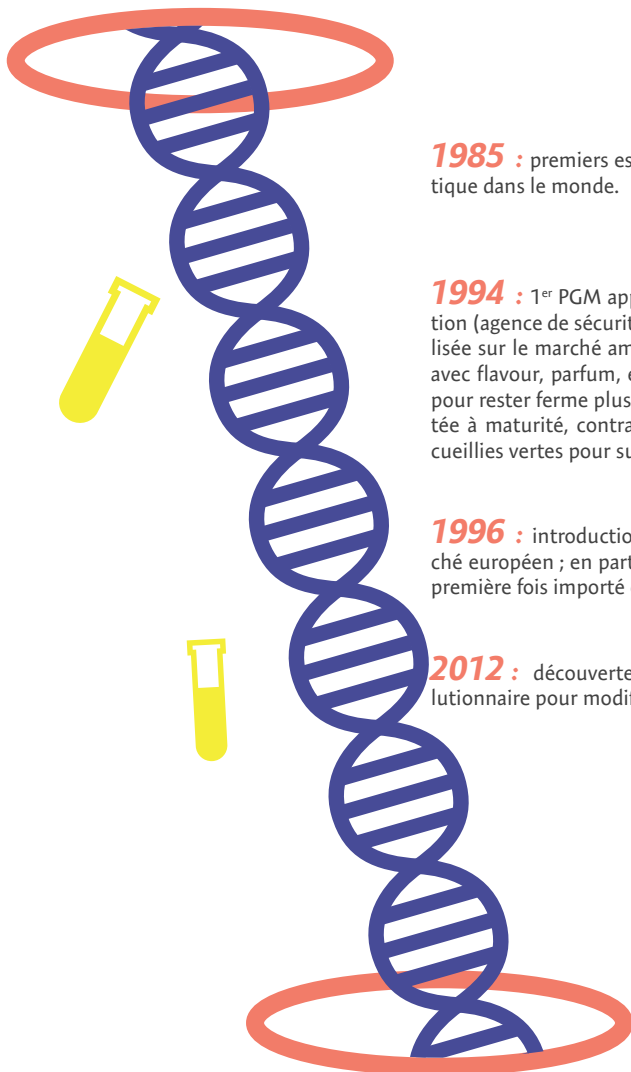
1978 : l'insuline humaine est produite pour la première fois grâce à une bactérie transgénique*.

1980 : le premier animal transgénique est obtenu en laboratoire. Il s'agit d'une souris qui sécrète une plus grande quantité d'hormone de croissance, ayant de fait la taille d'un petit rat.

1982 : le premier végétal transgénique est obtenu en laboratoire ; il s'agit du tabac génétiquement modifié.



L'acronyme OGM (pour Organisme Génétiquement Modifié) apparaît dans les années 1990, après avoir été utilisé dans le cadre juridique d'une directive européenne. Il renvoie alors aux organismes modifiés selon la technique de la transgénèse. Découleront de ce terme deux autres : les PGM (pour Plante Génétiquement Modifiée) et les MGM (pour Micro-organisme Génétiquement Modifié).



1985 : premiers essais de cultures modifiées par génie génétique dans le monde.

1994 : 1^{er} PGM approuvée par la Food and Drug Administration (agence de sécurité des aliments américaine) et commercialisée sur le marché américain = la tomate flavr savr (jeu de mot avec flavour, parfum, et savour, goût), génétiquement modifiée pour rester ferme plus longtemps, ce qui lui permet d'être récoltée à maturité, contrairement aux tomates ordinaires qui sont cueillies vertes pour supporter le transport.

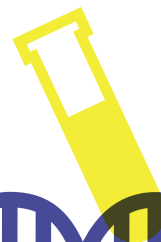
1996 : introduction de produits transgéniques* sur le marché européen ; en particulier le maïs OGM américain est pour la première fois importé en Europe.

2012 : découverte du système CRISPR-Cas, technique révolutionnaire pour modifier les génomes.

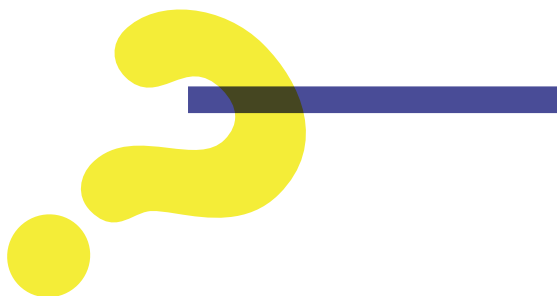


2014 : moratoire européen (à comprendre ici comme une suspension volontaire) sur la culture du maïs OGM Mon810, adopté par neuf pays de l'Union européenne, dont la France.

2016 : le premier champignon modifié par CRISPR-Cas9 est autorisé à être commercialisé aux États-Unis sans suivre la procédure "OGM".



Ainsi le génie génétique ne date pas d'hier et propose aujourd'hui un nombre infini d'applications concrètes, à travers toutes les sphères de la société (santé, alimentation, énergie, agriculture, etc.) ... mais en quoi consiste-t-il au juste?



ET SI MANIPULER LE VIVANT REVENAIT À FAIRE DE LA CUISINE...



Ton anniversaire approche et tu songes déjà à quoi pourrait ressembler ton gâteau. Tu le désires au chocolat, moelleux et décoré avec de la pâte à sucre. Comme tu ne veux pas te rater le jour J et que tu souhaites épater les copains avec tes talents culinaires, tu t'y prends à l'avance pour essayer plein de recettes différentes trouvées un peu au hasard en espérant en trouver une qui te convient. La plupart d'entre elles partent des mêmes ingrédients : farine, beurre, sucre, oeufs, chocolat... Tu vas alors garder les meilleures et essayer de les améliorer en mixant les recettes. Mais il manque encore la décoration qui ne figure pas dans les recettes que tu as essayées. Il te faut alors chercher d'autres ingrédients pour fabriquer ta pâte à sucre et faire plusieurs essais avant d'arriver à décorer correctement ton gâteau et à faire des motifs sophistiqués grâce à des petits ciseaux très pratiques pour les finitions. Tu envisages même d'utiliser une imprimante 3D alimentaire pour les motifs qui demandent encore plus de précision...

Vous pensez qu'on s'est écarté du sujet ? Bien au contraire, on est en plein dedans ! Biologie moléculaire et cuisine partagent de nombreux outils et raisonnements.

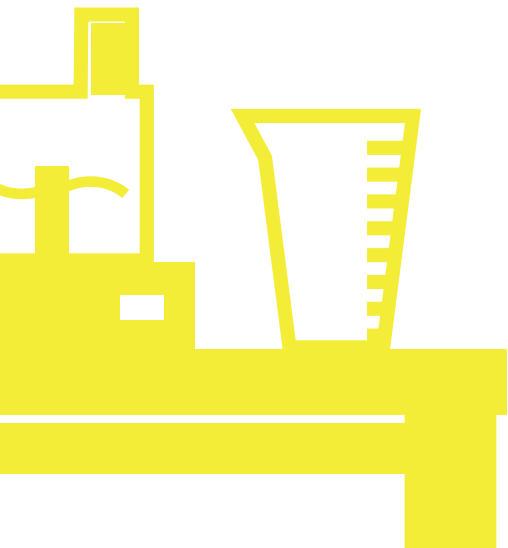
En reprenant le même exemple que précédemment, le biologiste dira ainsi dans son langage qu'il effectue un « croisement » ou bien une « sélection », lorsqu'elle combine des recettes afin d'obtenir le meilleur gâteau possible. On parle de gâteau « OGM » lors de l'ajout de la décoration à base de pâte à sucre. En effet, comme cela n'apparaissait pas dans les recettes existantes, il doit « insérer un nouveau gène », c'est-à-dire apporter de nouveaux ingrédients nécessaires à la fabrication de la pâte à sucre, et attendre plusieurs « générations », ou essais culinaires, avant d'avoir des résultats concluants.

Prenons le cas d'un industriel de l'agroalimentaire qui cherche à améliorer la qualité nutritionnelle et gustative de ses produits.

- Premier exemple : il sait que ses fruits peuvent mûrir plus vite en présence d'une hormone naturelle qu'est l'éthylène. Il va ainsi chercher à mettre au point des bactéries capables de produire de l'éthylène. Il va générer de nombreuses bactéries pour cela avant de sélectionner celle capable de produire la plus grande quantité d'éthylène.

- Deuxième exemple : le cas de la viande. Notre industriel sait que la qualité de la viande est liée directement à sa composition en lipides. Il va ainsi chercher à modifier son bétail en mutant un gène, ce qui va permettre d'accumuler dans la viande des lipides de type oméga-3 (lipides essentiels trop peu consommés dans la grande majorité des pays industrialisés). Parmi les vaches qu'il obtient, il va devoir procéder à une sélection pour ne garder que les meilleures.

Mais alors, comment s'y prend-t-il ?



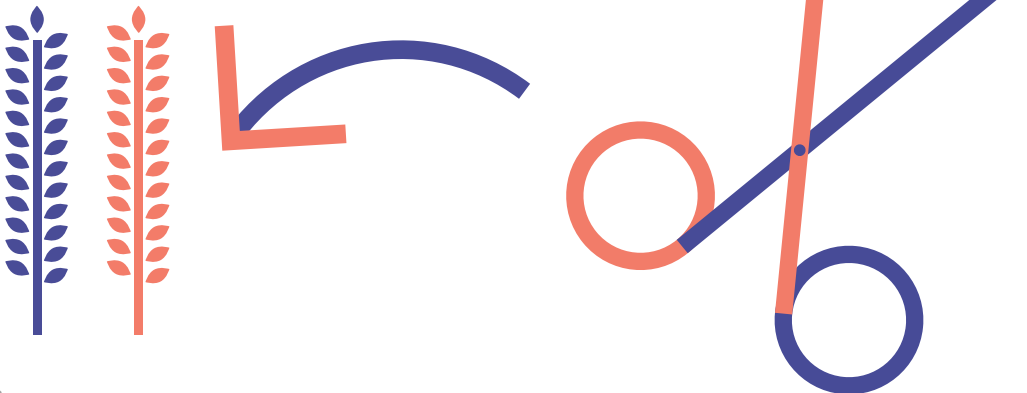
Les techniques de génie génétique à disposition de la biologie ont bien évolué depuis un siècle :

• Dans les années 20 : la mutagenèse artificielle

Au début du XXème siècle sont découvertes les radiations ionisantes, ces rayonnements capables de provoquer des réactions au sein de l'organisme et utilisés notamment en radiologie. On se rend compte rapidement que les altérations (=mutations) provoquées par ces radiations dans un organisme sont hérissables (= transmissibles à la descendance). D'où l'idée de les employer pour modifier génétiquement le vivant. Cela correspondrait à une recette de pâte à sucre déjà connue de tous que l'on souhaiterait améliorer. Pour y arriver, on achèterai un sac plein d'ingrédients divers et variés, et à chaque test, on saisit un ingrédient AU HASARD (sans le regarder par exemple) et on le mélange à la recette de base. Puis en fonction du résultat (gût/forme/odeur) on choisit ou non de le garder pour notre recette perso.

• Dans les années 70 : la transgénèse

L'idée est la suivante : à l'aide de ciseaux moléculaires, appelés enzymes de restriction*, on extrait un gène précis et on le place dans un autre organisme (plante, animal, bactérie...), à la manière d'une greffe d'organe. Pour garder notre analogie à la cuisine, ce seraient de nouveaux ustensiles qui permettrait d'incorporer des ingrédients que l'on veut (dont on suppose l'effet sur notre pâte à sucre) au moment où l'on veut dans l'élaboration de la recette.



• Actuellement :

1) la biologie de synthèse

C'est le début de l'ingénierie biologique qui consiste à designer et à concevoir des systèmes biologiques artificiels ayant des fonctions nouvelles. Disons que les techniques associées s'inscrivent directement dans l'évolution des enzymes de restrictions avec un champ des possibles encore plus vaste : modification et insertion de plusieurs gènes à la fois, design de circuits de gènes...

2) la biologie de synthèse

Les nucléases (TALENS Zing finger) et les CRISPR. Que peut-il bien se cacher derrière ces acronymes un peu barbares ? Les TALENS (Transcription activator-like effector nucleases), ce sont des enzymes de restriction artificielles générées par fusion d'un domaine (=zone) de liaison à l'ADN, appelé TALE, avec un domaine ayant la capacité de cliver l'ADN. On peut ainsi créer des enzymes de restriction spécifiques pour n'importe quelle séquence d'ADN et capables de couper celle-ci. Quand ces enzymes sont introduites dans les cellules, elles peuvent alors être utilisées pour modifier le génome de cette même cellule. Les CRISPR sont des outils aux fonctions similaires mais encore plus élaborés. Pour comparer ces deux nouvelles techniques, prenons l'analogie informatique suivante. Les nucléases (TALENS Zing finger) sont un peu comme des ordinateurs (hardware), là où CRISPR est un programme (software). En effet, les nucléases nécessitent de fabriquer des protéines TALE nouvelles à chaque fois pour chaque nouvelle expérience. Ce qui crée une barrière technique bien souvent trop haute pour pouvoir être franchie par la plupart des laboratoires de recherche. Avec CRISPR, les choses sont infiniment plus simples, puisqu'au lieu de construire un ordinateur pour chaque nouvelle expérience, il suffit d'écrire quelques lignes de programme, c'est-à-dire la portion d'ADN correspondant au gène visé (CRISPR) et de laisser l'enzyme (Cas9) agir ! Vous n'avez pas tous compris ? Pas d'inquiétude nous aurons l'occasion de revenir sur cette technique CRISPR plus tard dans le kit... S'il y a quelque chose à retenir à ce stade, c'est qu'avec cette technique, fini les coupures imprécises : il est désormais possible de maîtriser au mieux le lieu d'intégration du gène transféré. Pour notre cuisinier.e, c'est l'équivalent de l'imprimante 3D qui permet de faire des motifs extrêmement précis et sophistiqués, comme jamais auparavant !

RETROUVE-T-ON LES OGM AILLEURS QUE DANS NOTRE CUISINE ?



Vous pensez peut être que les OGM sont seulement présents dans l'agriculture, et bien non, les modifications du génome de bactéries et de plantes concernent de nombreux domaines.

• *Le plus évident... les OGM pour l'agriculture et l'alimentation*

des OGM résistants aux insectes

Ex : Le meilleur exemple est le maïs Bt, seul OGM à consommation directe actuellement autorisé en Europe. Il s'agit d'un OGM dit pesticide. La modification génétique apportée au maïs permet la production d'une toxine (appelée "Bacillus Thuringiensis" du nom de la bactérie qui la sécrète normalement) capable de tuer la pyrale du maïs qui est un insecte ravageur des cultures.

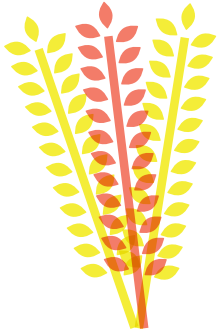
des OGM tolérants aux herbicides

Ex : Les plantes OGM «round up-ready» ont été rendues insensibles au glyphosate, qui est un herbicide tuant les plantes vertes. Une telle plante OGM est donc tolérante à un traitement au glyphosate, alors que les adventices (mauvaises herbes) sont tuées.



des OGM résistants à un virus

Ex : La culture de papaye était destinée à disparaître à cause d'un virus qui déforme les fruits, pouvant aller jusqu'à faire mourir l'arbre. Une variété de papaye a été mise au point pour résister à ce virus et à permis d'enrayer l'épidémie.

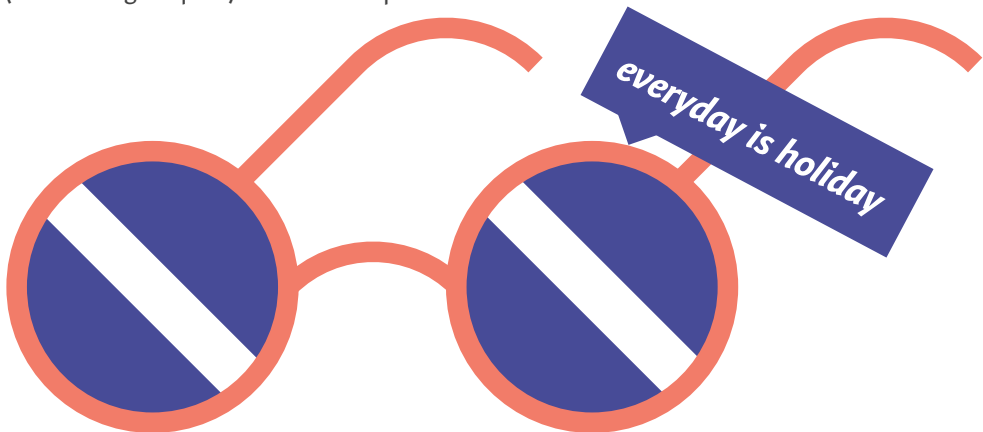


des plantes OGM utilisées à des fins d'alimentation humaine

- Les produits hautement transformés (= modifiés par rapport à leur état naturel, afin d'être plus pratiques à l'achat et à la consommation) : huile, farine, sucre...
- Les super-aliments, des aliments très nutritifs : c'est le cas du riz «doré», un riz enrichi en bêta-carotène (ou pro-vitamine A) qui permet de pallier les carences en vitamine A dans des cas de malnutrition.

des plantes OGM adaptées aux conditions défavorables

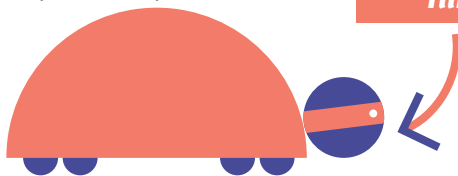
Ex : Le riz et le maïs ont été modifiés pour résister à la sécheresse. Résultat : en cas de grande chaleur, les plantes transgéniques se développent et produisent des graines alors que les plantes analogues (non transgéniques) en sont incapables.



OGM animaux et la recherche de nouveaux médicaments

Les souris utilisées en laboratoire sont également des OGM ! Elles servent à rechercher des médicaments appropriés pour le traitement ou la prévention d'une maladie mais aussi pour comprendre des fonctions biologiques fondamentales.

**une tortue
bientôt
ninja**



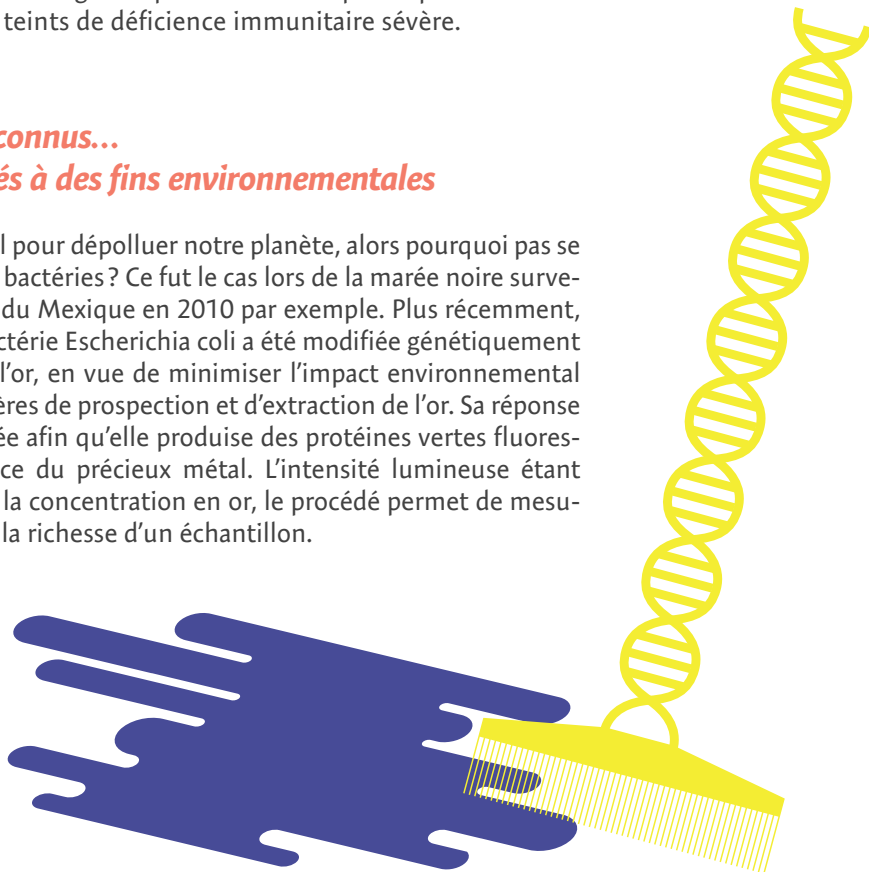
Thérapie génique humaine

Disons que ça consiste à utiliser un gène sain comme «médicament» pour faire exprimer une protéine qui doit pallier un dysfonctionnement génétique. C'est ainsi qu'ont pu être traités des enfants atteints de déficience immunitaire sévère.

Encore moins connus...

les OGM utilisés à des fins environnementales

Ex : il y a du travail pour dépolluer notre planète, alors pourquoi pas se faire aider par des bactéries ? Ce fut le cas lors de la marée noire survenue dans le Golfe du Mexique en 2010 par exemple. Plus récemment, une souche de bactérie *Escherichia coli* a été modifiée génétiquement pour détecter de l'or, en vue de minimiser l'impact environnemental des activités minières de prospection et d'extraction de l'or. Sa réponse a ainsi été modifiée afin qu'elle produise des protéines vertes fluorescentes en présence du précieux métal. L'intensité lumineuse étant proportionnelle à la concentration en or, le procédé permet de mesurer avec précision la richesse d'un échantillon.





Et ce n'est pas fini... des perspectives multiples

Tout s'accélère dans le monde de la biologie de synthèse* : avec l'émergence des nouvelles techniques de modification du génome, les idées les plus folles paraissent réalisables. C'est le concept même de la compétition iGEM (International Genetically Engineered Machines), concours international de biotechnologie, où des équipes du monde entier assemblent des composés génétiques (appelés biobricks) pour créer les OGM de demain. Tous les domaines sont concernés : des bactéries pour traiter la tuberculose, des vêtements en cellulose faits à partir de bactéries, des déodorants bactériens... En 2015, des équipes ont exploré la technologie toute récente du «gene drive», qui consiste à modifier génétiquement un organisme pour que le caractère nouveau qu'il porte se transmette obligatoirement à ses descendants. Ainsi, après plusieurs générations, les gènes modifiés prolifèrent d'eux-mêmes au sein de la population jusqu'à ce que la population entière porte le caractère désigné. Autrement dit, cette technique permet l'amplification de gènes génétiquement modifiés au sein d'une population en reproduction, sans autre intervention une fois le caractère introduit. Une équipe iGEM s'est ainsi attaquée à la menace des pesticides pour les abeilles en modifiant les bactéries se trouvant dans l'intestin de celles-ci afin qu'elles puissent digérer les pesticides. De leur côté, de nombreuses recherches misent sur la technologie du «gene drive» pour enrayer la propagation des maladies transmises par les moustiques.



FAIRE DU GÉNIE GÉNÉTIQUE C'EST UN PEU PARTIR À L'AVENTURE

On commence à mieux comprendre comment les biologistes font pour créer de nouveaux organismes par génie génétique mais pour autant on est encore un peu sceptique : est-on sûr que ces organismes transgéniques s'intègrent bien dans leur environnement? Il faut dire qu'avec toutes les rumeurs qu'on entend, on est un peu perdu...

On a appelé le chien Indiana

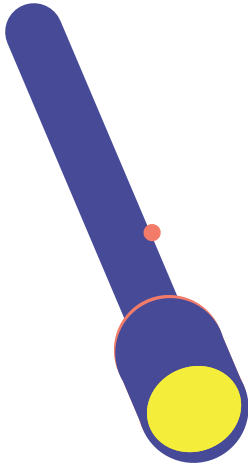
Des risques sanitaires?

Aujourd'hui aucune étude scientifique sérieuse n'a prouvé la toxicité des OGM alimentaires en santé humaine, et ce quelle que soit la méthodologie utilisée. Attention cela ne veut pas dire qu'ils ne le sont pas en réalité : car les tests actuels ne permettent en effet de détecter des composés toxiques qu'à des doses bien supérieures à celles des teneurs en OGM dans notre alimentation. Des méthodes de détection plus pointues nous permettront probablement à l'avenir de trancher sur le sujet. Cependant, rien ne sert de paniquer, aucun effet n'a été prouvé jusqu'à aujourd'hui. La nuance reste dans le "jusqu'à aujourd'hui" car en sciences impossible d'être dans la certitude.

- Les OGM peuvent générer des allergies (comme ce fut le cas au Brésil en 1996 avec des gènes de noix transférés dans des plants de soja) mais ces risques sont limités par le nombre important de contrôles effectués sur les OGM à l'heure actuelle.

- Par ailleurs le site d'insertion du transgène étant relativement aléatoire, cela peut être problématique dans le cas des OGM bactériens utilisés en thérapie génique (traitement visant à modifier un endroit précis du génome pour traiter une maladie) : certains essais ont ainsi mené au développement de cancer du fait de modifications génétiques effectuées à un endroit non approprié du génome.

*risques effectués à un endroit non approprié du génome :
mené au développement de cancer du fait de modifications gé-
nétiques du génome pour traiter une maladie) : ainsi certains essais ont
conduit en thérapie génique (traitement visant à modifier un endroit
précis du génome pour traiter une maladie) : certains essais ont ainsi
mené au développement de cancer du fait de modifications gé-*



Des risques pour l'environnement?

La question de savoir si les OGM menacent la biodiversité est très large car cela dépend à la fois du type d'OGM et du niveau de biodiversité :

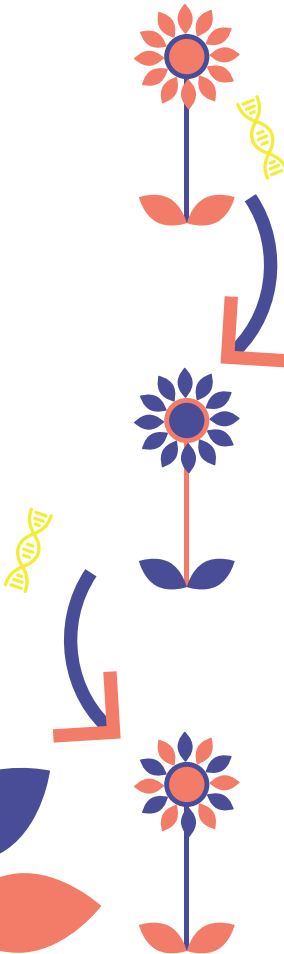


• **Au niveau des gènes :**

Attention, introduire un OGM dans un écosystème ne signifie pas une réduction de la biodiversité au niveau des génomes*! Chaque espèce contient environ plusieurs milliers voire des dizaines de milliers de gènes, chacun existant sous différentes versions (appelées allèles) : un gène de plus n'appauvrit donc pas.

En revanche, créer un OGM coûte cher. Une fois développé, ce sera donc toujours la même plante (ou un nombre réduit de plantes) qui sera semée. Cela peut donc entraîner une réduction de la biodiversité. Cependant, ce genre de raisonnement peut aussi s'appliquer à des variétés non-OGM.

Au niveau des espèces :



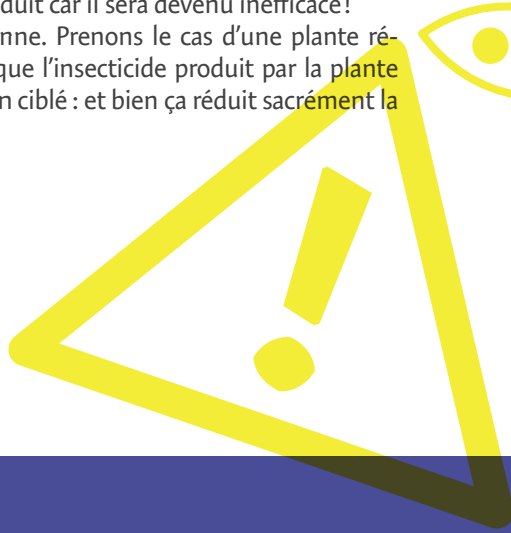
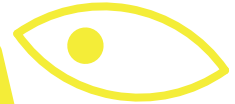
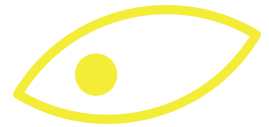
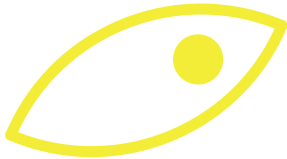
Si la question se pose, c'est qu'en introduisant un OGM dans l'environnement, des phénomènes de dissémination du transgène sont possibles. Un OGM peut ainsi transmettre le gène qui lui a été implanté à un autre organisme de l'environnement par transfert horizontal. Chez les humains les gènes sont transférés verticalement, c'est-à-dire qu'on les hérite de nos parents. Mais chez les microbes et les plantes, les gènes peuvent aussi être transférés horizontalement, c'est un peu comme si entre humains une fois nés on pouvait récupérer les gènes de nos frères et sœurs, de nos ami.e.s. Dans la nature, les échanges de gènes sont monnaie courante, même entre espèces différentes ! Un OGM peut ainsi transmettre le gène qui lui a été implanté à un autre organisme de l'environnement par pollinisation croisée (dans le cas des plantes) avec le transport du pollen. Et voilà qu'on se retrouve avec une nouvelle génération de plantes, qui présentent des caractères qu'on ne voulait pas, comme la résistance à un herbicide par exemple. C'est peu probable mais ça peut arriver quand même !

Pas de panique cependant : tous les transgènes ne présentent pas un risque potentiel pour l'environnement ! Par exemple, un gène conférant un plus haut taux de vitamines ne procure a priori aucun avantage à la plante. Ainsi, si une population de plantes devait acquérir ce gène, on peut penser qu'elle ne risquerait pas de devenir nuisible. Par contre, un gène procurant une tolérance à un insecticide ou à un herbicide pourrait causer un impact environnemental négatif. Les plantes qui acquerraient ce gène de tolérance auraient de meilleures chances de survie dans un champ traité avec ce pesticide. Elles pourraient alors devenir envahissantes.

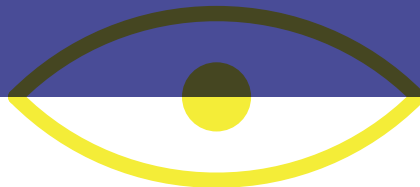
Au niveau des écosystèmes :

Dans le cas des plantes résistantes à un herbicide ou à un insecticide, deux conséquences sont prévisibles :





- Des organismes résistants apparaissent : imaginons un champ cultivé avec des plantes résistantes à un herbicide. Mettons que des mauvaises herbes deviennent insensibles à ce même herbicide : l'agriculteur.rice n'aura plus d'intérêt à utiliser ce produit car il sera devenu inefficace!
- La cible de l'OGM n'est pas la bonne. Prenons le cas d'une plante résistante à un insecticide. Mettons que l'insecticide produit par la plante entre en contact avec un insecte non ciblé : et bien ça réduit sacrément la biodiversité de l'écosystème!



Pour aller au-delà des PGM, imaginons qu'une bactérie entièrement nouvelle soit créée par génie génétique. Une fois relâchée dans l'écosystème, celle-ci va pouvoir se développer de façon autonome et transmettre sa modification génétique à sa descendance... Le pire des scénarios n'est pas à exclure : si la bactérie s'adapte parfaitement à son nouvel environnement, elle aura d'autant plus de facilité à amplifier son patrimoine génétique au sein de la population bactérienne. Elle pourra ainsi progressivement prendre la place des espèces existantes, étant mieux capable de s'adapter. C'est un peu comme l'effet papillon... Avec le risque de déséquilibrer l'écosystème établi, ce qui n'est pas sans conséquence. L'utilisation d'organismes génétiquement modifiés doit donc prendre en compte l'impact sur l'environnement, à tous ces niveaux!

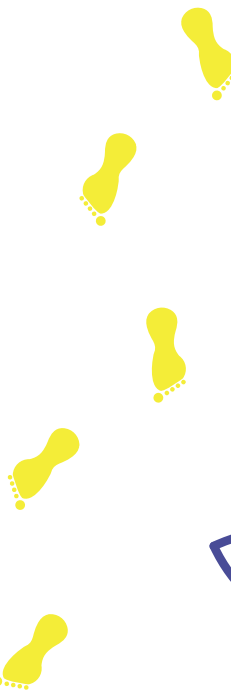


LES OGM C'EST VIVANT, ÇA CHANGE QUOI ?



De façon générale, si la question du risque s'impose ici c'est bien parce que nous parlons du vivant. Utiliser des technologies qui touchent au vivant implique de faire face à de multiples inconnues car celui-ci est instable et imprévisible : une de ses caractéristiques premières est qu'il évolue. Hors, il est difficile, voire impossible, d'un point de vue scientifique de maîtriser l'évolution du vivant.

Produire des OGM, c'est réaliser des modifications génétiques qui peuvent se produire naturellement, pour certaines, mais à des fréquences bien plus élevées que dans la nature.



Il est impossible de prédire les conséquences de l'insertion d'un gène dans un organisme et un écosystème donnés au cours du temps : modifications inattendues de certaines fonctions de l'organisme, transmission du gène à d'autres espèces... Autant de possibilités que la science ne peut pas prévoir à l'avance.

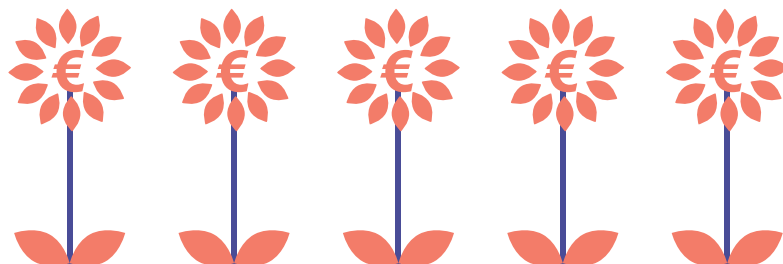
L'évolution et la reproduction sont deux caractéristiques majeures du vivant. Ces deux paramètres ont un impact considérable sur les biotechnologies et ce n'est pas pour rien que l'humain cherche à les maîtriser : contrôle de l'évolution des bactéries modifiées dans les fermenteurs, OGM rendus stériles dans certains cas pour limiter leur dispersion...

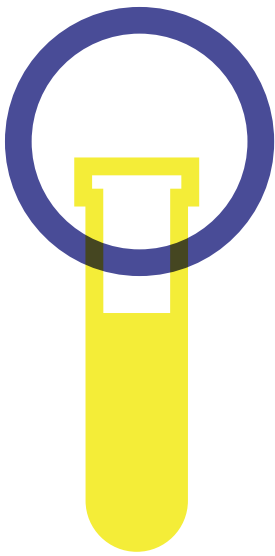
On a entendu les arguments des scientifiques, élargissons maintenant la thématique au contexte sociétal dans son ensemble...



QUELS ENJEUX POLITIQUES ET ÉCONOMIQUES SE CACHENT DERRIÈRE LES OGM ?

Il y a tout d'abord la question des plantes génétiquement modifiées qui renvoie à notre mode de production alimentaire. L'agriculture est en effet en train de vivre un bouleversement profond dans lequel s'inscrivent les OGM. L'agriculteur.rice doit choisir entre diverses agricultures dont une agriculture à grande échelle qui a recours à l'amélioration végétale pour produire des rendements élevés dans des conditions spécifiques, et une agriculture de proximité qui va privilégier un mode de culture biologique ou encore une agriculture raisonnée. Les OGM ne sont pas de facto reliés à la première car on pourrait imaginer des plantes génétiquement modifiées qui justement s'adaptent mieux à leur environnement ou limitent l'utilisation de pesticides. Cependant, force est de constater qu'au vu des modèles économiques des OGM (investissements importants en recherche), ils sont aujourd'hui les représentants (non exclusifs mais quand même) d'une forme d'agriculture productiviste et où l'environnement doit s'adapter à la variété par l'utilisation élevée d'intrants (eau, pesticide, herbicide, engrais...)





De façon plus générale, la question qui revient sans cesse est : a-t-on vraiment besoin des OGM ? Il est complètement possible de faire de l'agriculture sans et dans bien d'autres domaines où ils sont utilisés des solutions alternatives existent. L'utilisation des OGM n'est donc pas une nécessité. En revanche, dans certains cas, comme la production de certains médicaments, ils sont beaucoup plus acceptés. Ces questions renvoient à des notions de "bénéfices/risques" ou "coût/bénéfice". Quand les solutions alternatives ne sont pas aussi performantes et que les risques (comme ceux sur l'environnement qui sont faibles dans un fermentateur) sont limités, les OGM peuvent constituer des outils utiles. Et oui, c'est cela qu'il ne faut oublier, les OGM sont avant tout des outils qui peuvent être utilisés à diverses fins et souvent dans ce débat, ce sont les fins qui sont jugées et confondues avec l'outil. Pour résumer, il ne faut pas jeter le bébé avec l'eau du bain, mais appréhender chaque cas avec nuance pour se faire son propre avis !

Au-delà de toute considération économique, la modification du vivant nous questionne au niveau éthique. Devrait-on modifier le vivant ? Et si oui quelle est la limite ? Comme nous avons déjà pu l'expliquer, les bactéries OGM sont beaucoup plus acceptées que les plantes ou encore les animaux. Pourquoi ? Pas de réponse toute faite à cette question. Ici encore, chacun.e a son système de valeur, sa philosophie, ses croyances. De même pour la question du brevetage du vivant. Il semble a priori contre intuitif de pouvoir breveter quelque chose qui aurait été inventé par... la nature. Mais alors comment financer les recherches sur ces sujets (là encore on ne cherche pas à justifier de l'importance de financer ces thématiques plutôt que d'autres) ? Aujourd'hui, ce qui est breveté, ce n'est pas le transgène mais le mécanisme qui permet de créer l'organisme génétiquement modifié. Si nous soulignons la diversité des points de vue, c'est parce qu'elle se transcrit par une extrême diversité des régulations en fonction des pays, des plus laxistes (Chine, Corée, États-Unis, Royaume-Uni...) aux plus conservateurs (Autriche, France...).



Au-delà de ces questions qui se posent depuis des décennies, de nouveaux problèmes juridiques apparaissent. Les nouvelles techniques de génie génétique, qui ne sont pas réglementées à l'heure actuelle, soulèvent de nombreuses réactions. C'est le problème des "OGM cachés." Expliquons-nous. Les modifications apportées par ces techniques ne sont plus forcément détectables et sont même semblables à ce qui pourrait se produire dans la nature (par exemple quelques lettres supprimées dans le programme génétique d'une plante lui permettent de brunir moins vite). En observant le produit final, impossible de dire si c'est un OGM ou non car l'élément qui permettait de définir l'OGM (la présence d'un transgène) n'est plus là. Cependant, cette plante qui aurait pu apparaître de façon spontanée a bien été créée par des outils de modification du génome. Alors OGM ou pas OGM? Comme vous pouvez l'imaginer, les industriels cherchent à convaincre que ce qui devrait être jugé est le produit final alors que les associations de défense de l'environnement et de consommateurs voudraient que ce soit le procédé d'obtention qui prime. Aujourd'hui la question n'est pas encore tranchée en Europe, mais aux États-Unis les organismes modifiés génétiquement au sens propre du terme ne le sont donc plus au sens législatif. Ils peuvent donc être commercialisés plus facilement et échapper aux contraintes d'étiquetage et de traçabilité.

Voilà un petit condensé d'éléments à avoir en tête lorsqu'on parle de génie génétique et donc d'édition du génome. Ces éléments sont nécessaires pour comprendre les bouleversements que connaît aujourd'hui la biologie avec l'apparition de la technologie CRISPR-Cas9.

**Suis-je le fruit
de l'immaculée
conception ?**

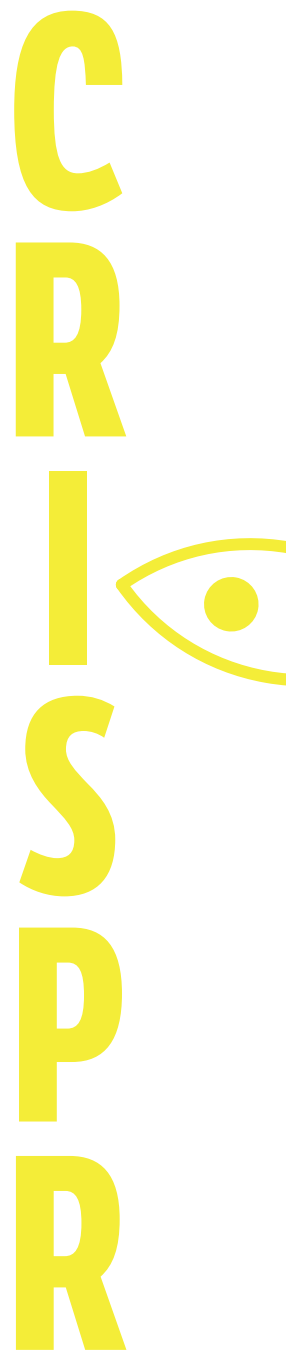
LES DERNIERS DÉVELOPPEMENTS DU GÉNIE GÉNÉTIQUE : LA FOLIE DES CRISPR



CRISPR-Cas, cet acronyme un peu barbare est aujourd'hui dans la bouche de tou.te.s les scientifiques impliqué.e.s dans le génie génétique, et bien d'autres. Derrière ces lettres se cachent la dernière innovation en matière d'ingénierie du génome, qui va transformer de multiples facettes de notre monde.

Les systèmes CRISPR-Cas proviennent des bactéries. Ce sont des systèmes immunitaires adaptatifs. Jusqu'ici, vous vous dites quel est le rapport? Et bien, des scientifiques se sont rendus compte qu'il était possible de modifier ces systèmes pour créer une nouvelle boîte à outils pour les biologistes.

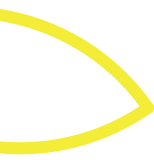
Des systèmes CRISPR ont en effet été conçus pour remplir différentes fonctions dont les biologistes ont besoin : couper de l'ADN à un endroit précis, remplacer un bout d'ADN par un autre, empêcher l'expression d'un gène, illuminer un endroit spécifique de la cellule... Et cela chez quasiment n'importe quel organisme, pour un coût très faible et de manière très simple. Et c'est là toute la puissance de ces systèmes. Ils permettent de bricoler l'ADN à souhait, ce qui jusqu'alors restait très difficile, long et coûteux, quand cela n'était pas tout simplement impossible. C'est un peu comme l'invention simultanée du tournevis, du marteau et de la pince qui deviendrait d'un coup accessible aux plombier.e.s.



Concrètement comment ça marche?

Tout repose sur une protéine appelée Cas9. Cette protéine est une petite machine moléculaire qui a pour fonction de reconnaître de l'ADN, puis de le couper !

Cette paire de ciseaux est ainsi guidée par un petit ARN, c'est-à-dire une molécule qu'il est très facile pour un.e scientifique de modifier à souhait. Ce petit ARN va identifier l'endroit précis dans le génome où il doit diriger le ciseau moléculaire (Cas9). Le fait de pouvoir connaître précisément où on coupe permet de cibler un gène en particulier, ou encore d'insérer un nouveau trait à un endroit précis. Les CRISPRs sont donc un peu comme des ciseaux moléculaires téléguidés!



Pour vous donner une autre comparaison. Imaginez que l'ADN que les scientifiques souhaitent modifier est un document texte sous word. Vous souhaitez changer une lettre au sein d'un mot. Et bien Cas9, c'est un peu comme votre souris, que vous dirigez pour couper au milieu du mot, à ceci près qu'elle insère automatiquement un espace à l'endroit où elle coupe.

éléphant

éléphujiant

Après avoir coupé l'ADN, la cellule va chercher à réparer cette coupure. Pour cela, elle peut utiliser deux mécanismes :

- le premier qui va réparer un peu grossièrement sans modèle (un peu comme si l'ADN était un fil et qu'on faisait un noeud pour que ça tienne sans s'assurer que toute l'information au niveau du noeud est conservée) grâce à un système appelé NHEJ.
- le deuxième : une réparation d'après un modèle (qui doit du coup se trouver dans la cellule), un peu comme une réparation de précision.

Reprenons l'analogie du document word : en insérant un espace au sein d'un mot, vous en perturbez le sens. Vous pouvez alors supprimer le mot entier (mécanisme 1), ou bien le réparer d'après un modèle (mécanisme 2), pas nécessairement correspondant au mot initial.

Je vois des éléphan~~tu~~ant sympas.

#1 Je vois des sympas.

#2 Je vois des crocodiles sympas.

Les scientifiques se sont approprié.e.s ces phénomènes.

En poussant la cellule à utiliser la première forme de réparation, ils suppriment la fonction du gène où la coupure a eu lieu, puisque la réparation grossière mène à une version non fonctionnelle du gène. Si vous supprimez un mot dans une phrase, cette phrase ne sera plus correcte, elle aura perdu sa fonction.

À quoi cela sert-il ? Et bien la machine Cas9 va pouvoir se fixer à un endroit précis du génome afin d'y effectuer plusieurs fonctions. Elle va pouvoir limiter ou augmenter l'expression d'un gène, ou encore illuminer l'endroit où elle se fixe. Dans ce cas, vous pouvez imaginer qu'il s'agit d'augmenter ou de diminuer la police de caractère sur un endroit sur lequel vous avez cliqué, pour rendre cette partie plus importante aux yeux du lecteur ou de la lectrice.

*ouais bah
vous êtes
super nuls en
orthographe.*

Le dernier point à retenir sur ces ciseaux est qu'ils sont présents en plusieurs exemplaires dans une même cellule. Ainsi, on peut mettre différents guides côte à côte et cibler plusieurs endroits dans le génome à la fois, ce qui était jusqu'à maintenant quasiment impossible !

Pour favoriser le deuxième type de réparation, les scientifiques peuvent insérer en même temps que les ciseaux moléculaires, un modèle ARN, qui leur permet de remplacer une version d'un gène par une autre. Dans ce cas-là, c'est un peu comme du copier-coller. Vous supprimez un mot de votre phrase et le remplacez par un autre, qui vient d'ailleurs.

Enfin, les ciseaux moléculaires peuvent être modifiés pour ne plus couper, on parle de Cas9 désactivée ou dCas9. Là, c'est un peu comme une souris normale. Cela permet au scientifique de cliquer à un endroit précis.



LES MÉCANISMES MOLÉCULAIRES DE L'ÉDITION DU GÉNOME.

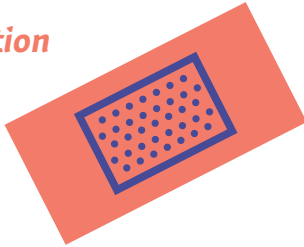
Cibler une région dans l'ADN



Introduction d'une coupure dans l'ADN



Réparation



Conséquence de la réparation



Applications



Enzymes de restriction

Protéine qui grâce à une forme particulière reconnaît une courte séquence d'ADN.

- Coupe partout et n'est donc pas précise
- Pas possible de changer la séquence



1

NHEJ

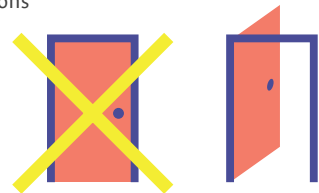
Réparation un peu grossièrement sans modèle (un peu comme si l'ADN était une corde et qu'on faisait un noeud pour que ça tienne sans s'assurer que toute l'information au niveau du noeud est conservée)



Création d'une version non fonctionnelle pour ce gène particulier



- Créer des modèles pour des maladies
- Plantes ou animaux n'exprimant plus un gène ce qui peut donner de nouvelles fonctions



ZFN / TALEN

Protéine qui grâce à une forme particulière reconnaît une longue séquence spécifique longue d'ADN.

-Très précise mais compliquée et onéreuse à mettre en oeuvre.



2

Réparation Homologue

Réparation d'après un modèle (qui doit du coup se trouver dans la cellule), un peu comme une réparation de précision.



- Insertion d'un nouveau bout d'ADN
- Remplacement d'un gène par une autre copie



- Plantes, animaux, bactéries exprimant des nouvelles protéines
- Thérapie génique



CRISPR-Cas9

- Protéine qui grâce à un petit bout d'ARN reconnaît une séquence spécifique longue d'ADN.

- Très précise, simple et peu chère de changer la séquence car il suffit de modifier un bout d'ARN.

3

Pas de réparation

*Les mains en l'air,
ne touchez plus à rien!*

La cellule meurt.



- Créer de nouveaux types d'antibiotiques



C'EST BIEN JOLI MAIS À QUOI ÇA SERT ?

Faites-en des bateaux !

HA HA HA HA HA HA

Une nouvelle boîte à outils mais pour quoi faire ? Avec de telles possibilités qui existent depuis seulement deux-trois ans, les scientifiques n'ont pas chômé ! Voici des exemples non exhaustifs de ce qu'ils.elles ont pu accomplir :

- en modifiant de nombreux gènes chez le porc, des scientifiques ont commencé à changer les cellules de cet animal pour qu'il puisse fournir des coeurs pouvant être greffés chez l'homme.
- en introduisant une copie fonctionnelle d'un gène chez la souris, deux équipes ont montré qu'il était possible de partiellement guérir la myopathie de Duchenne, une maladie génétique jusqu'alors incurable.
- en modifiant des virus de bactéries pour qu'ils ciblent des bactéries qui possèdent des gènes de résistance aux antibiotiques, des chercheurs ont créé les premiers antibiotiques intelligents !
- les CRISPR ont permis de créer les premières preuves de concept du "gene drive" : des moustiques qui pourraient éradiquer la transmission du paludisme.

Mais les CRISPR sont utilisés de bien d'autres manières. En biologie végétale, ils peuvent permettre de modifier de nombreux caractères à la fois dans des plantes jusqu'à alors difficiles à modifier génétiquement ou encore éditer le génome de façon précise pour qu'un caractère indésirable soit supprimé sans laisser de trace. Ils transforment aussi la vie dans les laboratoires. Aujourd'hui de très nombreux scientifiques créent des modèles animaux ou cellulaires pour étudier des processus fondamentaux ou des maladies. Enfin, au niveau médical, des pistes sont poursuivies pour travailler sur des thérapies innovantes contre le VIH, les cancers ou encore les maladies génétiques.



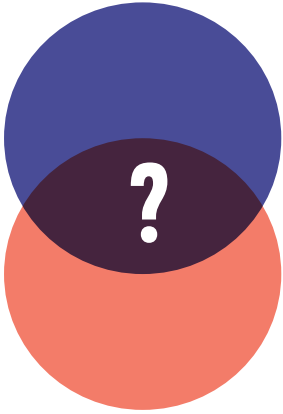
WHAOU C'EST GÉNIAL, MAIS ÇA FAIT UN PEU PEUR QUAND MÊME

Oui, il faut être honnête, c'est une vraie révolution biotechnologique. Les scientifiques ne s'attendaient pas à ça. De nombreuses questions éthiques ont toujours accompagné le développement du génie génétique, mais parmi les plus difficiles à trancher, certaines restent encore purement au stade d'hypothèse "si on pouvait faire ceci, alors le ferait-on?". Aujourd'hui la question n'est plus "cela va-t-il être faisable?" mais "quand cela sera-t-il fait?". Ainsi, on peut noter cinq questions majeures.

Question 1 : Tout le monde peut modifier le vivant?

Vous l'avez compris, la technologie des CRISPR c'est simple, mais à quel point? N'importe qui peut-il s'en emparer, si oui à quand des armes biologiques sur mesure ou des expérimentations sur des humains à l'insu des États? Rassurez-vous à priori non. Tout d'abord, il faut quand même maîtriser des technologies qui ne sont pas à la portée d'un tutoriel internet et posséder des équipements spécifiques. De plus, la synthèse d'ADN, nécessaire pour cibler certains sites, est très réglementée. Il est donc peu probable de retrouver un.e enfant de 8 ans en train d'utiliser des CRISPR dans son garage. Cependant, la technique est assez simple pour être réalisée dans la très grande majorité des laboratoires, et notamment dans des pays où les régulations ne sont pas aussi fortes qu'en France ou encore dans le privé. Il faudra donc rester vigilant.

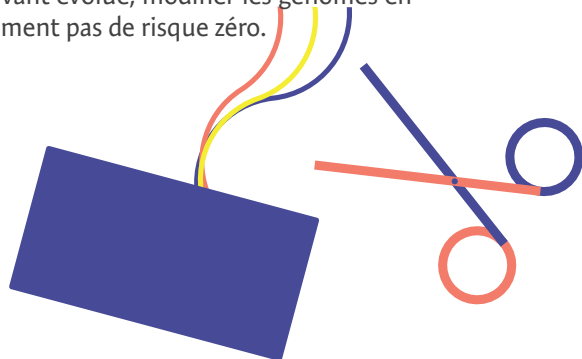
Question 2 : OGM ou pas OGM ?



Un des sujets qui agitent aujourd’hui la communauté des biotechnologies végétales est celle de comment définir un OGM. Jusqu’à aujourd’hui, c’était facile : présence d’un transgène, c’est-à-dire d’un gène en plus. Mais avec les CRISPR et d’autres techniques actuelles ; ce n’est plus aussi simple. Disons que vous voulez supprimer un gène qui par exemple confère une sensibilité à un insecte. Vous supprimez ce gène grâce à des CRISPR. Mais la plante que vous obtenez ne portera plus de CRISPR, simplement, elle n’aura plus ce gène. Or il est possible qu’un jour, une autre plante qui évolue naturellement perde ce gène de façon “naturelle” et présente le même génome que celui obtenu par l’utilisation des CRISPR. Est-ce un OGM ou pas ? Selon certain.e.s, ce serait la technique d’obtention qui compte. Dans ce cas-là, oui, ce serait un OGM. Selon d’autres, on devrait juger le produit final. Si en l’observant, il est impossible de dire si cet organisme a été génétiquement modifié, alors non, cela ne devrait pas être une OGM. Et vous, vous en pensez quoi ?

Question 3 : Les CRISPR vraiment sans danger ?

Après avoir cité toutes les applications des CRISPR en santé humaine, on peut quand même se demander si ces CRISPR sont sans danger. Tout d’abord, rassurez-vous, pour le moment toutes ces techniques sont encore au laboratoire. Mais une des grandes peurs des scientifiques est que le CRISPR coupe à d’autres endroits que celui pour lequel il a été programmé. Si on coupe à coté, on risque d’observer des conséquences imprévisibles. Or, cela arrive, les chercheur.se.s développent donc aujourd’hui de nombreuses techniques pour réduire ce problème. Et comme expliqué auparavant, le vivant évolue, modifier les génomes en utilisant les CRISPR n’a donc forcément pas de risque zéro.





Nom de Zeus!


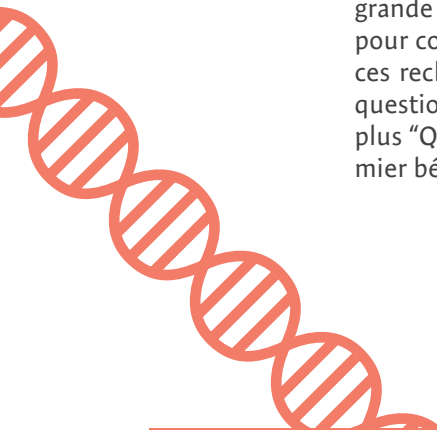
Question 4 : Est-ce possible de revenir en arrière ?

Une des questions les plus discutées en ce moment est celle de la non-reversibilité de l'utilisation de CRISPR. Une fois modifié, le génome le reste. On impacte de façon permanente un être vivant et si les cellules reproductrices portent la modification, toute la descendance de l'individu portera la modification. Cette modification évoluera alors avec le temps dans la population. Cette question est au coeur du concept du *gene drive*, qui consiste à ce que l'introduction d'un individu portant un certain type de modification génétique dans une population mène à terme à ce que toute la population possède cette modification. Cette technique incroyablement puissante pourrait permettre d'éradiquer le paludisme. Mais cela sonne aussi comme le début d'un film catastrophe, où dans la volonté de résoudre un problème, des conséquences inattendues apparaissent et il est impossible de faire machine arrière. C'est pour cela que les scientifiques qui travaillent sur ce sujet développent en même temps des méthodes pour renverser le processus et ne vont pas tester tout de suite la technique dans l'environnement.




Question 5: Les bébés CRISPR

C'est LA question qui polarise le débat. En avril 2015, des scientifiques chinois ont publié une étude où ils éditaient le génome d'embryons humains. Ces embryons ne devaient pas être implantés mais l'étude a quand même soulevé de très nombreuses interrogations. Les scientifiques dans le domaine des CRISPR ont alors publié un moratoire pour stopper toute recherche dans ce domaine en attendant d'avoir un débat sur cette question. Doit-on modifier génétiquement les embryons humains? Si demain, on vous annonçait que votre futur bébé porte 3 gènes de prédisposition pour un cancer, ou qu'il va développer une maladie génétique, souhaiteriez-vous que ses gènes soit supprimés ou remplacés? Si oui, où met on la limite à l'ingénierie des embryons? C'est toute la question du transhumanisme qui entre en jeu. À la lumière de ces questions fondamentales, une grande conférence a été organisée aux États-Unis en décembre 2015 pour commencer à travailler à des réponses. Aujourd'hui, en Europe, ces recherches sont interdites, mais pas partout dans le monde. La question que bon nombre d'observateur.rice.s se posent n'est donc plus "Quand naîtra le premier bébé CRISPR?" mais "Où naîtra le premier bébé CRISPR?"



Après ce petit tour d'horizon des CRISPR et du génie génétique, nous espérons que vous comprenez mieux de quoi il s'agit et des enjeux qui y sont liés et que surtout vous pourrez vous faire votre propre avis!



FAQ:

VOICI DES CHOSES QUE L'ON ENTEND SOUVENT, WAX RÉPOND À UN PETIT VRAI/FAUX!

Enfin, que ce soit dans les médias ou lors de débats au sujet des OGM, il y a souvent des arguments qui reviennent sans que l'on sache s'ils sont forcément fondés. Essayons d'y voir plus clair avec un petit jeu de VRAI/FAUX.



Il est possible de se passer complètement des OGM.
VRAI

La preuve : nous l'avons bien fait 10 000 ans durant en se contentant de la sélection végétale opérée par les agriculteur.rice.s! Mais ce ne serait pas sans conséquences économiques... Entre autres, le prix de l'alimentation du bétail augmenterait de façon exponentielle du fait d'un effondrement de la concurrence, les OGM étaient beaucoup utilisés pour la nourriture animale. Et puis, ce serait vivre un véritable retour en arrière en matière de médecine, les microorganismes génétiquement modifiés ayant incontestablement permis de grandes avancées dans ce domaine.

Rendez-nous
le nucléaire

“Les OGM vont déclencher la plus grande catastrophe écologique.”

À NUANCER

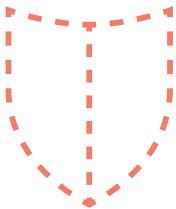


L'idée peut effrayer mais il est impossible de prévoir les conséquences de l'insertion d'un transgène dans l'environnement. À partir de ce moment-là, il est envisageable de penser au pire tel qu'un bouleversement de l'équilibre au sein de l'écosystème. C'est un scénario catastrophe peu probable mais qu'il ne faut pas écarter pour autant.

“Les OGM vont résoudre le problème de la faim dans le monde.”

NI VRAI NI FAUX

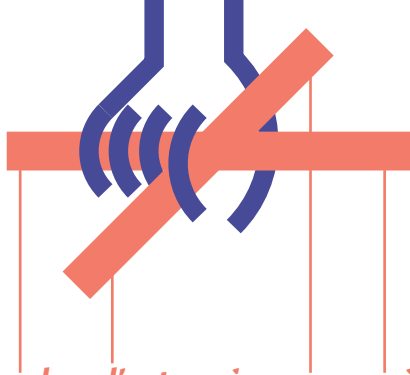
Dans un sens, oui les OGM peuvent contribuer à atteindre cet objectif en permettant la production de nourriture en plus grande quantité et à haute valeur nutritionnelle. D'un autre côté non, car les problèmes relatifs à la faim et à la malnutrition sont avant tout de l'ordre politique et économique. La question est souvent plus liée à l'inégale répartition des ressources qu'à des disponibilités alimentaires qui font défaut.



“Les OGM peuvent transmettre des gènes de résistance aux antibiotiques.”

VRAI mais peu probable

Petit rappel pour ceux qui auraient oublié: les gènes de résistance aux antibiotiques sont utilisés pour sélectionner les organismes modifiés porteurs du transgène. Là encore il n'est pas possible de contrôler le devenir de ce gène! Les bactéries par exemple ont l'habitude de s'échanger du matériel génétique entre elles et donc pourquoi pas ces fameux gènes de résistance à un antibiotique. Mais rassurez-vous, ces gènes ne sont plus autorisés pour les OGM produits après 2005.



“Un petit nombre d’entreprises semencières tiennent l’essentiel du marché des OGM.”

VRAI

Mais ce n’est pas spécifique aux OGM car c’est de plus en plus le cas de tous les domaines industriels (aéronautique, chimie, pharmacie, énergie...).



“La transgénèse peut créer des variations inattendues dans les génomes.”

VRAI

On pensait pouvoir tout contrôler, et bien non ! Le transgène peut ainsi s’insérer au mauvais endroit, se retrouver sous une version inattendue... Bref rien ne garantit d’avoir exactement ce que l’on veut d’où des réglementations très strictes !

“Les OGM ça s’attrape.”

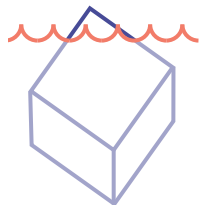
FAUX

Si tel était le cas, nous n’existerions pas tels que nous sommes ! En mangeant une assiette de salade et de poulet par exemple, ce sont des millions de cellules et donc de gènes que nous ingérons. Mais tout cela est digéré par notre organisme et ne va pas s’insérer tel quel dans notre génome. Ouf car autrement certains gènes pourraient être nuisibles s’ils pénétraient dans nos cellules.



“Nous ne consommons pas d’OGM.”

FAUX

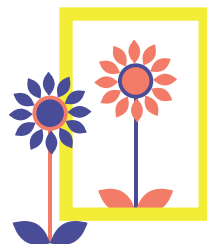


Certes il existe en Europe seulement quelques produits contenant directement des OGM (sauce barbecue, huiles, marshmallows...). Mais pour autant nous en consommons des millions de tonnes indirectement par le biais de produits animaux tels que viandes, œufs et lait. Car devinez comment sont nourris les animaux? Avec du soja et du maïs la plupart du temps... OGM.

“Les OGM sont le contraire des produits biologiques.”

FAUX

Qui dit agriculture biologique dit tirer parti des bienfaits de la nature. Qui dit OGM dit technique d’obtention de nouvelles variétés. Tant que l’un ne menace pas l’autre, il n’y a pas de raison que les deux ne puissent pas coexister. Disons plutôt que ce sont des pratiques complémentaires!



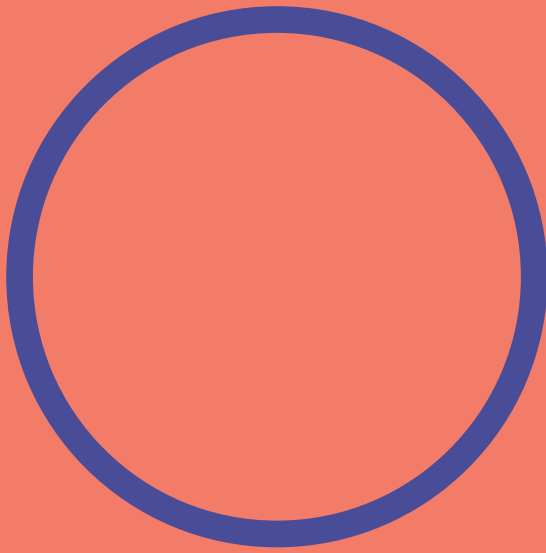
“Les OGM sont stériles et ne peuvent être ressemés.”

NI VRAI NI FAUX

De façon générale, il n’y a pas de raison pour qu’un hybride issu d’un croisement ne puisse pas se reproduire... à moins d’avoir franchi ce qu’on appelle une barrière biologique. C’est le cas si l’on croise deux espèces trop éloignées: l’hybride aura alors une combinaison de gènes très différente des espèces parentes, ce qui ne permettra pas de conserver les caractères propres à chacune des deux espèces. On observe des mécanismes naturels empêchant la transmission du patrimoine génétique de cet organisme, le rendant ainsi stérile. C’est le sort de notre ami le mulet! Après, certains OGM sur le marché sont volontairement rendus stériles de façon à maximiser les rendements et à limiter leur dissémination dans la nature. Mais il faut savoir que cela n’est pas limité aux cultures OGM.

**Moi qui
rêvais
d’avoir des
enfants...**





ACTIVITÉS




LES CARTES À GÈNES



10 000

C'est le nombre d'années depuis lequel l'humain manipule le vivant !

- **Néolithique (il y a 13 000 ans) :**
Apparition de l'agriculture et de la sélection des variétés végétales (en particulier du riz).
- **XIX^{ème} siècle :**
Début de la génétique. George Mendel découvre les lois de l'hérédité, qui définissent la manière dont les gènes se transmettent de génération en génération.
- **1978 :**
Le 1^{er} OGM est une bactérie qui produit l'insuline humaine.

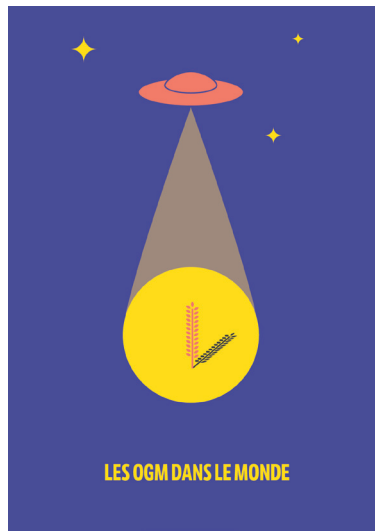


- **des OGM pour l'agriculture et l'alimentation :**
ex : maïs Bt résistant aux insectes, riz doré enrichi en vitamine A.
- **des OGM dans le médical :**
ex : bactéries productrices d'insuline, tomates pour traiter Alzheimer, moustiques modifiés pour lutter contre la malaria.
- **des OGM utilisés à des fins environnementales :**
ex : bactéries pour dépolluer les eaux en métaux lourds ou lors de marées noires.

chez les autres

OÙ RETROUVE-T-ON LES OGM ?





90

C'est le nombre de jours que dure le test de toxicité effectué sur les rongeurs désormais obligatoire pour les OGM alimentaires

- Les cultures OGM représentent actuellement 10% des surfaces agricoles de la planète et sont essentiellement concentrées sur le continent américain.
- Les OGM sont extrêmement régulés partout dans le monde et surtout pour l'alimentation.
- En Europe, depuis 2004, toute présence d'OGM supérieure à 0,9% dans l'un des ingrédients doit être précisée sur l'étiquetage.



12%

C'est l'augmentation entre 2013 et 2014 du nombre de brevets en biotechnologies ; il s'agit du secteur technique le plus en augmentation !

- Les nouvelles techniques de génie génétique permettent de transférer plus précisément et plus rapidement du matériel génétique entre espèces similaires.
- Elles ne sont pas réglementées à l'heure actuelle. Les modifications apportées par ces techniques ne sont plus forcément détectables et semblables à ce qui pourrait se produire dans la nature. OGM ou pas OGM alors ?
- La technique CRISPR, véritables ciseaux moléculaires téliguidés, est très prometteuse car très spécifique. Mais veut-on voir apparaître pour autant des bébés CRISPR ?

Téléchargement

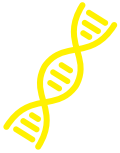
http://wax-science.fr/wp-content/uploads/GenieGenetique_CartesPostales.pdf

*J'ai reçu une éducation bio,
mais on me rappelle sans
cesse que mon grand-père
était un OGM...*



**LES OGM C'EST VIVANT,
ÇA CHANGE QUOI ?**

JEU #1: DEVINETTES GÉNÉTIQUEMENT MODIFIÉES



Objectif:

Vulgariser et donner un sens aux termes de génie génétique les plus courants.

But du jeu:

Mettre des mots derrière des notions de génie génétique de base.

Règle du jeu:

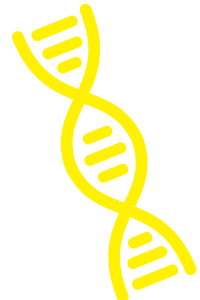
- Jeu à 2 personnes minimum
- Un.e joueur.se doit faire deviner un mot à l'autre sans citer le mot en question (possible de s'aider avec le lexique à côté).

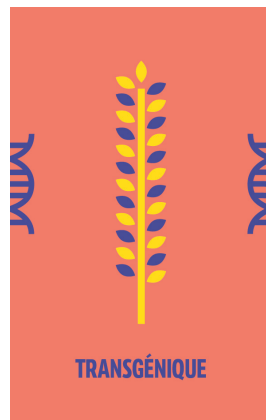
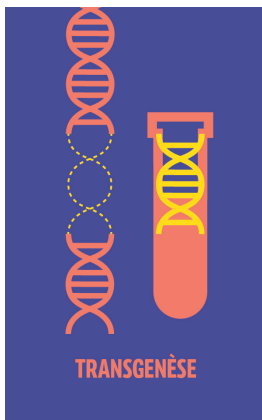
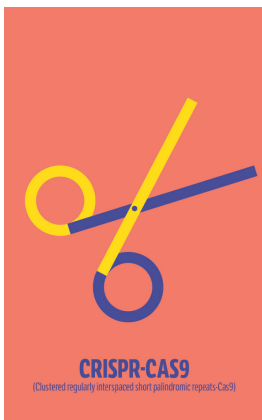
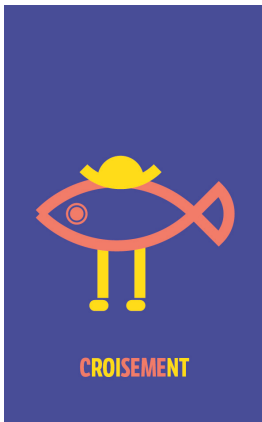
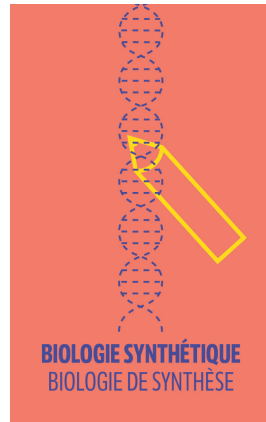
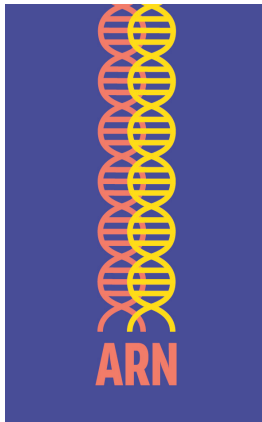
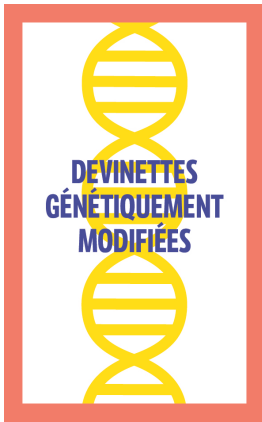
Matériel:

Cartes avec un mot et des dessins associés pour chaque mot du lexique.

Téléchargement

http://wax-science.fr/wp-content/uploads/GenieGenetique_TimesUp.pdf





JEU #2: LA GÉNÉTIQUE C'EST UN PEU COMME LA CUISINE !

Objectif:

Évoquer la diversité des techniques de génie génétique ainsi que leur temps de mise en oeuvre, leur précision et les différentes réglementations auxquelles elles sont soumises dans le monde.

But du jeu:

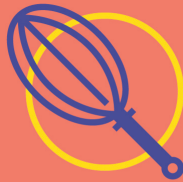
Réaliser le mieux possible une recette d'apparence facile (et pouvant être réalisée avec différents instruments de cuisine et ingrédients).

Règle du jeu:

- Jeu à plusieurs joueur.se.s en compétition pour réaliser le mieux possible des blancs en neige (temps limite fixé) :
- Chaque joueur tire aléatoirement 3 cartes associées respectivement à :
 - une technique de génie génétique (instrument de cuisine)
 - des organismes à modifier (ingrédients de base)
 - un pays (culture culinaire)



**TECHNIQUE DE CROISEMENT
À L'ANCIENNE :
2 FOURCHETTES**



**TECHNIQUE DE TRANSGÈNESE
AVEC ENZYMES
DE RESTRICTION : FOUET**



**TECHNIQUE CRISPR-CAS :
BATEUR**

Par exemple dans le cas des blancs en neige :

Temps limite : 15 min

Évaluation de la qualité des blancs en neige : quand on retourne le saladier ça ne tombe pas, la texture est suffisamment ferme (faut-il des critères d'évaluation quantitatifs ?)

Matériel : saladier, oeufs, sucre, fourchettes, fouet, batteur, cartes de jeu...

• cartes "organisme à modifier" :

- 2 oeufs
- 2 oeufs + 1 pincée de sucre
- 2 oeufs + 1 pincée de sel
- 2 oeufs + 1 cuillère à café de jus de citron

• cartes "technique de génie génétique" :

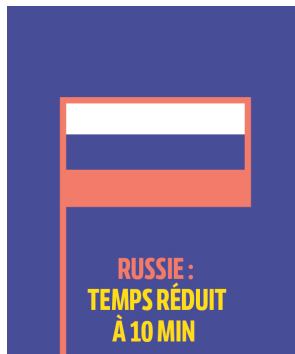
- technique de croisement à l'ancienne : 2 fourchettes
- technique de transgénèse avec enzymes de restriction : fouet
- technique CRISPR-Cas : batteur

• carte "pays" :

- Bénin/ Zambie/Serbie (pays interdisant toute culture et importation d'aliments génétiquement modifiés) : seules les fourchettes peuvent être utilisées
- Europe/Russie/Australie (pays imposant un étiquetage des OGM) : temps réduit : 10 min au lieu de 15 pour battre les blancs en neige
- USA/Canada/Mexique/Argentine/Afrique : aucune restriction !

Téléchargement

http://wax-science.fr/wp-content/uploads/GenieGenetique_Cuisine.pdf



JEU #3: PAIRE DE CARTOSOMES

Objectif:

Comprendre les différents organismes et applications qui se cachent derrière le terme OGM

But du jeu:

Associer un organisme (végétal, animal ou bactérien) à une ou plusieurs applications et techniques de manipulation génétique

Matériel:

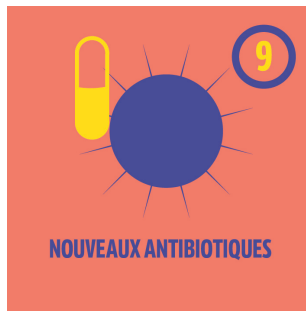
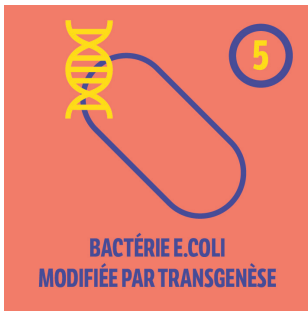
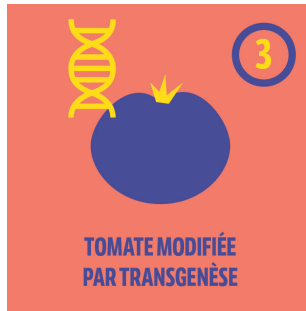
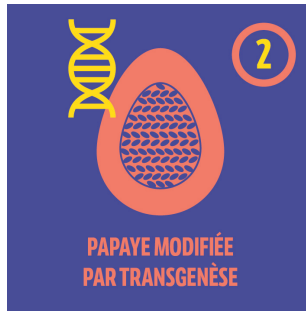
10 paires de cartes

Règles du jeu:

- Jeu à 2 personnes
- Pour débiter la partie, déposer séparément toutes les cartes mélangées face contre table de façon à ce que les images ne soient pas visibles. Le premier joueur découvre 2 cartes, si elles forment une paire, il les remporte sinon il les cache à nouveau. C'est ensuite au joueur suivant de retourner 2 cartes et ainsi de suite... Le but étant de tenter de mémoriser l'emplacement des différentes cartes afin de retourner successivement les 2 cartes formant la paire pour les remporter. Quand le joueur remporte une paire, cela lui donne le droit de rejouer. La partie est terminée quand toutes les paires ont été trouvées. Le joueur qui a remporté le plus de cartes a gagné la partie. Ici les paires de cartes sont de la même couleur et correspondent aux organismes modifiés (selon une certaine technique de manipulation génétique qui apparaît via un symbole en haut à droite de la carte) et à une de leur application.

Téléchargement

http://wax-science.fr/wp-content/uploads/GenieGenetique_Memory.pdf



JEU #4 : LES RISQUES DU GÉNIE GÉNÉTIQUE

Objectif:

Comprendre les différents risques liés au génie génétique

But du jeu:

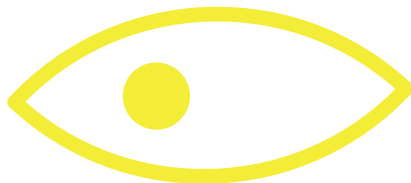
Puzzles (les risques ne sont pas forcément ceux que l'on croit !)

Règle du jeu:

4 puzzles différents et leur explication.

Puzzle 1 : Les risques sanitaires

Explication : Aucune étude scientifique sérieuse n'a aujourd'hui prouvé la toxicité des OGM alimentaires en santé humaine, et ce quelle que soit la méthodologie utilisée. Attention cela ne veut pas dire qu'ils ne le sont pas en réalité : car les tests actuels ne permettent en effet de détecter des composés toxiques qu'à des doses bien supérieures à celles des teneurs en OGM dans notre alimentation. Des méthodes de détection plus pointues nous permettront peut-être à l'avenir de trancher sur le sujet. Cependant, rien ne sert de paniquer, aucun effet n'a été prouvé jusqu'à aujourd'hui. La nuance reste dans le « jusqu'à aujourd'hui » car en sciences impossible d'être dans la certitude.



Puzzle 2 : Les risques environnementaux

Explication : Les risques environnementaux se situent à différents niveaux : les gènes, les espèces et les écosystèmes.

• Au niveau des gènes :

Attention, introduire un OGM dans un écosystème ne signifie pas une réduction de la biodiversité au niveau des génomes*! Chaque espèce plusieurs milliers voire dizaines de milliers de gènes, chacun existant sous différentes versions (appelées allèles) : un gène de plus n'appauvrit donc pas. En revanche, créer un OGM coûte cher. Une fois développé, ce sera donc toujours la même plante (ou un nombre réduit de plantes) qui sera semée. Cela peut donc entraîner une réduction de la biodiversité. Cependant, ce genre de raisonnement peut aussi s'appliquer à des variétés non-OGM.

• Au niveau des espèces :

Si la question se pose, c'est qu'en introduisant un OGM dans l'environnement, des phénomènes de dissémination du transgène sont possibles. Un OGM peut ainsi transmettre le gène qui lui a été implanté à un autre organisme de l'environnement par transfert horizontal. Chez les humains les gènes sont transférés verticalement, c'est-à-dire qu'on les hérite de nos parents. Mais chez les microbes et les plantes, les gènes peuvent aussi être transférés horizontalement, c'est un peu comme si entre humains une fois nés on pouvait récupérer les gènes de nos frères et soeurs, de nos ami.e.s. Dans la nature, les échanges de gènes sont monnaie courante, même entre espèces différentes! Un OGM peut ainsi transmettre le gène qui lui a été implanté à un autre organisme de l'environnement. Et voilà qu'on se retrouve avec une nouvelle génération de plantes, qui présentent des caractères qu'on ne voulait pas, comme la résistance à un herbicide par exemple.

• Au niveau des écosystèmes :

Dans le cas des plantes résistantes à un herbicide ou à un insecticide, deux conséquences sont prévisibles :

- Des organismes résistants apparaissent : imaginons un champ cultivé avec des plantes résistantes à un herbicide. Mettons que des mauvaises herbes deviennent insensibles à ce même herbicide : l'agriculteur.rice n'aura plus d'intérêt à utiliser ce produit car il sera devenu inefficace!
- La cible de l'OGM n'est pas la bonne. Prenons le cas d'une plante résistante à un insecticide. Mettons que l'insecticide produit par la plante entre en contact avec un insecte non ciblé : et bien ça réduit sacrément la biodiversité de l'écosystème!



Puzzle 3 : Les questions éthiques des CRISPR

• OGM ou pas OGM?

Un des sujets qui agitent aujourd'hui la communauté des biotechnologies végétales est celle de comment définir un OGM. Jusqu'à aujourd'hui, c'était facile : présence d'un transgène, c'est-à-dire d'un gène en plus. Mais avec les CRISPR et d'autres techniques actuelles ; ce n'est plus aussi simple. Disons que vous voulez supprimer un gène qui par exemple confère une sensibilité à un insecte. Vous supprimez ce gène grâce à des CRISPR. Mais la plante que vous obtenez ne portera plus de CRISPR, simplement, elle n'aura plus ce gène. Or, il est possible qu'un jour, une plante qui évolue perde ce gène de façon "naturelle" et présente le même génome que celui obtenu par l'utilisation des CRISPR. Est-ce un OGM ou pas ? Selon certain.e.s, ce serait la technique d'obtention qui compte. Dans ce cas-là, oui, ce serait un OGM. Selon d'autres, on devrait juger le produit final. Si en l'observant, il est impossible de dire si cet organisme a été génétiquement modifié, alors non, cela ne devrait pas être une OGM. Et vous, vous en pensez quoi ?



• Les CRISPR vraiment sans danger?

Après avoir cité toutes les applications des CRISPR en santé humaine, on peut quand même se demander si ces CRISPR sont sans danger. Tout d'abord, rassurez-vous, pour le moment toutes ces techniques sont encore au laboratoire. Mais une des grandes peurs des scientifiques est que le CRISPR coupe à d'autres endroits que celui pour lequel il a été programmé. Si on coupe à côté, on risque d'observer des conséquences imprévisibles. Or, cela arrive, les chercheur.se.s développent donc aujourd'hui de nombreuses techniques pour réduire ce problème. Et comme expliqué auparavant, le vivant évolue. Modifier les génomes en utilisant les CRISPR n'a donc forcément pas de risque zéro.

• Est ce possible de revenir en arrière?

Une des questions les plus discutées en ce moment est celle de la non-reversibilité de l'utilisation de CRISPR. Une fois modifié, le génome le reste. On impacte de façon permanente un être vivant et si les cellules reproductrices portent la modification, toute la descendance de l'individu portera la modification. Elle évoluera alors avec le temps dans la population. Cette question est au coeur du concept du *gene drive*, qui consiste à ce que l'introduction d'un individu por-

tant un certain type de modification génétique, dans une population mène à terme à ce que toute la population possède cette modification. Cette technique incroyablement puissante pourrait permettre d'éradiquer le paludisme. Mais cela sonne aussi comme le début d'un film catastrophe, où dans la volonté de résoudre un problème, des conséquences inattendues apparaissent et il est impossible de faire machine arrière. C'est pour cela que les scientifiques qui travaillent sur ce sujet développent en même temps des méthodes pour renverser le processus et ne vont pas tester tout de suite la technique dans l'environnement.

Les bébés CRISPR

C'est LA question qui polarise le débat. En avril 2015, des scientifiques chinois ont publié une étude où ils éditaient le génome d'embryons humains. Ces embryons ne devaient pas être implantés mais l'étude a quand même soulevé de très nombreuses interrogations. Les scientifiques dans le domaine des CRISPR ont alors publié un moratoire pour stopper toute recherche dans ce domaine en attendant d'avoir un débat sur cette question. Doit-on modifier génétiquement les embryons humains? Si demain, on vous annonçait que votre futur bébé porte 3 gènes de prédisposition pour un cancer, ou qu'il va développer une maladie génétique, souhaiteriez-vous que ses gènes soit supprimés ou remplacés? Si oui, où met on la limite à l'ingénierie des embryons? C'est toute la question du transhumanisme qui entre en jeu. À la lumière de ces questions fondamentales, une grande conférence a été organisée aux États-Unis en décembre 2015 pour commencer à travailler à des réponses. Aujourd'hui, en Europe, ces recherches sont interdites, mais pas partout dans le monde. La question que bon nombre d'observateurs se posent n'est donc plus «Quand naîtra le premier bébé CRISPR?» mais «Où naîtra le premier bébé CRISPR?»

Puzzle 4: Et l'évolution dans tout ça?

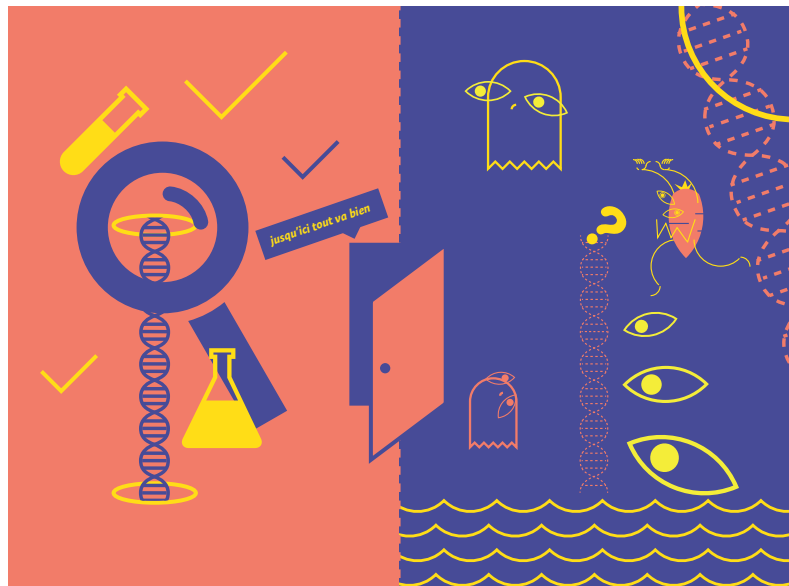
De façon générale, si la question du risque s'impose c'est bien parce que nous parlons du vivant. Utiliser des technologies qui touchent au vivant implique de faire face à de multiples inconnues car celui-ci est instable et imprévisible: une de ses caractéristiques premières est qu'il évolue. Hors, il est difficile, voire impossible, d'un point de vue scientifique de maîtriser l'évolution du vivant.

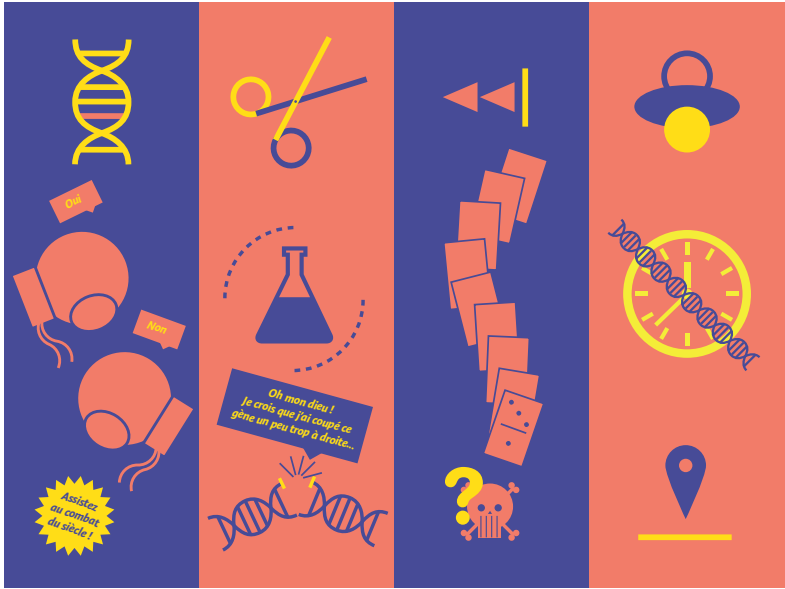
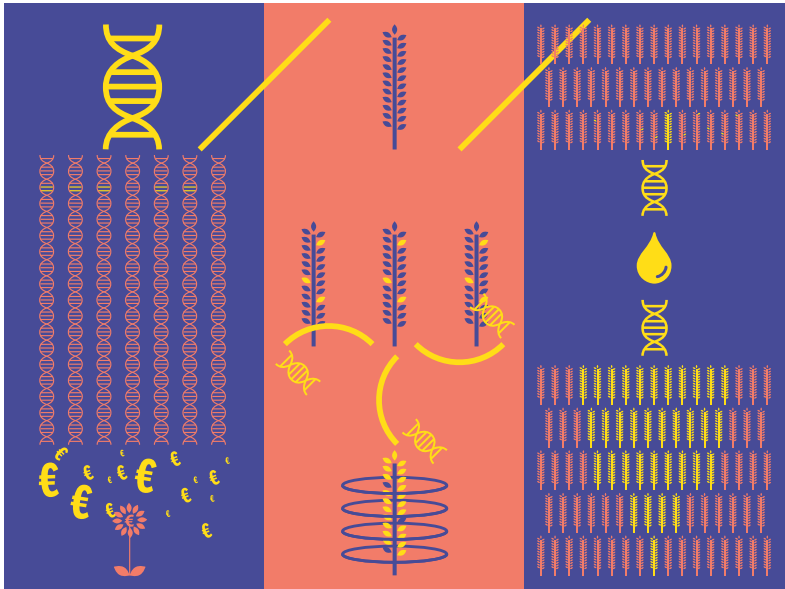
- Produire des OGM, c'est réaliser des modifications génétiques qui peuvent se produire naturellement, pour certaines, mais à des fréquences bien plus élevées que dans la nature.
- Il est impossible de prédire les conséquences de l'insertion d'un gène dans un organisme et un écosystème donnés au cours du temps: modifications inattendues de certaines fonctions de l'organisme, transmission du gène à d'autres espèces... Autant de possibilités que la science ne peut pas prévoir à l'avance.
- L'évolution et la reproduction sont deux caractéristiques majeures du vivant. Ces deux paramètres ont un impact considérable sur les biotechnologies et ce n'est pas pour rien que l'humain cherche à les maîtriser: contrôle de l'évolution des bactéries modifiées dans les fermenteurs, OGM rendus stériles dans certains cas pour limiter leur dispersion...

Téléchargement

L'impression de puzzle pouvant être coûteuse, l'activité peut aussi fonctionner comme un poster accompagnant l'explication.

http://wax-science.fr/wp-content/uploads/GenieGenetique_Puzzles_Posters.pdf





JEU #5: LES MÉCANISMES MOLÉCULAIRES DES TECHNOLOGIES DE GÉNIE GÉNÉTIQUE



Objectif:

Comprendre les mécanismes moléculaires des nouvelles technologies d'édition du génome:

- Coupure: Les enzymes de restriction / les TALENS / Cas9 coupent plus ou moins précisément
- Réparation: soit par NHEJ soit réparation par recombinaison homologue

But du jeu:

Modifier des phrases en coupant des feuilles de papiers (métaphore de modifier le code génétique, une paire de base = une lettre, un mot = un gène)

Règle du jeu:

J'ai un texte sur une feuille de papier.

«J'ADORE LA VIE, J'ADORE LE GÉNOME. J'ADORE LE VÉLO.»

L'objectif est de changer le texte en ajoutant de nouveaux mots ou en supprimant des mots déjà existants (par exemple, ajouter « et le soleil » après « le vélo », ou bien enlever les « j'adore »).

À disposition

• Pour couper

• Les enzymes de restrictions :

Pour les modéliser des ciseaux avec du scotch de couleurs sur les lames :

- Elles coupent les E. (si je coupe, je coupe tous les E)
- Il s'agit d'expliquer ce qu'est une enzyme de restriction, on ne choisit pas où on coupe

• Les TALENS / ZFN / Méganucléases

Pour les modéliser, de la pâte à modeler et des ciseaux :

- Pour que les ciseaux reconnaissent ce que l'on veut, on doit faire en pâte à modeler la séquence de 5 lettres correspondant à la zone que l'on veut couper avant de les coller sur le ciseau
- il s'agit d'expliquer qu'avec ces techniques il est possible de couper où on veut mais que cela prend un peu de temps de fabriquer l'outil

• CRISPR-Cas9

Pour les modéliser, des ciseaux et des bouts de papiers :

- Pour que cela coupe où l'on souhaite, il suffit d'écrire sur un bout de papier une séquence de 5 lettres correspondant à la zone que l'on veut couper et coller le bout de papier sur la lame du ciseau
- Il s'agit d'expliquer la manière d'être spécifique et la possibilité de changer rapidement la cible que l'on veut couper

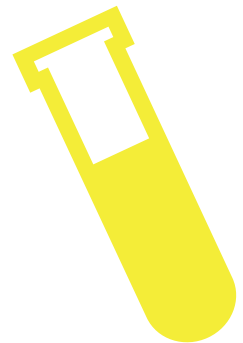
• Pour coller

• NHEJ : Des bouts de scotchs de couleurs (de différentes tailles pouvant cacher 1,2, 3 ou 4 lettres)

• Recombinaison homologue des bouts de papier où l'on peut écrire du texte + du scotch transparent

Matériel :

- 3 paires de ciseaux
- De la pâte à modeler
- Des feuilles de papiers
- Des stylos
- Du scotch transparent et de couleurs



Défis

Défi 1:

J'ADORE_WAX_SCIENCE_J'ADORE_LES_EXPERIENCES_J'ADORE_LES_FLEURS

Objectif 1 : Ajouter "le soleil et" avant les fleurs

Objectif 2 : Supprimer le 3ème j'adore

Objectif 3 : Supprimer j'adore les expériences.

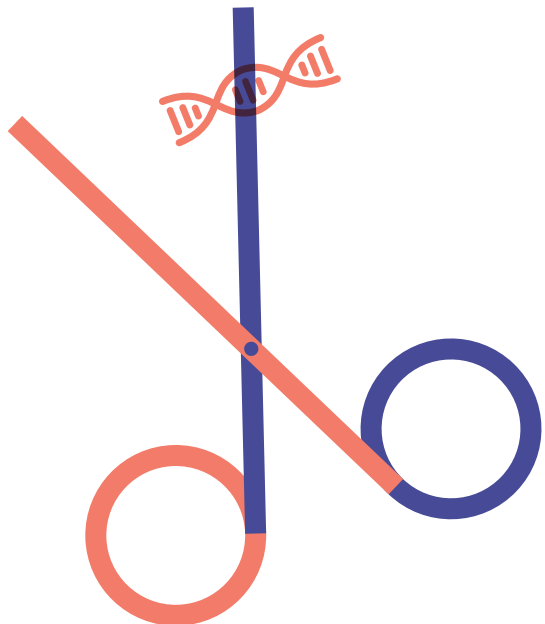
Exemples de solutions :

Objectif 1 : Avec CRISPR ou TALEN prendre les lettres "LES_F"

Puis "réparer" grâce à une recombinaison homologue avec un bout de papier où l'on écrit "LE SOLEIL ET"

Objectif 2 : Avec CRISPR ou TALEN prendre les lettres "LES_F" puis utiliser une réparation NHEJ avec un scotch de 4 lettres pour couvrir le reste (ou le faire en 2 coups)

Objectif 3 : Faire plusieurs étapes de NHEJ, ou faire d'abord une recombinaison homologue puis une réparation par NHEJ.

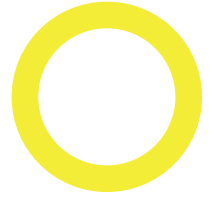




**POUR ALLER
PLUS LOIN :**

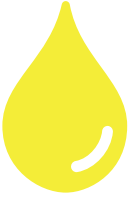


LEXIQUE



ADN (acide désoxyribonucléique) :

Molécule support de l'information génétique héréditaire.



ARN (acide ribonucléique) :

Molécule de structure chimique proche de l'ADN qui possède de très nombreuses fonctions dans la cellule :

- les ARN messagers (ARNm) servent de matrice pour la synthèse des protéines ;
- les ARN ribosomiques (ARNr) entrent dans la composition des ribosomes, qui permettent la synthèse des protéines à partir des ARNm ;
- les ARN de transfert (ARNt) portent les acides aminés et permettent leur incorporation dans les protéines ;
- les ARN interférents (ARNsi, ARNmi...) régulent l'expression des gènes en ciblant la dégradation des ARN messagers spécifiques ou en inhibant la traduction des protéines.



Biologie synthétique/de synthèse :

Ingénierie biologique consistant à designer et à concevoir des systèmes biologiques artificiels ayant des fonctions nouvelles.

Biotechnologies :

Toute technique utilisant des êtres vivants (micro-organismes, animaux, végétaux), généralement après modification de leurs caractéristiques génétiques, pour la fabrication industrielle de composés biologiques ou chimiques (médicaments, matières premières industrielles) ou pour l'amélioration de la production agricole (plantes et animaux transgéniques ou OGM).



Certificat d'Obtention Végétale (COV) :

Certificat attribué, en Europe, pour une variété végétale qui présente des caractéristiques nouvelles et stables .

Cisgenèse:

Technique équivalente à la transgenèse mais cette fois-ci le gène introduit est de la même espèce (cela dit des séquences d'ADN d'espèces ou de règnes différents sont souvent toujours présentes).

CRISPR-Cas9 (Clustered regularly interspaced short palindromic repeats-Cas9):

Découvert en 2012, ce système permet de couper l'ADN de cellules vivantes en une position précise. La séquence ciblée peut alors être modifiée avec une simplicité et une efficacité sans précédent.

À l'origine, le système CRISPR-Cas9 a été identifié comme un système de défense de nombreuses bactéries et archées contre des micro-organismes. Lorsqu'un bactériophage infecte la bactérie, il injecte son génome. La bactérie est capable de digérer le génome de l'envahisseur en fragments qui subissent différentes modifications. Celles-ci aboutissent à l'insertion de séquences dans le génome de la bactérie, à un endroit précis, situé entre de nombreux motifs de séquences répétées, appelées CRISPR. Ce système permet à la bactérie de reconnaître et couper l'ADN du micro-organisme étranger lors d'une nouvelle infection. Il s'agit là pour ainsi dire d'un mécanisme de défense "immunitaire" via la dégradation de l'ADN du bactériophage.



Croisement:

Union sexuelle naturelle ou expérimentale entre deux individus animaux ou végétaux présentant des caractères différents.

Enzyme:

Protéine qui catalyse/accélère une réaction chimique. La partie importante de l'enzyme est constituée du site actif. C'est dans ce site que se fixe le substrat qui pourra alors être soumis à l'action de l'enzyme afin de le transformer en produit.

Enzyme de restriction:

Sorte de ciseaux moléculaires servant à couper l'ADN en des sites bien précis. Produites par les bactéries, les enzymes de restriction sont un moyen de se défendre contre les infections par des virus. En effet, elles coupent en petits morceaux l'ADN de ces intrus, ce qui restreint leur infectiosité (d'où le nom de ces enzymes). Les bactéries sont elles-mêmes protégées par ces enzymes car elles méthylent (modifient chimiquement) leur propre génome, ce qui empêche les enzymes de reconnaître l'ADN bactérien comme une cible.

Gène:

Segment de chromosome renfermant l'information nécessaire et suffisante pour coder une protéine (définition en devenir partiellement vraie).

Génie génétique:

Ensemble des procédés utilisés pour identifier, isoler, modifier et transférer des gènes d'un organisme à un autre.

Gene drive:

Technique permettant d'amplifier des gènes modifiés au sein d'une population en reproduction, sans autre intervention une fois le caractère introduit. Il s'agit de modifier génétiquement un organisme pour que le caractère nouveau qu'il porte se transmette obligatoirement à ses descendants. Ainsi, après plusieurs générations, les gènes modifiés prolifèrent d'eux-mêmes au sein de la population jusqu'à ce que la population entière porte le caractère désigné.

Génome:

Ensemble du matériel génétique d'un organisme. Il contient à la fois les séquences codantes, c'est-à-dire celles qui codent pour des protéines, et les séquences non codantes. Chez la majorité des organismes, le génome correspond à l'ADN présent dans les cellules. Cependant, chez certains virus appelés rétrovirus (par exemple le VIH), le matériel génétique est de l'ARN.

Hybridation:

Croisement entre deux variétés d'une même espèce ou entre deux espèces différentes.

Lignée hybride:

Ensemble des descendants d'un croisement entre différentes variétés d'une même plante (croisement intraspécifique) ou entre différentes espèces (croisement interspécifique).

Mutagenèse dirigée:

Technique de génie génétique consistant à modifier un fragment d'ADN en introduisant des mutations (changement de bases dans l'ADN) dans celui-ci à l'aide de rayonnements par exemple.



Organisme Génétiquement Modifié :

Il s'agit avant tout d'un terme juridique établi en 1990 par une directive européenne mais qui renvoie à la technique scientifique de la transgénèse utilisée pour l'obtention d'OGM. Dans le cas de bactéries ou de levures, on parle d'OGM microbiologiques ou MGM (microorganismes génétiquement modifiés).

Transgène :

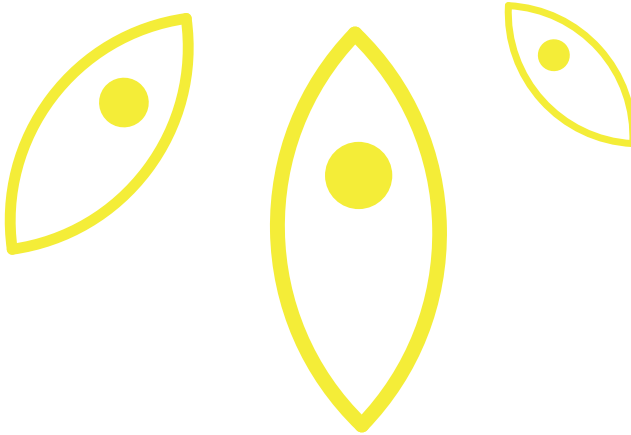
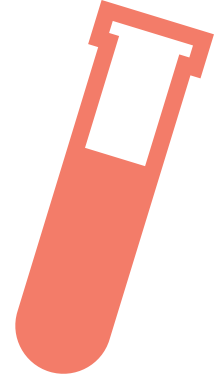
Gène ajouté par transgénèse

Transgénèse :

Technique permettant d'introduire un transgène dans le génome d'un organisme, en vue d'obtenir un organisme génétiquement modifié.

Transgénique :

Se dit d'un organisme modifié par transgénèse



BIBLIOGRAPHIE

Sites internet :

Retour aux origines...

OGM.org, Historique [en ligne]. Disponible sur:

<http://www.ogm.org/actualites/224-la-creation-dune-plantetransgenique.html>

Les techniques de génie génétique :

OGM.org, *La création d'une plante transgénique* [en ligne]. Disponible sur:

<http://www.ogm.org/actualites/224-la-creation-dune-plantetransgenique.html>

Inf'OGM, *Quelles sont les différentes biotechnologies?* [en ligne]. Disponible sur:

<https://www.infogm.org/-les-nouveaux-ogm->

RESOGM, *Faisons le point sur la mutagénèse.* [en ligne]. Disponible sur:

<http://www.resogm.org/spip.php?article166>

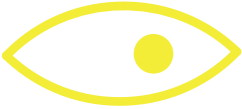
CRISPR-Cas9 :

HUFFINGTON POST, *CRISPR-Cas9, une révolution génétique qui promet beaucoup (et pose de nombreuses questions).* Disponible sur:

http://www.huffingtonpost.fr/2016/01/24/crispr-cas9-revolution-genetique-licornesembryon_n_9052064.html

SCIENCES & AVENIR, *Génétique: «CRISPR pose des problèmes éthiques qu'il faut prendre en compte»* [en ligne]. Disponible sur:

https://www.sciencesetavenir.fr/fondamental/biologie-cellulaire/genetique-crispr-pose-desproblemes-ethiques-qu-il-faut-prendre-en-compte_30131



SCIENCES & AVENIR, *Des virus géants utilisent une défense «immunitaire» proche de CRISPR* [en ligne]. Disponible sur :
https://www.sciencesetavenir.fr/sante/des-virus-geants-utilisent-une-defense-immunitaire-prochede-crispr_30061

NATURE. CRISPR [en ligne]. Disponible sur :
<http://www.nature.com/news/crispr-1.17547#/News>

INDUSTRIE & TECHNOLOGIES, *CRISPR-Cas9 : intervenir sur l'ADN humain ? Des chercheurs alertent sur le risque de dérive éthique.* [en ligne]. Disponible sur :
<https://www.industrie-techno.com/crispr-cas9-intervenir-sur-l-adn-humain-des-chercheurs-alertent-sur-le-risque-de-derive-ethique.37453>

SCIENCE, *Inside the summit on human gene editing: A reporter's notebook* [en ligne]. Disponible sur :
<http://www.sciencemag.org/news/2015/12/inside-summit-human-gene-editing-reporter-s-notebook>



Applications des OGM

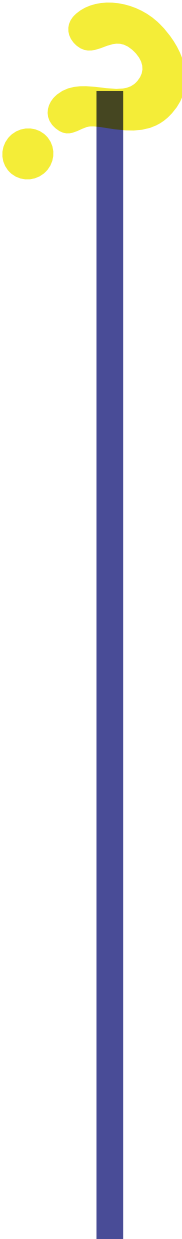
LE MONDE, *Un moustique génétiquement modifié contre le paludisme* [en ligne]. Disponible sur :
http://www.lemonde.fr/sciences/article/2016/01/25/le-moustique-ogm-contre-lepaludisme_4853263_1650684.html

OGM.org, *OGM et santé* [en ligne]. Disponible sur :
<http://www.ogm.org/OGM%20et.../ogm-et-sante.html>

ACTU ENVIRONNEMENT.com, *Des bactéries OGM pour traiter les eaux polluées par le mercure, selon une étude* [en ligne]. Disponible sur :
<https://www.actu-environnement.com/ae/news/bacteries-transgeniques-pollution-eaux-mercure-13269.php4>

INFOGM. CANADA, *Une première: deux plantes modifiées par mutagenèse dirigée sont autorisées commercialement!* [en ligne]. Disponible sur :
<https://www.infogm.org/5646-Canada-deux-plantes-modifiees-par-mutagenese-dirigee-autoriseescommercialement>





INF'OGM. États-Unis, *le saumon OGM autorisé... puis suspendu* [en ligne]. Disponible sur :
<https://www.infogm.org/5876-saumon-OGM-autorise-etats-unis>

NCBI, *Transgenic tomatoes expressing human beta-amyloid for use as a vaccine against Alzheimer's disease* [en ligne]. Disponible sur :
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2522325/>

RTL INFO, *Des chercheurs flamands améliorent la production de bio-éthanol à partir de déchets*[en ligne]. Disponible sur :
<http://www.rtl.be/info/magazine/science-nature/des-chercheurs-flamands-ameliorent-la-production-de-bio-ethanol-a-partir-de-dechets-378123.aspx>

ALLIANCE VITA, *CRISPR-Cas9 : des recherches encourageantes sur le VIH* [en ligne]. [en ligne]. Disponible sur :
<http://www.alliancevita.org/2017/05/crispr-cas9-des-recherches-encourageantes-sur-le-vih/>

EUROPE 1, *Les «eligobiotiques», les antibiotiques du futur* [en ligne]. Disponible sur :
<http://www.europe1.fr/sante/les-eligobiotiques-les-antibiotiques-du-futur-2525783>

C'est vivant ça change quoi ?

NOVETIC, *Les NBT: des OGM qui ne disent pas leur nom?* [en ligne]. Disponible sur :
<http://www.novethic.fr/empreinte-terre/agriculture/isr-rse/de-nouvelles-ogm-non-detectablesbientot-sur-le-marche-143857.html>

OGM et risques

OGM.org, *OGM et risques* [en ligne]. Disponible sur :
<http://www.ogm.org/actualites/397-ogm-et-risques.html>

Inf'OGM, *Quels sont les risques des OGM pour la santé?* [en ligne]. Disponible sur :
<https://www.infogm.org/-OGM-et-sante>

OGM.gouv.qc.c, *Dispersion des gènes* [en ligne]. Disponible sur:
http://www.ogm.gouv.qc.ca/sante_et_environment/environnement/risques_potentiels/dispersion_genes/envi_dispersion.html

Réglementation

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE, *Organismes génétiquement modifiés (OGM)* [en ligne]. Disponible sur:
<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/organismes-genetiquement-modifies-ogm>

Vrai/Faux

SCIENCE ET PSEUDO-SCIENCES, *Les OGM en douze questions* [en ligne]. Disponible sur:
<http://www.pseudo-sciences.org/spip.php?article576>

SCIENCE ET PSEUDO-SCIENCES, *Idées reçues et rumeurs autour des OGM* [en ligne]. Disponible sur:
<http://www.pseudo-sciences.org/spip.php?article1850>

L'OBSERVATOIRE DE LA GÉNÉTIQUE, *Pour une gestion éthique des OGM: Avis de la Commission de l'éthique de la science et de la technologie* [en ligne]. Disponible sur:
http://www.omics-ethics.org/observatoire/cadrages/cadr2004/c_no15_04/c_no15_04_01.html

Personnes interrogées:

PRO OGM

Marcel KUNTZ <http://www.marcel-kuntz-ogm.fr/>
Agnès RICROCH

ANTI OGM

STOPOGM <http://www.stopogm.ch/>

Documentaires:

« *Fabriquer le vivant* » de **Laetitia Ohnona**

FRANCE2, *Sciences: CRISPR-CAS9, une révolution biologique qui divise* [en ligne]. Disponible sur:

http://www.francetvinfo.fr/replay-jt/france-2/20-heures/sciences-crispr-cas9-une-revolutionbiologique-qui-divise_1351019.html

Livres:

Les OGM: Une grande conquête de l'humanité ou le pire des fléaux?

Louis-Marie HOUDEBINE

Biology Is Technology: The Promise, Peril, and New Business of Engineering Life

Robert H. Carlson

Biotechnologies végétale. Environnement, alimentation, santé.

Sous la direction d'**Agnès Ricoch**, **Yves Dattée** et **Marc Fellous** Vuibert
juin 2011



*Ouais, bah mon génome
est vachement plus fourni
que votre bibliographie.*





L'ÉQUIPE

Directeur-riche-s de publication

Aude Bernheim
Jérémy Chaligné
Nina Varchavsky
Flora Vincent

Rédaction du kit

Alice Le Boedec
Aude Bernheim

Direction artistique

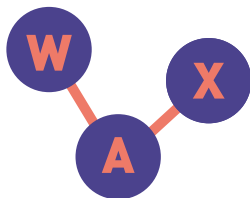
Adrien Bernheim

Conception des activités

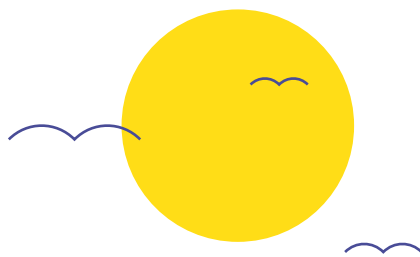
Aude Bernheim
Adrien Bernheim
Alice Le Boedec

Merci pour la relecture et les idées

Frédéric Bayer
François Maginot
Flora Vincent
Nikola Zarevski
Tou.te.s les membres de WAX Science



www.wax-science.org



Attends j'ai pas tout compris.
T'es un mutant, mais t'as pas
de pouvoirs?

Non désolé.

Mais c'est pourri!
Pourquoi on est
pote alors?

