

# DESIGN IN GENETIC

The world is changing ...

Aurélie Thouron

2016

DNAgenotek

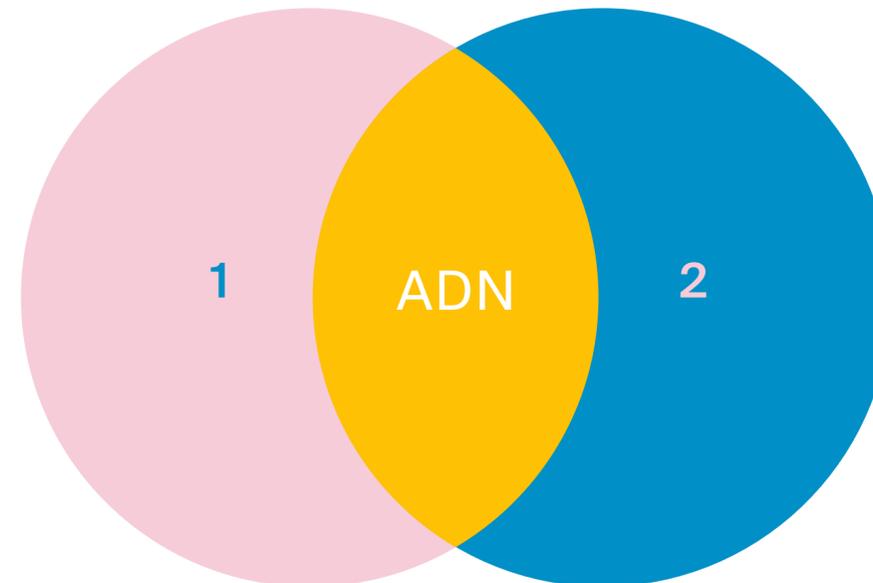
Ensci  
les-ateliers

## Design in Genetic

Le monde change et est soumis à l'entrée des nouvelles technologies qui redessinent les contours de la Société. L'année 2015 a été marquée par des poussées technologiques très fortes qui ont jeté les bases de leurs développements en 2016. L'édition de gène grâce à la méthode CRISPR-cas9, l'agriculture intérieure, Internet Balloon, les fusées réutilisables, les réseaux de neurones artificiels, les blockchain, les véhicules aériens sans pilotes (UAV) sont des technologies qui auront un grand impact sur la Société de demain.

Par ailleurs, le design ne cesse d'être adopté par les entreprises publiques et privées qui ont conscience qu'aujourd'hui ce sont les expériences clients et utilisateurs qui font la valeur et la désirabilité du service ou produit.

# The world is changing...



1

### CE QUI CHANGE DANS LA GÉNÉTIQUE

- Découverte d'enzymes "ciseaux" (CRISPR-CAS9) (élue découverte scientifique de l'année)
- Développement d'applications génétiques
- Séquençage ADN dans l'espace
- Médecine prédictive vs médecine des conséquences
- Big data ADN

2

### CE QUI CHANGE DANS LE DESIGN

- Penser non plus exclusivement les produits mais plus généralement les expériences utilisateurs et clients.
- L'afflux de designers pour repenser les services relance l'industrie du design.

3

### EN 2016, CHACUN DES DOMAINES RÉDÉFINIT SON ADN



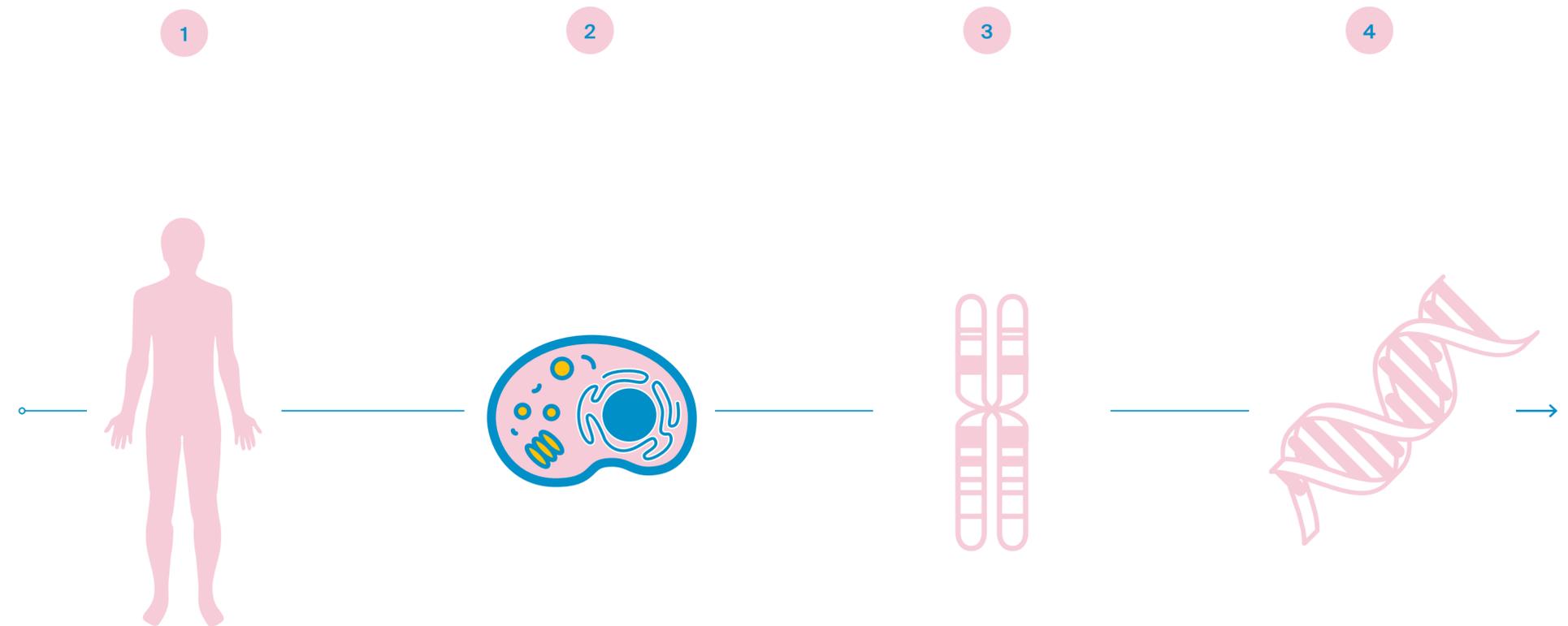
# L'ADN LE NOUVEL OR NOIR

—  
Tout un chacun le possède,  
demain tout le monde le voudra.

# Tout le monde possède un ADN

La génétique, du grec « donner naissance » est la science qui étudie le rôle des gènes au sein de différents phénomènes biologiques comme par exemple leurs influences sur la santé.

Depuis sa naissance, la recherche en génétique accroît les connaissances relatives aux gènes humains, à leurs interactions entre eux et à l'environnement.



## CORPS HUMAIN

Notre corps est constitué de plusieurs millions de cellules.

## CELLULES

Chacune contient l'information génétique nécessaire au développement et au fonctionnement de notre organisme.

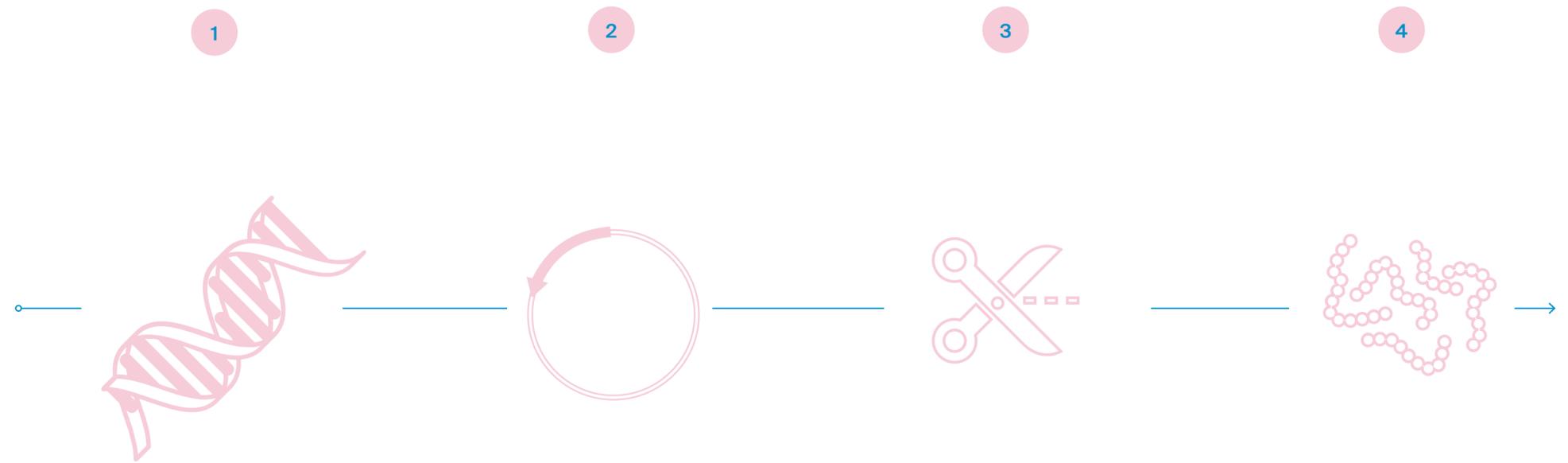
## CHROMOSOMES

Cette information est présente sous la forme de chromosomes, eux-mêmes constitués de gènes.

## ADN

Un gène est donc une unité d'information biologique, une instruction permettant de réaliser une ou plusieurs fonctions dans notre corps. Ce sont des molécules d'ADN qui constituent les gènes.

# Tout le monde possède un ADN



## ADN

Molécule renfermant l'ensemble des informations nécessaires au développement et au fonctionnement d'un organisme. Support de l'hérédité : il porte l'information génétique, le génome des êtres vivants. L'ADN détermine la synthèse des protéines.

## GÈNE

Un gène est une séquence d'ADN qui spécifie la synthèse d'une chaîne de peptidiques.

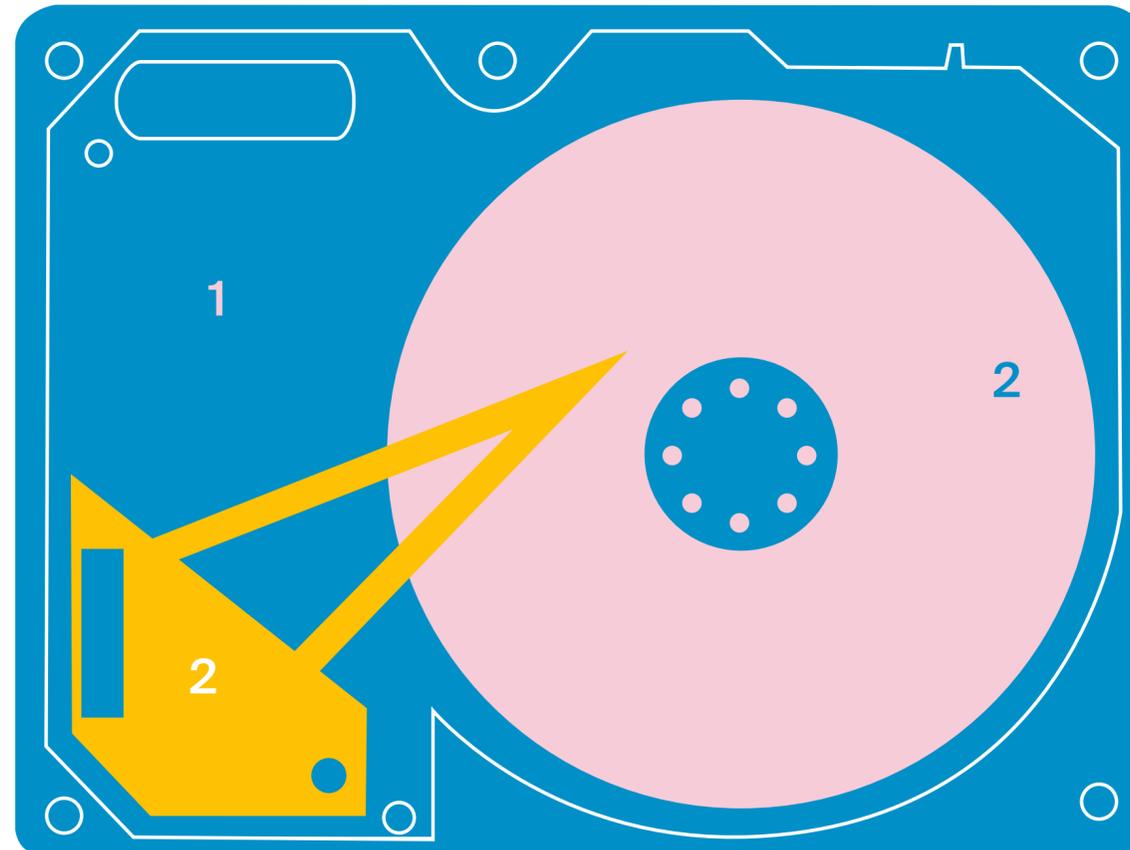
## ENZYME

Molécule permettant d'accélérer jusqu'à des millions de fois les réactions chimiques du métabolisme. Une enzyme de restriction est une protéine qui peut couper un fragment d'ADN au niveau d'une séquence de nucléotides caractéristique appelée site de restriction.

## PROTÉINE

Une protéine est une macromolécule composée par une ou plusieurs d'acides aminés liés entre eux par des liaisons peptidiques.

# Tout le monde possède un ADN



- 1 LA **GÉNÉTIQUE** EST UN DISQUE DUR
- 2 DANS CE HARDWARE SONT GRAVÉES SUR UN DISQUE **L'ADN**
- 3 LA TÊTE DE LECTURE EST **L'ÉPIGÉNÉTIQUE** QUI LIT **L'ADN**

# Tout le monde possède un ADN

## L'épigénétique a le vent en poupe, la seule connaissance du génome ne suffit plus

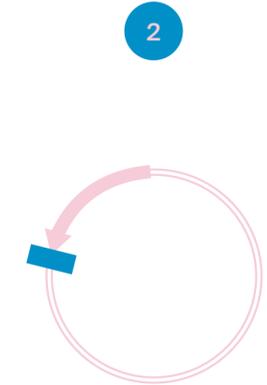
Connaître l'ensemble du génome ne suffit pas. Les facteurs environnementaux peuvent jouer un rôle prépondérant dans l'expression d'un gène, il n'est donc pas possible de prédire de manière fiable l'occurrence d'une maladie génétique uniquement par analyse du génome. Bien que l'épigénétique soit une discipline très jeune (datant des années 40); elle prend tout de même racine dans les premières recherches sur la génétique. Les chercheurs se sont rendus compte que des phénomènes extérieurs agissaient sur notre phénotype (ensemble des caractéristiques visibles d'un organisme, exemple : la couleur des cheveux).

## L'environnement explique en grande partie le marquage de l'ADN

L'alimentation, l'activité physique, le stress psychique ou physique, la consommation de drogues ou de médicaments, ou encore le vieillissement et les agents pathogènes vont modifier notre phénotype et donc la modularité de nos gènes. Plus précisément, ils vont modifier les composants moléculaires en ajoutant des groupements chimiques pouvant s'attacher à l'ADN et le marquer. Ce marquage moléculaire change la configuration 3D de la structure de l'ADN. Les gènes peuvent donc être « allumés » ou « éteints ».



**LES FACTEURS ÉPIGÉNÉTIQUES DÉTERMINENT QUAND UN ET SI UN GÈNE DOIT ÊTRE EXPRIMÉ (GO) ...**



**... OU NE PAS L'ÊTRE (NO GO)**

## Focus Design

---

# Alexandra Daisy Ginsberg

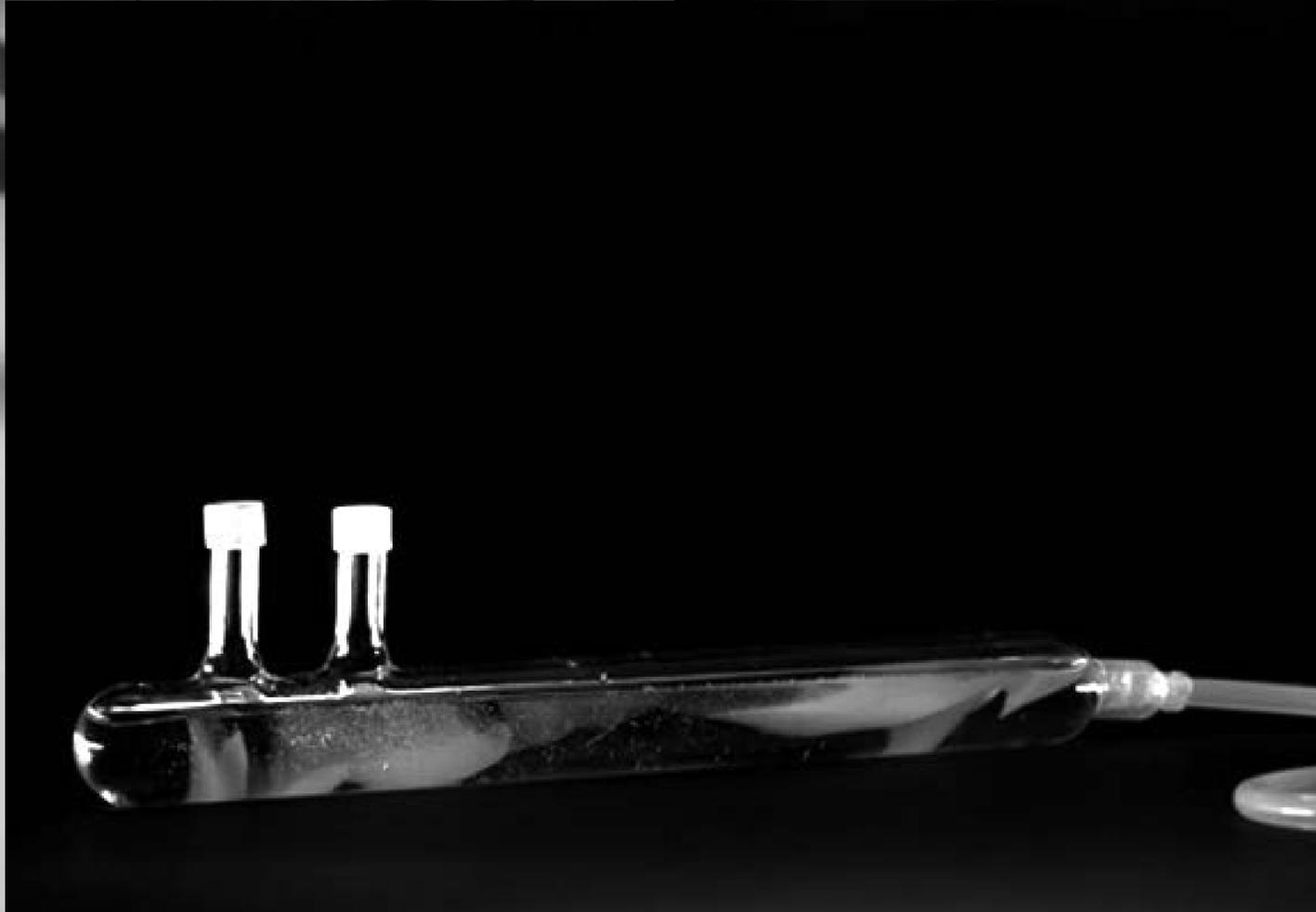
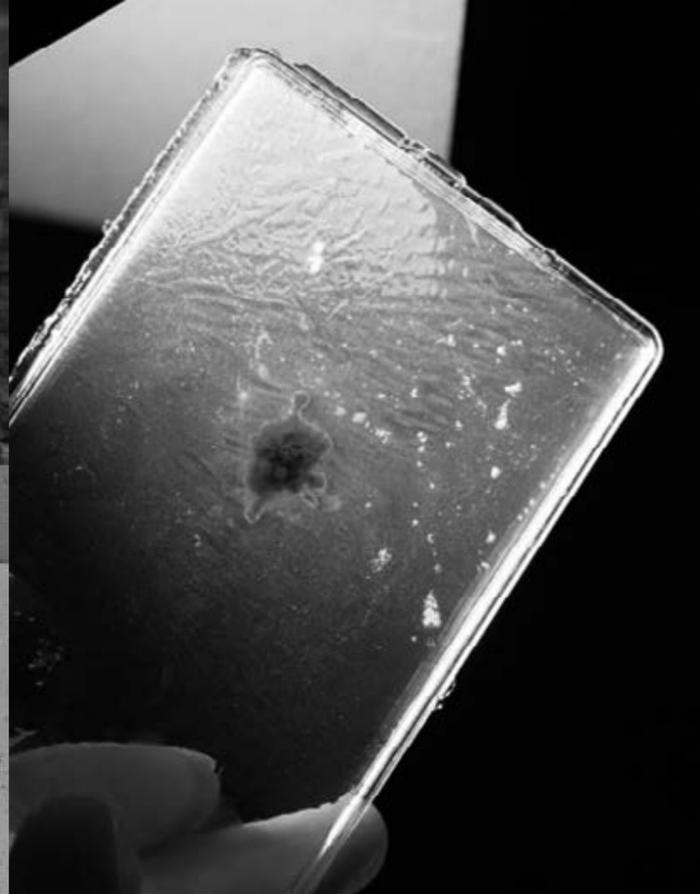
Alexandra Daisy Ginsberg est designer, artiste et auteure. Elle développe des approches expérimentales afin d'imaginer de nouveaux rôles et idéaux au design.

- How would you design nature? Images from Synthetics Aesthetics : Investigating Synthetic Biology's Designs on Nature (The MIT Press, 2014).

- Designing for the Sixth Extinction, MOBILE BIOREMEDIATION UNIT, Designed with two extra bases in its DNA.

- Biome: Experiments, Material experiments.

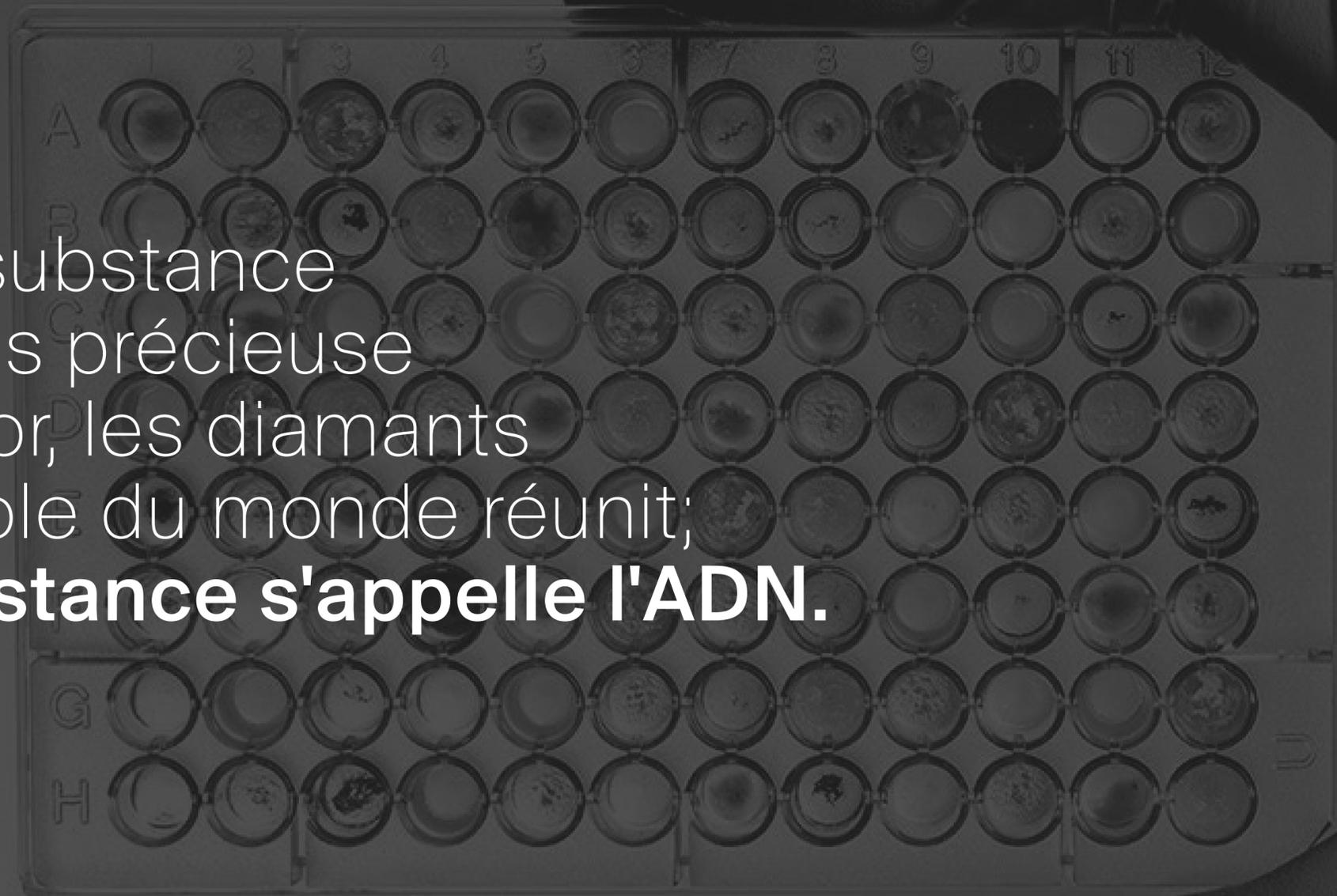
- BioSpy: A Health-Obsessed Robot for Health Obsessives, BioSpy Prototype



---

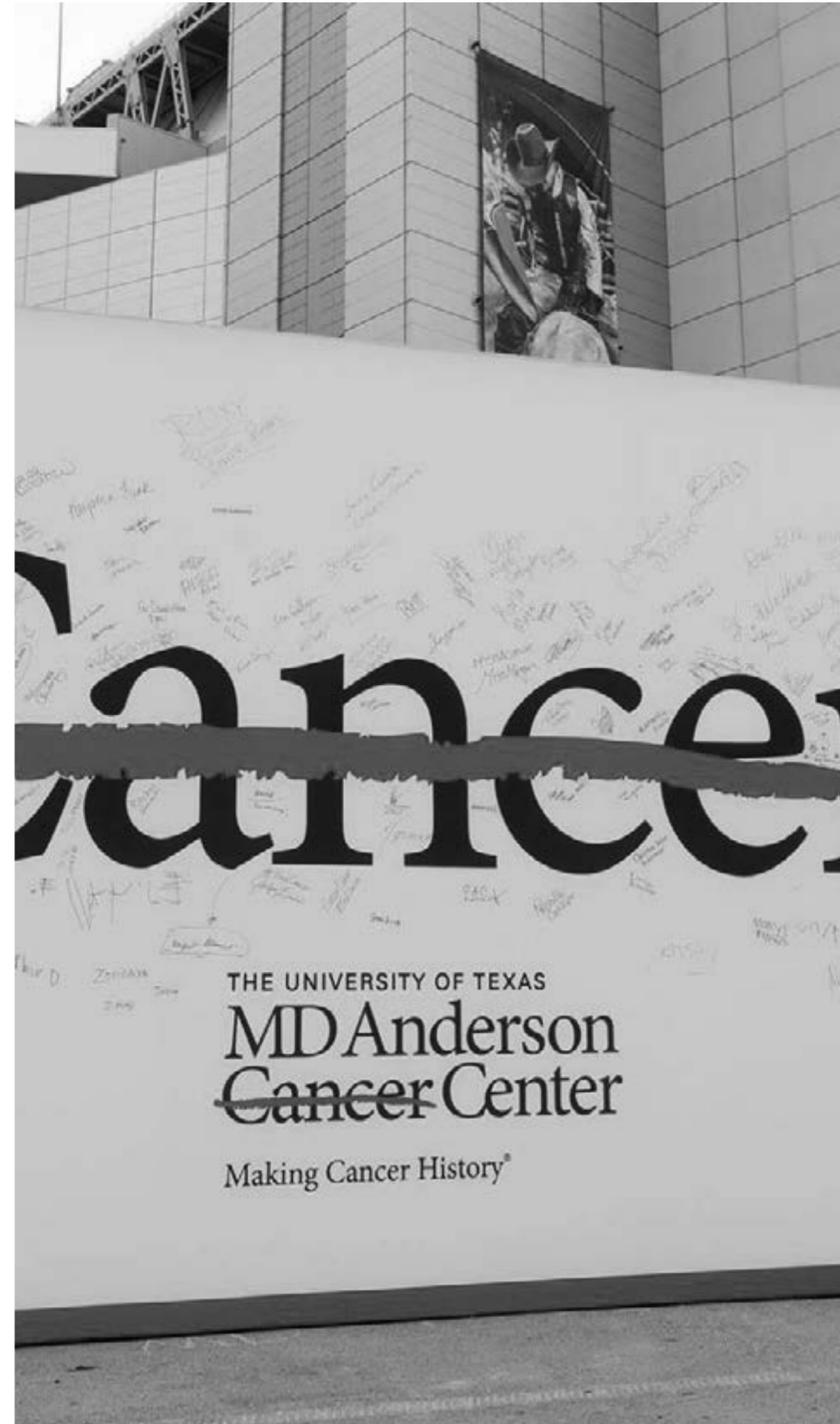
Il y a une substance  
qui est plus précieuse  
que tout l'or, les diamants  
ou le pétrole du monde réunit;  
**cette substance s'appelle l'ADN.**

---



# La course au nouvel or noir : l'ADN

Ce nouvel or noir ouvre de nouvelles perspectives au secteur de la santé à travers un savant mélange d'épigénétique et de séquençage ADN. En outre, il annonce un nouveau paradigme et une nouvelle économie de la santé, décryptage des signaux forts et des signaux faibles...



## Pourquoi ?

Parce qu'il offre de nouvelles perspectives thérapeutiques

Les variations épigénétiques sembleraient assez « plastiques » pour être modifiées par des traitements chimiques, ouvrant d'immenses perspectives thérapeutiques comme le développement des « épimédicaments » pour traiter notamment certains cancers anticipés via le séquençage ADN.

### MD ANDERSON CANCER CENTER

Des chercheurs de l'Université du Texas MD Anderson Cancer Center ont développé la première application au monde capable de détecter les changements cancéreux dans une seule cellule.

## Design in Genetic

# Qui, aujourd'hui court après ?



### ILLUMINA

Est la plus grande compagnie de séquençage génomique au monde, elle développe, fabrique et commercialise des systèmes intégrés (des machines ultra rapide) pour l'analyse de la variation génétique et la fonction biologique. Elle vient de lancer Grail, une entreprise ayant pour intention de développer un test sanguin pour dépister les cancers avant que les symptômes n'apparaissent.

**Business model :** L'entreprise génère des profits en proposant à la fois des services génétiques mais aussi en devenant partenaire d'autres entreprises ayant besoin de son expertise.

- BTB (Business to Business)
- 2,2 milliards de \$ de recettes en 2015
- Valorisation en bourse : 20 milliards de \$
- Statut Public
- Investit dans : Helix, 23 and me



### 23 AND ME

Est une société de biotechnologie proposant moyennant finance via un Kit une analyse du code génétique de ses clients.

**Business model :** Un kit d'analyse génétique est vendu aux clients (première source de revenus) afin de lui prélever un échantillon de salive. L'échantillon est ensuite analysé via une database génétique, les données génétiques générées sont partagées gratuitement aux entreprises pharmaceutiques et biotechnologies (etc.). L'objectif étant de concevoir de nouveaux services plus adaptées aux individus. Les résultats obtenues et le développement marketing de thérapies innovantes distribuent des revenus à 23 and me (deuxième source de revenus).

- BTC (Business to Consumer)
- 149 \$ le kit ADN
- 1,2 millions d'ADN clients analysés
- Valorisation en bourse : 1,1 milliards de \$
- Statut Privé



### HELIX

Est une compagnie de séquençage génomique développant un laboratoire d'envergure mondiale de séquençage ADN (Helix Platform APIs) sécurisé mais ouvert aux consommateurs et aux partenaires (via un app store génomique) afin de leur permettre de délivrer des produits, des services et des applications personnalisés.

**Business model :** Les bénéfices se partagent dans un modèle similaire à l'App store d'Apple. La puissance du modèle économique est de se sortir du marché des laboratoires de recherches et de s'adresser au marché encore « uncracked » des consommateurs finaux

- BTC (Business to Consumer)
- 20 \$ prix application d'un partenaire d'Helix
- Partenariat : Illumina investit 100 millions \$
- Statut Privé

## Design in Genetic

# Qui, aujourd'hui court après ?



### VERITAS GENETICS

Est une compagnie de biotechnologies, développant une plate-forme permettant de séquencer, d'analyser l'ADN et de conseiller les utilisateurs (via une application smartphone) grâce à des partenariats avec l'écosystème de recherches médicales.

**Business model :** Modèle économique tourné autour du séquençage et de l'analyse low-cost ADN et des tests low-cost de cancer. Des services de suivis et de conseils sont proposés aux clients et aux entreprises.

- BTB & BTC
- De 199 \$ à 299 \$ prix de tests de cancers
- 999 \$ prix low-cost du séquençage
- Statut Privé
- ADN (incluant interprétation et conseils via une application smartphone)



### ÉTAT FRANÇAIS

Remise d'un rapport « France Médecine Génomique 2025 : permettre l'accès au diagnostic génétique sur tout le territoire ». Ce rapport propose un plan concret afin d'exploiter les quantités énormes de données génomiques pour améliorer la santé de patients. L'Etat mobilisera notamment le budget de la sécurité sociale pour la mise en place de 12 plateformes de séquençage dès 2017.

**Business model :** Privilégier une médecine préventive travaillant sur les causes plutôt que sur les conséquences pourrait permettre de faire des économies non négligeables...

- Investissement total de 675 millions €
- Apport entreprises d'environ 230 €

## Les forces et les faiblesses

du marché génétique :

### 1 Les forces

- Développement de la recherche génétique et épigénétique
- Opportunités de nouveaux business basés sur les données génétiques (collision avec la nouvelle économie) par la création de services plus personnalisés (des médicaments aux goodies « bien-être »)

### 2 Les faiblesses

- Contraintes réglementaires : définir les informations génétiques utiles, sécuriser les données, ...
- Pour l'utilisateur : accepter de revendre ses données à des compagnies non médicales
- Pas d'acteurs ayant encore développé les quatre super-pouvoirs pour mettre en place une boucle de création de valeur grâce à son effet de réseaux (même si on pressent Illumina comme pure-player).

---

Grâce au séquençage de l'ADN :

“We can predict **your face, your height, your body mass index, your eye color, your hair color and texture...**”

---

Graig Venter



# LA RÉVOLUTION CRISPR CAS 9

Copier et coller l'ADN ...

*Credit illustration : Sébastien Thibault*

## Design in Genetic

# La révolution CRISPR CAS9

Jusqu'à récemment, l'édition des gènes était extrêmement chère, compliquée et prenait beaucoup de temps dans sa réalisation. Aujourd'hui grâce à une nouvelle technologie révolutionnaire nommée CRISPR Cas9 découverte par Emmanuelle Marie Charpentier et Jennifer Anne Doudna, les coûts d'ingénierie ont diminué de 99%. Le temps nécessaire pour mener des expériences à lui aussi excessivement diminué. En effet, il ne faut plus que quelques semaines au lieu d'une année pour séquencer un génome entier.

Il est difficile d'expliquer à quel point CRISPR CAS9 est une grande révolution technique mais une chose est claire : cette nouvelle technique génétique porte en elle le potentiel de changer l'humanité à jamais.



**EMMANUELLE MARIE  
CHARPENTIER**

Est une microbiologiste, généticienne et biochimiste française. Elle est professeure à l'université d'Umeå.



**JENNIFER ANNE  
DOUDNA**

Est une professeure de chimie et de biologie moléculaire et cellulaire à l'université de Californie à Berkeley. Elle est également investi auprès du Howard Hughes Medical Institute depuis 1973.

# La révolution CRISPR CAS9

## Copier et coller l'ADN <sup>1/2</sup>



**Pourquoi ?**  
Pour révolutionner la génétique

Les bactéries et les virus se battent depuis l'aube de la vie. Les bactériophages ou phages chassent les bactéries. Dans l'océan, les phages en tuent quarante pour cent chaque jour. Les phages tuent en insérant leur propre code génétique dans les bactéries et en prennent le contrôle pour s'en servir d'usines. Les bactéries essayent de résister, mais échoue la plupart du temps parce que leurs outils de protection sont trop faibles, mais parfois elles peuvent survivre à une attaque. Seulement quand elles y parviennent, elles activent leur système antivirus le plus efficace.



**Comment ?**  
En sauvegardant une partie de l'ADN

Elles sauvegardent une partie de l'ADN du virus dans leur propre code génétique dans une archive d'ADN appelée CRISPR. Ici il est stocké en toute sécurité jusqu'à ce qu'il soit utilisé. Lorsque le virus attaque à nouveau le bactérium fabrique rapidement une copie ARN à partir de l'archive ADN et active une arme secrète: une protéine appelée Cas9. La protéine scanne l'intérieur du bactérium à la recherche de signes du virus envahisseur en comparant chaque morceau d'ADN qu'il trouve avec l'échantillon archive. Lorsqu'elle trouve une correspondance parfaite, elle s'active et découpe l'ADN du virus le rendant inutile et protégeant ainsi le bactérium contre l'attaque. Elle isole donc la partie de l'ADN viralisée. La protéine Cas9 est très précise à l'instar d'un chirurgien de l'ADN.

# La révolution CRISPR CAS9



**Jusqu'où ?**  
Programmer CRISPR CAS9 ...

La révolution a commencé avec la découverte du caractère programmable du système CRISPR. Vous pouvez simplement lui donner une copie de l'ADN que vous souhaitez modifier et mettre le système programmé dans une cellule vivante. Pour filer une métaphore, les anciennes techniques de manipulation génétique étaient comme des cartes à plat tandis que CRISPR est comme un système GPS. En plus d'être précis, peu cher et facile, CRISPR offre la possibilité de modifier des cellules vivantes pour basculer les gènes sur on/off. Ce système offre également la possibilité de cibler et d'étudier des séquences particulières d'ADN. Il fonctionne

## Copier et coller l'ADN 2/2



également pour chaque type de cellules (micro-organismes cellulaires, plantes, animaux ou humains). CRISPR est encore un outil de première génération et des outils plus précis sont déjà entrain d'être créés et utilisés dans les laboratoires. En 2015, des scientifiques ont utilisés CRISPR pour découper le VIH depuis les cellules vivantes de patients infectés par le virus. Ils ont ainsi prouvé que CRISPR avait la capacité de découper le virus VIH. Une année plus tard, ils ont effectué un projet à plus grande échelle avec des rats dont toutes les cellules étaient infectés par le VIH. Avec une simple injection de CRISPR dans leur queues, les rats furent capables de supprimer plus de cinquante pour cent du virus qui les infecté.

---

# JOUER AVEC DES LEGO BIO

---

Pourquoi faire compliqué quand on peut faire simple ?

# Jouer avec des Lego Bio

Grâce au concept des biobricks, il est désormais possible d'assembler des séquences d'ADN standardisées afin de concevoir des organismes vivants. Plus simplement, il s'agit d'assembler des éléments de constructions génétiques comme on le ferait avec un jeu de Lego. Selon les dire de Steve Jobs, l'enjeu du 21ème siècle réside dans l'ouverture de la santé et de la médecine à n'importe quel individu. La génétique connaîtra-t-elle le même sort que l'outil informatique qui a quitté les mains des militaires pour se retrouver dans la majorité des foyers ? L'avenir le dira, en attendant, pour démocratiser cette science il faut la rendre accessible et donc moins complexe et plus simple.



1

## Comment ?

En utilisant les Biobricks disponibles

Les Biobricks sont en libre accès sur le «Registry of Standard Biological Parts» développé par des chercheurs du MIT, Harvard et UCSF. Dans ce registre, on peut trouver des informations et des descriptions sur l'ensemble des différents composants biologiques ainsi qu'un catalogue qui décrit les fonctions, les rôles et les assemblages de chaque composant. Chaque Biobrick est décrite par un unique code d'identification pour simplifier les recherches.

# Jouer avec des Lego Bio

2

## Exemple ?

### Créer une bibliothèque d'enzymes d'odeurs

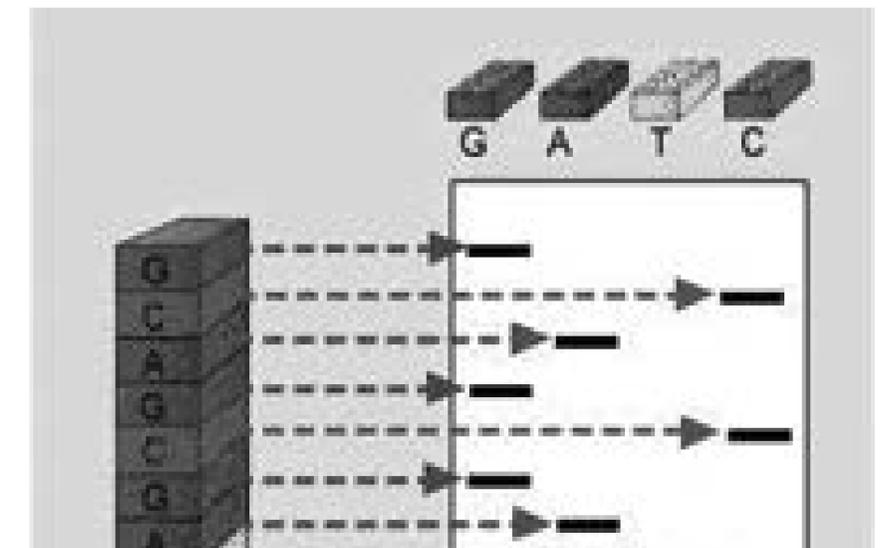
Afin de mieux comprendre, intéressons-nous à un exemple développé par l'équipe iGEM Paris Bettencourt dont l'un des sous projets vise à créer une bibliothèque d'enzymes produisant des odeurs. Dans ce but, ils ont créés plusieurs assemblages dans des plasmides en utilisant des composants du «Registry of Standard Biological Parts». Ils ont essayé de produire l'odeur de la banane. Pour ce faire, ils ont trouvé une Biobrick contenant la séquence d'une enzyme qui produit l'odeur de la banane. Cependant, cette Biobrick ne présentait pas de promoteur pour permettre la transcription de l'enzyme. C'est pourquoi, ils ont trouvé un promoteur dans le registre qu'ils ont cloné en amont de la séquence de l'enzyme. Ainsi, ils ont conçu un dispositif génétique qui présentait un promoteur et un gène d'intérêt qu'ils ont cloné dans E. coli afin de créer une culture d'E. coli qui sentait la banane.

3

## Pourquoi ?

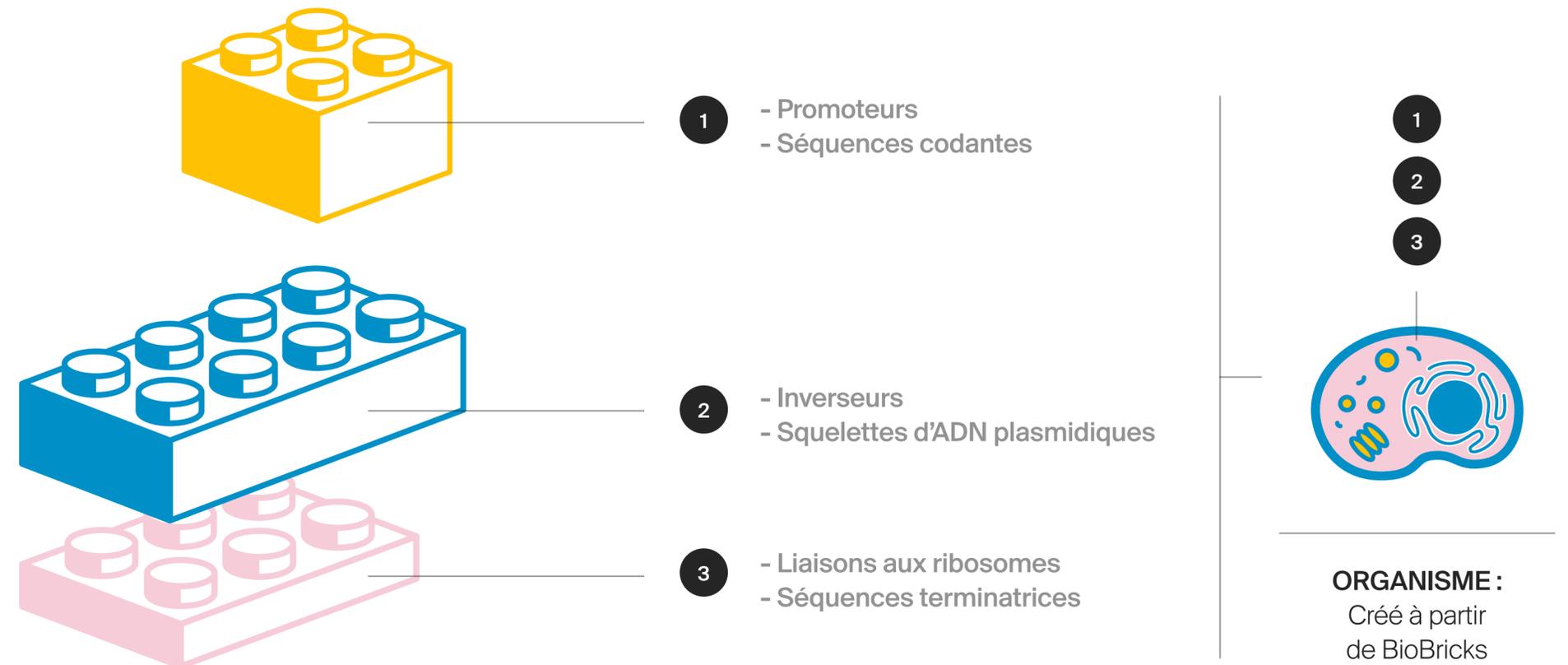
### Pour promouvoir une génétique " Open source " et transformer les systèmes génétiques complexes en systèmes simples

En utilisant les outils biologiques en libre accès, tout le monde peut commencer à concevoir des Biobricks et assembler des composants dans des dispositifs génétiques et des circuits.



Pourquoi faire compliqué quand on peut faire simple ?

# Jouer avec des Lego Bio



---

“One thing I learned at Apple is that what makes a good product is **taking these complicated systems and making them effortless and simple.**”

---

Laura Martini

*Product picture : Bento Lab*

# Bento Lab : ouvrir la biologie à tous



Le Bento Lab est un labo portable de la taille d'une boîte déjeuner pour extraire et analyser l'ADN. L'outil idéal pour biohackers, formateurs en science citoyenne et artistes.

---

BE WELL  
BE MORE

---

...and not mort !

**Be well  
Be more**



“ Hello,  
I have **aging  
as a disease**,  
can you treat  
me ? ”

**Be well  
Be more**



1 **Pourquoi ?**  
Elizabeth Parrish  
ne veut pas vieillir

Elizabeth Parrish, PDG de Bioviva USA Inc. est devenue le premier être humain à être rajeuni avec succès par la thérapie génique, après que les traitements expérimentaux de sa propre compagnie aient renversé de 20 ans le raccourcissement des télomères normaux.

# Be well Be more

2

## Comment ? Subir une thérapie génétique pour inverser le vieillissement

En septembre 2015, alors âgé de 44 ans, Elizabeth Parrish a reçu deux thérapies géniques expérimentales de sa propre compagnie : une pour se protéger contre la perte de la masse musculaire liée à l'âge, l'autre pour combattre l'appauvrissement de ses cellules souches responsables de diverses maladies et d'infirmités liées à l'âge.

Mais si les premières données sont exactes, c'est déjà le premier exemple réussi du monde de l'allongement des télomères par l'intermédiaire de la thérapie génique chez un individu humain.

Les télomères sont de courts segments de l'ADN qui couvrent les extrémités de chaque chromosome, agissant comme des « amortisseurs » contre l'usure. Ils raccourcissent à chaque division cellulaire, devenant finalement trop court pour protéger le chromosome, ce qui entraîne un dysfonctionnement de la cellule et le vieillissement du corps .

En mars 2016, des tests ont été repris par SpectraCell et ont révélé que les télomères d'Elizabeth Parrish avaient rallongé d'une vingtaine d'années, de 6,71 kb à 7,33 kb. Cela implique que les globules blancs de Parrish (leucocytes) sont devenus biologiquement plus jeunes. Elizabeth Parrish déclare que : « les thérapeutiques actuels offrent seulement des avantages marginaux pour les personnes souffrant de maladies liées au vieillissement. La modification du mode de vie n'a qu'un impact limité dans le traitement de ces maladies. Les progrès des biotechnologies semblent être la meilleure solution, et si ces résultats sont loin d'être précis, nous avons déjà fait l'histoire avec cette première thérapie génétique sur un humain ».

L'entreprise BioViva continuera de surveiller le sang de Parrish pendant les mois et les années à venir tout en testant de nouvelles thérapies géniques ainsi que des combinaisons de thérapies géniques pour restaurer les dommages liés à l'âge.

Pour l'instant, toutes les réponses se trouvent dans les cellules d'Elizabeth Parrish, « patient zéro » de la thérapie génique réparatrice.

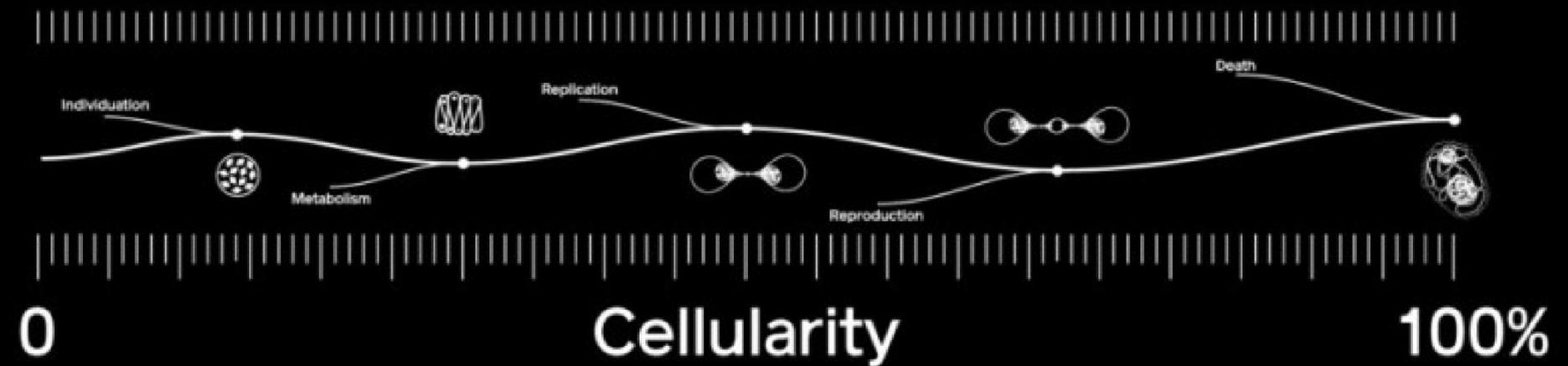
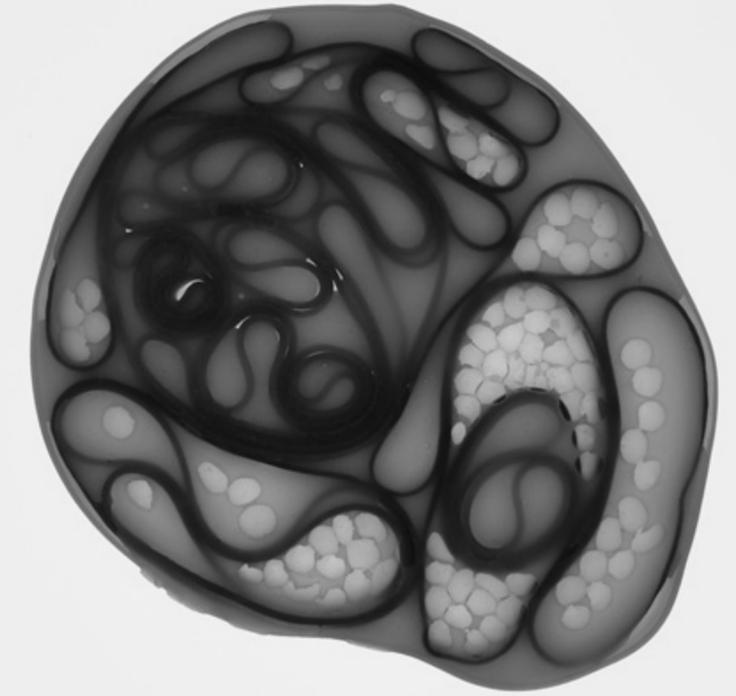
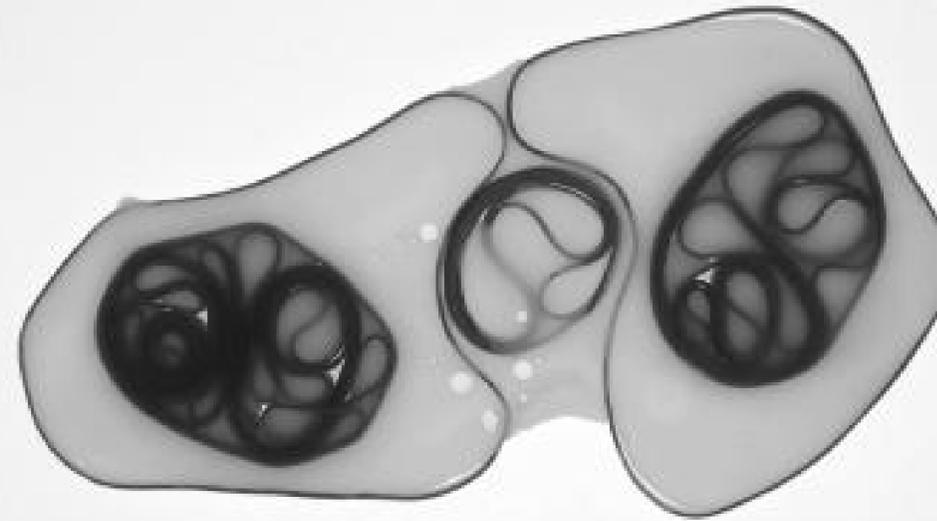
## Focus Design

# James King

James King est un jeune bio-designer britannique impliqué depuis plusieurs années dans l'exploration des bio-technologies.

Le projet Cellularity du bio-designer James King propose une réflexion sur les notions de vie et de mort par la création d'une cellule nommée « chell » contenant des composants médicamenteux.

La membrane de la « chell » s'adapte en fonction de conditions biologiques et libère des petites quantités médicamenteuses pour soigner l'organisme. Ces particules médicamenteuses sont recyclées, réutilisées et associées par mitose au besoin, l'organisme détruisant le surplus.



---

“You’re only human,  
**but your kids could be more”**”

---

Paul Knoepfler

---

# THE END OF SEX

---

Comment on design les bébés ?

# The end of sex

1

## Pourquoi ?

Afin d'éradiquer les maladies génétiques héréditaires ( entre autres ... )

Lorsque les chercheurs chinois ont déclaré avoir modifié le génome d'embryons humains à l'aide d'une technique appelée CRISPR / cas9, ils ont suscité un débat mondial sur la façon dont cette technologie pourrait (ou devrait) être utilisée . Les scientifiques ont exprimé des craintes légitimes : Quels sont les effets secondaires? Est-ce que cela ouvrirait la porte à de la conception/ du design humain? CRISPR CAS9 n'est pas le premier outil d'édition de génome , mais il est de loin le meilleur. Avec cette technique génomique, les scientifiques peuvent apporter des modifications précises beaucoup plus rapidement sur le génome. Cette capacité promet de mettre un terme à certaines maladies et espère révolutionner le traitement des autres.

«Le potentiel de CRISPR pour traiter les maladies humaines est très élevé , mais il porte aussi en lui le potentiel d'immense dégâts génomiques. « Gang Bao , bioingénieur à Rice University.

2

## Comment ?

En séquençant le génome entier afin de faire un diagnostic préimplantatoire

En 1997, le film Gattaca avait déjà averti d'un avenir dans lequel les techniques de reproduction émergentes conduirait à l' eugénisme et à la discrimination génétique. Pour Hank Greely professeur à Stanford et bioéthicien droit, «notre avenir pourrait ne pas être tout à fait aussi sombre, mais la technologie impliquée peut être plus proche que nous le pensons.» Le nouveau livre de Greely, The End of Sex and the Future of Human Reproduction, prévoit que les parents dans les pays développés pourraient décider de mettre au monde des enfant s'appuyant davantage sur la génétique plutôt que sur le hasard. En quelque sorte, il s'agirait de sélectionner son bébé dans une boîte de Pétri. Les arguments avancés par la biomédecine : le séquençage du génome entier et le diagnostic génétique préimplantatoire. La première permet aux généticiens de séparer les pièces du puzzle de notre ADN. Ce dernier leur permet de modifier le profil des embryons avant l'implantation et la fertilisation afin de prévenir les éventuelles maladies génétiques.

# The end of sex

## 3 Jusqu'où ? Terrorisme, recherche scientifique ou loterie génétique ?

Si on fait de la prédiction dans 40 ans, nous verrons peut-être un monde où la plupart des bébés seront conçus en laboratoire.

Les futurs parents créeront une centaine d'embryons en collaboration avec les scientifiques. Ils choisiront par la suite le plus désirable d'entre eux.

Des milliers de questions effleurent nos esprits qui devront trouver des réponses auprès d'une législation solide et d'une Commission d'éthique internationale pour éviter toutes dérives irréversibles modifiant profondément l'évolution humaine.



---

# SKY IS NOT EVEN THE LIMIT

---

Séquencer l'ADN dans l'espace

# Sky is not even the limit



1

## Pourquoi ?

Parce que le séquençage ADN a largement progressé depuis 20 ans

Les nombreuses missions d'exploration directe des surfaces des planètes, lunes et astéroïdes réalisées ces dernières décennies (rovers martiens, module Philae, etc.) possédaient toutes des analyseurs chimiques automatiques mais aucune ne comportait d'instrument dédié à exclusivement aux caractéristiques des êtres vivants. Cette lacune était due à un défaut technologique : le poids et la complexité des séquenceurs à ADN utilisés sur Terre. Mais en 20 ans, les progrès en séquençage du génome ont été tels que ces appareils ont vu leur taille, poids et prix se réduire drastiquement, jusqu'à pouvoir devenir des objets aussi réduits qu'un smartphone.

# Sky is not even the limit

1

## Comment ?

### À l'aide d'un mini séquenceur relié à un ordinateur par une prise USB

Une association entre chercheurs de la NASA et d'universités a développé MinION : un micro-séquenceur d'ADN « pluggable » sur un ordinateur portable ou une tablette par une simple prise USB qui, à l'aide d'un algorithme dédié, affiche la séquence ADN de tout type d'organisme terrestre en seulement 48H.

Déjà utilisé au Libéria lors de la crise d'Ébola (30 000 cas, 11 000 morts), ce séquenceur portable possède la caractéristique d'être « universel », contrairement à d'autres séquenceurs, c'est-à-dire pouvoir analyser l'ADN de tout type d'organisme, depuis un virus (p.ex. Ébola) jusqu'à un mammifère. Son principe repose sur la présence d'une membrane à nano-pores à travers lesquels circule en continu un flux d'ions (particules chargées).

Quand on ajoute à ce flux des molécules particulières, injectés dans le dispositif à l'aide d'une seringue, celles-ci sont entraînées vers l'entrée de ces pores

et viennent perturber le flux d'ions. Les molécules injectées modifient l'intensité du flux et dévient les ions, comme le montre la figure 4. Or, ces modifications sont particulières à chaque type de molécule, ce qui permet à l'algorithme de les identifier précisément : les séquences des micro-brins d'ADN (de type AACCGTTT) sont reconnus par l'algorithme, qui affiche alors leur code.

Mais MinION peut également reconnaître des séquences composées d'autres molécules que les quatre usuelles (Adénine, Cytosine, Thymine, Guanine) du moment qu'elles se structurent en chaînes semblables à celle de l'ADN. Cela donne au dispositif la capacité de séquencer un code génétique différent - mais pas trop - de celui des organismes terrestres.

Plus pragmatiquement, MinION doit servir également à identifier le « bactériome » de l'ISS, c'est-à-dire dresser le profil des bactéries et autres parasites remplissant son habitacle (importés de la Terre par les astronautes). Outre son utilité, effectuer une veille sanitaire en continue de cet espace clos où séjournent des humains, l'étude de cette faune, son évolution, s'inscrit dans la perspective de futures missions habitées vers Mars ou ailleurs, qui verront des humains vivre en vase clos durant des mois.

DESIGN  
IN GENETICS  
#PREDICTIONS



**La suite lors de la présentation du diplôme ...**