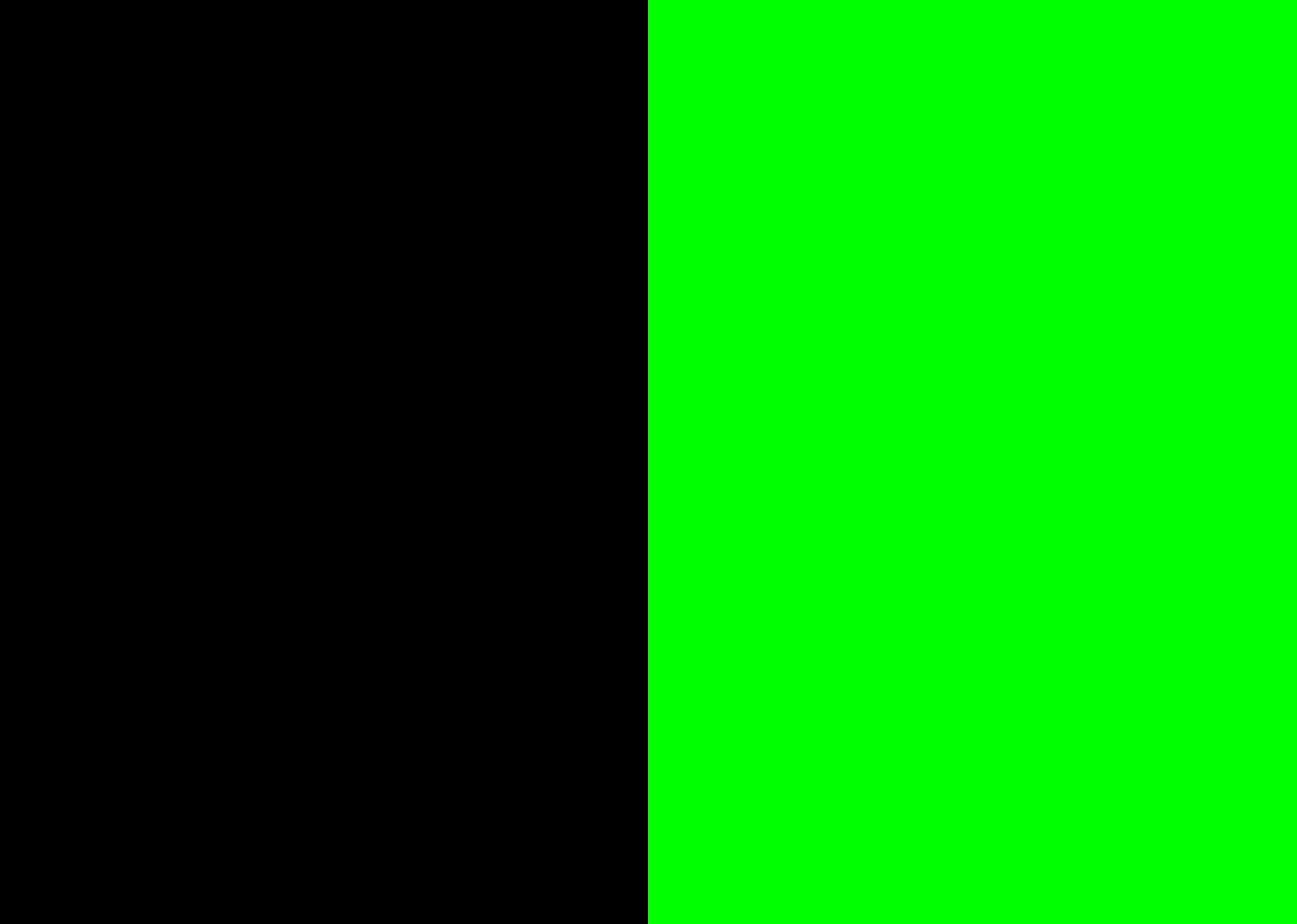


Design du vivant

Vers l'appropriation de la biologie synthétique
par le design



Design du vivant

Vers l'appropriation de la biologie synthétique
par le design

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toute l'équipe pédagogique du DSAA pour la qualité de la formation.

Merci à Jean-Baptiste Joatton et Guillaume Giroud pour m'avoir écoutée et guidée dans ce vaste sujet qu'est la biologie synthétique.

Je tiens aussi à remercier mes camarades de classe pour leur soutien, leurs conseils et surtout leur bonne humeur, même à la veille du rendu.

2eme édition - septembre 2017

Mémoire de recherche professionnel présenté par
Alice Blot

Promotion 2016
Pôle Supérieur de Design - Villefontaine
**Diplôme Supérieur d'Arts Appliqués
option Design interactif**

PRÉFACE

J'aime le design. Et ce qui me fait profondément l'aimer, c'est son interdisciplinarité. Le design a cette singularité de pouvoir s'appropriier de nombreuses autres disciplines. Depuis que je fais des études dans le design, j'ai eu l'occasion de découvrir des domaines qui n'ont pourtant pas de liens apparents avec le design : anthropologie, transhumanisme, astronomie, biologie, etc. Et pourtant, leur association crée une synergie nouvelle. Cette appropriation est même nécessaire pour rester créatif, innovant et pertinent. C'est donc pour cela que j'ai choisi de placer la notion d'appropriation au centre de ma recherche. Cependant, pour appuyer ma réflexion il me fallait un cas d'appropriation récent et concret. En octobre 2014, je participais à l'iGEM, (*International Genetically Engineered Machine*), une compétition internationale de biologie synthétique organisée par le *Massachusetts Institute of Technology*, avec une équipe d'étudiants en école d'ingénieur. Lors de cette compétition, les participants reçoivent un kit de briques cellulaires, appelées biobricks, qu'ils doivent combiner avec d'autres briques qu'ils ont eux-mêmes conçus en laboratoire pour les faire fonctionner dans des cellules vivantes. Le but est donc de créer un être vivant unicellulaire capable de vivre et de se reproduire. Dans cette équipe j'ai réalisé les supports de communication : site web et infographie. Avant cette aventure, la biologie synthétique était pour moi un domaine assez obscur. Les seules informations grand public sur le sujet concernent les organismes génétiquement modifiés et le ton utilisé n'a rien de positif. Alors lorsque j'ai compris l'envers du décor et les possibilités infinies que nous offre la biologie synthétique je m'y suis de plus en plus intéressée. J'ai alors découvert les inspirants travaux de Carole Collet et de Alexandra Daisy Ginsberg, deux designers travaillant en collaboration avec des biologistes, et j'ai senti que la biologie synthétique avait sa place dans la pratique du design. J'avais mon cas d'appropriation.

TABLE DES MATIÈRES

—	Préface	7
—	Introduction	13

PARTIE 1 : **Pourquoi la biologie synthétique ?**

—	Les promesses	19
—	Les apports	21
—	Les limites	28

PARTIE 2 : **Quels rapports entre design & biologie synthétique ?**

—	Deux méthodes	31
—	L'appropriation	35
—	Méthodes d'appropriation	36
	Le designer comme traducteur :	
	La transmission	
	Le transfert	
	Le designer comme médiateur :	
	La sensibilisation	
	L'hybridation	
	La ponction	

PARTIE 3 :

Comment faciliter cette appropriation ?

— La vulgarisation	51
— Les biobricks	52
— La bio-informatique	54
— Études de cas : Processing et Github	58
— L'environnement technique	64

PARTIE 4 :

Quel environnement technique pour le design du vivant ?

— Un cadre : l'atelier d'initiation	51
— Un outil de création : le cellolab	52
— Une base de données : la cellothèque	54
— En quoi les limites sont-elles contournées ?	58
— Conclusion	70
— Sources	75
— Lexique	83

INTRODUCTION

En 2009, dans le cadre de l'iGEM*, une équipe d'étudiants de l'université de Cambridge a développé des bactéries capables de sécréter des pigments colorés, visibles à l'œil nu, grâce aux biobricks. Ces bactéries pourraient être programmées pour des applications concrètes : par exemple, au contact d'eau non potable, elles pourraient devenir rouge et donc prévenir de la toxicité de l'eau. Pour cette compétition, les designers Alexandra Daisy Ginsberg et James King ont collaboré avec l'équipe d'étudiants pour explorer le potentiel de la biologie synthétique. Ils ont imaginé les différentes façons dont *E. chromi* pourrait être utilisée au cours du siècle à venir¹. Ces scénarios incluent la nourriture, le dépôt de brevets, la médecine personnalisée, le terrorisme mais aussi la vie quotidienne. C'est dans ce cadre qu'ils ont imaginé le «*Scatalog*», un projet de design prospectif présentant un kit médical qui serait commercialisé en 2039. En effet, il serait alors plus simple et moins cher de surveiller les maladies directement de l'intérieur de nos corps. Les bactéries seraient ingérées comme un yaourt à boire afin de coloniser l'intestin. De cette endroit, elle produirait des pigments colorés servant de signaux d'alerte faciles à lire et incitant à aller voir son médecin.

¹ **Daisy Ginsberg** Alexandra, **King James** et l'équipe iGEM de l'université de Cambridge «*E. chromi*», 2009

Les mots avec un * sont définis dans le glossaire



Scatolog du projet E.chromi

Ce projet nous montre qu'il est possible de faire collaborer des biologistes synthétique et des designers. Il est d'ailleurs intéressant de voir que, pour imaginer ce kit, les designers ont dû s'appropriier le savoir de la biologie synthétique pour comprendre les tenants et aboutissants des bactéries créées. Afin de mieux comprendre pourquoi et comment le design pourrait s'approprier la biologie synthétique il est important de comprendre les singularités de ces deux domaines.

Qu'est ce que la biologie synthétique ?

Le terme de biologie synthétique fait son apparition en 1910 grâce au professeur Stéphane Leduc qui en définit deux objectifs : d'un côté **tester et améliorer notre compréhension des principes gouvernant la biologie** et de l'autre **construire de façon fiable des organismes accomplissant des fonctions biologiques complexes répondant à diverses applications**. Dès le début de la discipline on retrouve cette volonté de façonner des organismes. Il faudra cependant attendre 1973 pour que les deux chercheurs Américains, Stanley Cohen et Herbert Boyer produisent le premier organisme génétiquement modifié en laboratoire¹. S'ensuit alors une série de découvertes sur le fonctionnement du génome. Dans une volonté de simplifier le domaine, d'autres chercheurs, de l'université de Berkeley, entre 2000 et 2003, posent les bases de la biologie synthétique actuelle. Ils prônent une approche rationnelle inspirée des méthodes des sciences de l'ingénieur permettant la conception et la construction de systèmes biologiques stables. C'est en juin 2004 que le MIT signe l'acte de naissance de la biologie synthétique contemporaine avec la première conférence internationale de biologie synthétique. Durant cette conférence qui a réuni de nombreux chercheurs en biologie, en chimie, en physique, en ingénierie et en informatique, seront établis les objectifs à court et long termes de la biologie synthétique contemporaine². Aujourd'hui, la pluralité des définitions de la biologie synthétique montre à quel point ce domaine fait débat³. La biologie de synthèse a été définie

¹ Gene ABC. Fond national suisse, 2016, « *Histoire du gène - de 1665 à 1977* » [consulté le 18/11/2015]

² Cameron D. Ewen, Bashor Caleb J. and Collins James J. « *A brief history of synthetic biology* », Nature, may 2014, p. 381 - 384.

³ Site de l'Observation de la biologie synthétique, CNAM, 2016, « *Une pluralité de définitions* ». [consulté le 05/12/2016]

par le consortium européen Synbiology comme « *l'ingénierie de composants et systèmes biologiques qui n'existent pas dans la nature* » et la ré-ingénierie d'éléments biologiques existants. Elle porte maintenant plutôt sur la conception intentionnelle de systèmes biologiques artificiels, plutôt que sur la compréhension de la biologie naturelle.

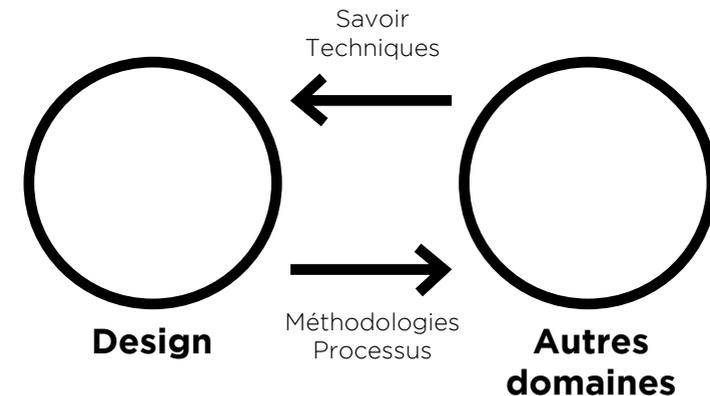
La biologie synthétique correspond à la conception puis réalisation de systèmes complexes biologiques nouveaux, dotés ou non, de fonction absentes dans la nature.

Qu'est-ce que le design ?

Il n'existe pas de définition unique et définitive au design car il se renouvelle continuellement. En effet, le design a la particularité d'être un domaine à caractère poreux. C'est-à-dire que, contrairement au caractère mixte d'un domaine, le design a un noyau dur mais que sa frontière est poreuse. Dans un sens, le design laisse passer le savoir et la technique d'autres domaines en son sein et de l'autre, elle apporte ses méthodologies et ses processus dans d'autres domaines. Un domaine à caractère mixte se mélangera avec d'autres domaines de manière homogène. Selon le site de l'AFD (Alliance Française des Designers), « *Le design est un processus intellectuel créatif, pluridisciplinaire et humaniste, dont le but est de traiter et d'apporter des solutions aux problématiques de tous les jours, petites et grandes, liées aux enjeux économiques, sociaux et environnementaux.* »¹ Au travers de cette définition

¹ Site web de l'Alliance Française des Designers. AFD 2016, « *Design, designers : définitions* » [consulté le 4/01/2016]

nous voyons que la pluridisciplinarité et l'interdisciplinarité font partie intégrante de la définition du design. Dans ce mémoire, nous nous intéresserons aux interactions que construit le design avec d'autres domaines en nous appuyant sur le cas de la biologie synthétique.



L'appropriation est au cœur de la pratique du design. En effet, le design est un domaine singulier dans son rapport aux autres domaines. Afin de rester créatif et de proposer des solutions pertinentes, le designer a besoin de s'approprier les domaines pour ou avec lesquels il travaille. Par exemple, s'il doit imaginer un dispositif de médiation pour un musée, il devra d'abord s'approprier le savoir afin de trouver le meilleur moyen de le transmettre.

Qu'est-ce que l'appropriation ?

L'appropriation est le fait de rendre quelque chose propre à soi. Dans le cas du design, l'appropriation de la biologie synthétique est lorsque la biologie synthétique devient le savoir du designer et que ce dernier s'en sert pour créer l'inattendu, l'inédit dans un projet. Ainsi, que ce soit un matériau, une méthodologie ou un outil, le design s'alimente de savoirs comme l'anthropologie ou l'informatique pour avoir de nouveaux matériaux ou méthodologies à expérimenter. Nous verrons dans le second chapitre qu'il existe plusieurs types d'appropriation.

L'appropriation :

- **Adapter quelque chose à un usage déterminé**
- **Rendre propre à soi**

Ainsi, d'un côté nous avons le design, un domaine interdisciplinaire créatif qui s'approprie le savoir d'autres domaines et de l'autre, la biologie synthétique, un domaine très prometteur offrant un nouveau matériau unique : le vivant. Alors, pourrait-on imaginer une nouvelle branche du design, au même titre que le design de produit ou le design de textile, qui mélangerait le design et la biologie synthétique ? Pourrait-on alors parler de design du vivant ? Afin de poser les bases du design du vivant, nous verrons quelles sont les opportunités des interactions entre le design et la biologie synthétique mais aussi leurs limites. Puis, au travers d'expérimentations, nous verrons comment améliorer l'appropriation de la biologie synthétique au travers d'un environnement technique adapté.

Partie 1 : Pourquoi la biologie synthétique ?

1.

Les promesses

Il existe un important imaginaire autour de la biologie synthétique. Un bon exemple serait le film *La mouche* de David Cronenberg qui présente l'histoire d'une erreur de manipulation génétique. Un homme se retrouve alors avec des gènes de mouche et une mouche des gènes humains. Mais la plupart de cette imaginaire nous parle d'importantes mutations générant de véritables créatures de Frankenstein. Quant aux médias, ils nous présentent la biologie synthétique comme une véritable révolution. Encensées ou redoutées, les promesses que nous offre la biologie synthétique sont nombreuses. Ces promesses couvrent plusieurs domaines en lien avec notre quotidien¹ comme le domaine de la santé. En voici quelques applications possibles: la biologie synthétique pourrait permettre de créer de nouveaux médicaments qui nous permettraient d'éradiquer la grippe ou le cancer. Grâce au séquençage ADN*, il sera possible de diagnostiquer des maladies le plus tôt possible afin de les soigner alors qu'elles ne se sont pas encore développées. C'est aussi ce séquençage ADN qui a permis de créer les thérapies géniques. Ce type de thérapie permet de soigner les maladies génétiques jusqu'alors impossibles à soigner. On pourrait ainsi reprogrammer tout notre microbiote* pour améliorer notre système immunitaire ou supprimer les maladies liées au transit. La biologie synthétique pourrait ainsi nous faire vivre plus longtemps, prévenir la vieillesse et nous faire rester physiquement

¹ Nivina Alksandra, Synthetic biology, InternetActu, Thierry Marcou, publié le 15/04/2014 « *Vers un design de la vie synthétique* ». [consulté le 15/09/2015]

intacts malgré l'âge. Un premier pas vers la disparition de la mort, tel est un des espoirs, voire mythe, de la biologie synthétique. Le domaine des énergies et performances écologique est aussi touché de près par la biologie synthétique. Dans un monde dominé par les énergies fossiles, elle apporte de nouvelles solutions énergétiques durables. La découverte de la biomasse* a permis de fabriquer de nouveaux types de carburants à partir d'algues ou de bactéries. Ces mêmes bactéries permettent de nettoyer nos sols, d'aider au recyclage en ingérant le plastique ou les matériaux que nous ne savons pas recycler entièrement. Elles permettent de fabriquer de nouveaux emballages entièrement biodégradables. En effet, l'agroalimentaire s'intéresse de plus en plus à la biologie synthétique car elle pourrait permettre de créer une nouvelle forme de nourriture contenant tous les nutriments nécessaires et ne polluant pas autant que la viande ou les cultures intensives. Pour finir, la biologie synthétique pourrait aussi permettre de grandes avancées concernant les technologies comme l'informatique avec les bio-capteurs* ou l'ordinateur à ADN. Face à toutes ces promesses, les entreprises privées sont les principales sources de financement dans la recherche de ce domaine. Ce qui n'est pas sans poser certains problèmes puisque ces entreprises ont moins de protocoles de sécurité à respecter que dans la recherche publique. Reprogrammer l'ADN touche notre identité au plus profond et pose de nombreuses questions éthiques. Est-on la même personne si notre ADN est modifié ? De plus, face à cet important imaginaire, il existe un grand écart entre ce qui pourrait arriver et ce qui arrive vraiment car actuellement, toutes ces promesses ne sont encore qu'à l'état d'hypothèses.

2. Accessibilité

La notion d'accessibilité en biologie synthétique est complexe. Elle n'a longtemps été réservée qu'aux spécialistes. Cependant, depuis les années 2000, nous observons plusieurs projets ayant pour but d'améliorer cette accessibilité. Tom Knight et ses collègues du MIT ont d'ailleurs pour mot d'ordre la standardisation des procédés¹. C'est-à-dire la volonté de normaliser la discipline en créant des procédés uniques et une mise en commun des connaissances. Grâce à ces chercheurs américains, la biologie synthétique devient de plus en plus accessible à un public élargi. C'est dans cette optique qu'a été créé par le MIT, l'iGEM, une compétition internationale de biologie synthétique². Le principe est simple : les participants reçoivent un kit de biobricks* qu'ils doivent combiner avec des biobricks qu'ils ont eux-mêmes conçus en laboratoire pour les faire fonctionner dans des cellules vivantes. L'iGEM se décline en deux catégories : undergraduate pour les personnes de moins de 23 ans et overgraduate pour les plus de 23 ans. Ainsi, de très jeunes étudiants ont la possibilité de créer du vivant encadré par l'iGEM.

Outre l'iGEM, l'accessibilité des techniques de biologie synthétique passent aussi par la création des biohackerspaces*. Un biohackerspace est un lieu de partage qui permet à n'importe qui de travailler sur des projets personnels ou collectifs autour

¹ Biologie de synthèse. Fondation Maison des Sciences de l'Homme, 2011 « *Technologies clés* ». [Consulté le 05/12/2015]

² Morin Lucile. « *Biobackers, l'internationale des savants fous* » Libération, publié le 9 novembre 2014.

du domaine de la biologie synthétique. En 1995 est créé le premier biohackerspace à Berlin. Mais à ce moment, ils restent très rares. Ce n'est qu'à partir de 2005 qu'ils ont commencé à se développer. En août 2014 a été créé « La Paillasse », le premier biohackerspace français¹. Ces lieux sont dédiés à la démocratisation de la technologie. Tout y est réalisé dans un cadre ouvert, open source*. Ce cadre permet la libre utilisation, modification et diffusion des documents expliquant les projets afin d'être utilisés par d'autres biohackerspaces ailleurs dans le monde mais aussi la libre utilisation des outils, des paillasses, du matériel et la présence d'experts. Ces lieux alternatifs proposent un nouveau paradigme de production déjà avancé par Marx dans sa théorie de socialisations des biens par l'appropriation des moyens de production et le partage de connaissance et qu'on retrouve de plus en plus depuis l'émergence de l'économie collaborative². En mettant à disposition un lieu, du matériel et des connaissances, n'importe quel citoyen peut venir produire lui-même ses biens. Ce nouveau modèle est à l'opposé du modèle traditionnel de l'industrie ou de la recherche qui était réservé aux spécialistes. Il existe 72 biohackerspaces dans le monde³, mais, en France, « la Paillasse » est le seul biohackerspace. C'est à partir de ces lieux que sont créés des cours de biologie synthétique. Ces cours, ouverts à tous, sont dispensés par des experts de grandes universités⁴.

L'accessibilité à la biologie synthétique se fait par l'intermédiaire des biohackerspaces et du concours de l'iGEM.

¹ Site web de La paillasse. La paillasse, 2015 « *Manifesto* ». [consulté le 12/09/2015]

² Marx et Engels. « *Manifeste du parti communiste* » Éditions le livre de poche, 1973, 110p.

³ Site web du mouvement diybio.org, 2015 « *Local* ». [consulté le 12/09/2015]

⁴ Site web d'HTGAA, bio.academany.org, 2016. [consulté le 25/01/2016]

Pourtant, cette accessibilité reste très limitée pour plusieurs raisons. Tout d'abord, des raisons de protocoles. Les biologistes doivent faire un plan d'expérimentation* avant de pouvoir avoir le matériel nécessaire. Ils passent donc parfois plus de temps dans leur bureau plutôt que dans un laboratoire. Ensuite, des raisons financières. Concernant l'iGEM, le coût du matériel nécessaire est très important. Entre l'inscription de l'équipe ainsi que de chacun des membres, le coût du matériel et des machines et les billets d'avion pour assister à la remise des prix qui a lieu à Boston, le coût total est de 10 000€ au minimum. Afin de couvrir tous ces coûts, les équipes doivent trouver des sponsors limitant ainsi drastiquement la participation de petites équipes avec peu de moyens. Les biohackerspaces, eux, doivent rentabiliser le coût des machines, du matériel et de l'équipement qui revient très cher. Dernier point et non des moindres, pour faire de la biologie en tout sécurité il faut être dans un environnement stérile afin de ne pas s'auto-contaminer ou de contaminer ses recherches avec des bactéries extérieures mais aussi pour ne pas décrédibiliser ses recherches. La recherche en biologie est régie par de nombreux protocoles de sécurité qui, s'ils ne sont pas respectés, remettent en cause les résultats des manipulations. La sécurité est une notion très importante et indispensable dans le travail du biologiste. Les laboratoires sont sécurisés : sas d'entrée, normes, protocoles de sécurité, marquage phosphorescent au sol, etc. Ainsi il est très compliqué et même dangereux de faire de la biologie synthétique hors d'un laboratoire. C'est pourquoi l'accessibilité reste très limitée même si, depuis quelques années, on ressent une volonté de la démocratiser. Afin que la biologie synthétique puisse devenir un nouveau terrain créatif, il faudrait trouver des lieux et modèles mis à disposition du savoir et des technologies de laboratoire. L'iGEM en est un, les biohackerspaces, d'autres.

3. Éthique et politique

Face à toutes ces promesses, de nombreuses dérives sont possibles : manipuler le vivant n'est pas un geste anodin. Le fait que l'homme soit désormais capable de créer de nouvelles formes de vie remet en cause le Dieu créateur des religions monothéistes. La biologie est devenue une biotechnologie : d'un domaine passif qui se contente de décrire et d'interpréter le vivant elle est devenue active, capable de transformer le vivant ou du moins, donner à sa transformation des outils et des méthodes, ce qui entraîne une prise de conscience importante des scientifiques mais aussi des médias, des décideurs politiques et du grand public. La biologie synthétique est un *pharmakon*¹. Ce terme vient du grec ancien et signifie qu'il est à la fois un remède et un poison. L'ambivalence de la biologie synthétique fait se questionner sur les solutions possibles pour limiter l'effet poison. Deux solutions se profilent : d'un côté nous avons les solutions éthiques qui sont liées au jugement, à la responsabilité du biologiste. De l'autre nous avons les solutions politiques qui sont liées à la loi, au droit.

Concernant les solutions éthiques il est difficile de les contrôler puisque le jugement et la responsabilité sont subjectifs et donc propres à chacun. À ce sujet, Jean-Pierre Sérís dans *La technique* signale qu'alors qu'un ingénieur est sous la responsabilité de son employeur, le biologiste n'a pas de compte à

¹ Stiegler Bernard. *Ars industrialis*, « *Pharmakon (pharmacologie)* ». [Consulté le 20/01/2016]

rendre à l'humanité¹. C'est à lui de se poser les bonnes questions et de respecter ses valeurs. Vient alors la notion de norme. Qu'est ce que la normativité du vivant ? Quelles sont les limites des modifications de l'ADN ? « Il est impossible de fixer des normes de la valeur vitale, comme de la valeur humaine. » Une vie n'est pas plus importante qu'une autre.

La question principale se pose sur la responsabilité du biologiste. Est-il responsable de l'organisme qu'il crée ? Ou bien est-ce le laboratoire ? Ou alors à la personne qui imaginera l'application de l'innovation dans la société ? Qui doit veiller à ce que les changements, que la biologie synthétique apporte, aillent dans le bon sens ? Responsabilité envers l'être qu'il a créé mais aussi envers les implications et les applications de ses recherches. Plusieurs conseils comme le CENH (Commission fédérale d'éthique pour la biotechnologie dans le domaine non humain)² se sont posés la question de la responsabilité du scientifique envers ce qu'il crée. Actuellement, la biologie synthétique ne permettant pas de créer des organismes complexes, ce conseil s'est focalisé sur le statut des micro-organismes*. Encore ici, plusieurs avis divergent. Un premier avis, le plus répandu est que les micro-organismes possèdent une valeur morale parce qu'ils sont vivants. Un second avis défend une approche pathocentriste : étant donné qu'on ne sait pas si les micro-organismes sont capables de percevoir un dommage, ils ne sont pas des êtres vivants auxquels il faut accorder une considération morale. Enfin, un dernier avis tout aussi minoritaire défend un point de vue anthropo-relationnel : c'est la relation à l'être humain qui confère aux micro-organismes une valeur morale.

¹ Sérís Jean-Pierre. « *La technique* » Éditions PUF, 2000. p.349, p.369, p.371.

² Site web de l'observatoire de la biologie synthétique, CNAM, 2016, « *Biologie synthétique : réflexions éthiques* ». [consulté le 05/12/2016]

Concernant les solutions politiques, plusieurs lois ont déjà été mises en place. Tout d'abord concernant la brevetabilité du vivant. Historiquement, la marchandisation du corps a toujours existé (conservation du sperme, transfusion de sang, transplantation d'organes). La loi bioéthique française de 1992¹ réaffirme la gratuité et l'anonymat du don d'organe. Le statut juridique du corps humain est maintenu : les principes de l'inviolabilité (« chacun a droit au respect de son corps ») et de l'indisponibilité font que le corps ne peut être considéré ou traité comme une marchandise. Autre texte, la « convention pour la protection des Droits de l'Homme et de la dignité de l'être humain à l'égard des applications de la biologie et de la médecine »² a déjà statué sur des points majeurs avant même qu'ils ne soient techniquement faisables. L'article 12 spécifie que les tests prédictifs de maladies génétiques ou permettant soit d'identifier le sujet comme porteur d'un gène responsable d'une maladie soit de détecter une prédisposition à une maladie ne seront autorisés qu'à des fins médicales. L'article 13 n'autorise les modifications sur le génome humain que pour des raisons préventives, diagnostiques ou thérapeutiques et seulement si elle n'a pas pour but d'introduire une modification dans le génome de la descendance. Ces mesures sont avant tout des mesures de précaution qui restreignent la manipulation du génome humain qu'à un usage purement médical et encadré. Ainsi, avant même que les techniques ne s'imposent d'elles même, elles feront débat au sein de la société. Globalement, en raison des nombreux rapports, la biologie synthétique est actuellement très encadrée. Le biologiste ne peut pas faire n'importe quoi. Avant de réaliser une expérimentation, il doit écrire un protocole

¹ Site web de l'assemblée nationale, Assemblée nationale, 2015, « *Bioéthique : une approche historique* ». [consulté le 12/01/2016]

² Site web du conseil de l'europe portail, COE, 2015, « Détails du traité n°164 ». [consulté le 5/01/2016]

détaillé des manipulations qu'il veut effectuer, appelé le plan d'expérimentation, puis faire la liste du matériel et des matériaux vivants dont il devra disposer. Ces documents devront être validés par le chef du laboratoire pour que le biologiste puisse avoir accès à ces ressources et l'autorisation d'effectuer l'expérimentation voulue. Et ce, afin de limiter au maximum les dérives possibles. L'évaluation des dérives potentielles en laboratoire se joue sur deux tableaux, la sécurité et la sûreté biologique, selon le rapport sur les enjeux de la biologie de synthèse publié par l'assemblée nationale le 15 février 2012¹. La sécurité biologique est l'ensemble des mesures et des pratiques visant à protéger les personnes et l'environnement des conséquences liées à l'infection, à l'intoxication ou à la dissémination de micro-organismes ou de toxines. Ensuite la sûreté biologique est l'ensemble des mesures et des pratiques visant à prévenir les risques de perte, de vol, de détournement de tout ou partie de micro-organismes ou de toxines dans le but de provoquer une maladie ou le décès d'êtres humains. Pour éviter les dérives, le biologiste doit pouvoir répondre à plusieurs questions concernant ses travaux : les caractéristiques du comportement peuvent-elles être prédites avec un degré de certitude qui autorise une estimation raisonnable des facteurs de risque ? Qu'arrive-t-il au réseau si une ou plusieurs briques changent de fonction ou arrêtent de travailler comme prévu ? Dans quelle mesure un circuit biologique est-il fiable ? Pourrait-il y avoir des événements ou des séries d'événements imprévus entraînant des décès, des blessures, des maladies professionnelles, des dommages à la propriété ou à l'environnement ? Mais, ici encore, notons que jusqu'à présent et malgré son évolution extrêmement rapide, ce sont les incertitudes et les inconnues qui dominent.

¹ Site de l'assemblée nationale, Assemblée nationale, 2015 « *Rapport sur les enjeux de la biologie de synthèse* », 15/02/2012. [consulté le 05/01/2016]

Pour conclure, afin que la biologie synthétique devienne un terrain créatif, il faudra que le designer prenne en compte l'éthique et la politique liées à ce domaine. L'appropriation de la biologie synthétique par le design semble compromise par une accessibilité limitée et des enjeux éthiques, politiques et économiques importants. Quelle relation interdisciplinaire existe-il entre la biologie synthétique et le design ?

Éthique = jugement et bon sens
Politique = Rapports et lois
Propriété intellectuelle = brevets

Partie 2 :

Quels rapports entre design & biologie synthétique ?

1.

Deux méthodes

Méthode scientifique <i>« A le monde comme objet »</i>	Méthode design <i>« A le monde comme projet »</i>
Observation d'un phénomène	Immersion/empathie
Questionnement	Frictions/insight
Hypothèse	Idéation
Recherche d'information	Veille
Expérimentation	Prototypage/ Expérimentation
Diffusion des résultats	Développement

La méthode scientifique

Il serait incorrect de dire qu'il existe une et unique méthode scientifique puisqu'il en existe plusieurs et que chacune a de nombreuses variantes. Une méthode scientifique désigne l'ensemble des étapes à respecter pour produire des connaissances scientifiques. Actuellement, la méthode la plus utilisée est la méthode hypothético-déductive, théorisée par le philosophe Roger Bacon puis par le docteur Claude Bernard. Elle se fait en étapes bien définies : pour commencer, le scientifique observe un phénomène qui lui fait se poser une question. De cette question il réfléchit à des solutions possibles qui sont appelées des hypothèses. Afin de ne pas chercher inutilement il va chercher si un autre scientifique s'est déjà posé cette question et s'il a trouvé une réponse. Si ce n'est pas le cas il met en place un protocole d'expérimentation afin de s'assurer que l'hypothèse ne puisse pas être invalidée. Cette méthode est itérative.

La méthode design

Tout comme dans le domaine scientifique, il existe de nombreuses méthodologies en design. La méthodologie la plus utilisée est le design thinking. Le design thinking, selon sa définition, est « un mode d'application des outils de conception utilisés par les designers pour résoudre une problématique d'innovation, par une approche multidisciplinaire centrée sur l'humain »¹. Formalisée par l'agence IDEO, elle est utilisée pour sensibiliser des métiers aux spécificités de l'approche design. Cette méthode reformule des méthodes antérieures déjà centrées sur l'utilisateur. Elle se divise en cinq étapes. La première étape est celle de la découverte. Le designer définit les objectifs du projet, analyse ce qui existe déjà. Puis, pour la deuxième étape qui est l'immersion, le designer part observer les usages. Il analyse le terrain et observe les usagers en utilisant divers outils empruntés à l'anthropologie. De cette immersion il en ressort les points d'entrées, les ruptures dans l'expérience de l'usager afin de commencer la troisième étape qui est l'idéation. Le designer imagine des idées pour répondre à ces points d'entrées. Puis, quatrième étape, le designer prototypise les idées les plus pertinentes afin de les tester sur le terrain en conditions réelles. Le prototypage est indispensable pour améliorer la solution et faire en sorte qu'elle réponde au mieux au problème soulevé. Puis, pour finir, la dernière étape est celle du développement. Généralement avec l'aide d'un technicien, le designer réalise le prototype afin de le déployer sur le terrain. Cette méthodologie montre bien la

¹ Scouarnec Aline, « *Management & Avenir* », Éditions Management Prospective, 02/2014, p.6.

diversité des activités du design ainsi que la dimension itérative de la démarche. Cependant, le design thinking est de plus en plus critiqué car trop axé thinking et pas assez dans l'action¹.

Les méthodes scientifiques et de design se ressemblent beaucoup au niveau des différentes étapes : Observation/immersion puis questionnement/insights pour ensuite imaginer des hypothèses/idées qu'on va tester dans le cadre d'expérimentations/prototypages. Pour finir on analyse les résultats que l'on va diffuser/développer. Un scientifique cherche à améliorer notre compréhension du monde, le designer cherche à « améliorer l'habitabilité »² du monde selon Alain Findeli. Dans les deux cas, le but se rapproche d'une pratique de création orientée vers le futur dans un but amélioratif. Le scientifique serait plutôt dans la théorie et le designer dans la pratique. Bien qu'en pratique, les rôles ne sont pas aussi éloignés. Concernant les différences entre les deux méthodes, alors qu'une expérimentation scientifique peut coûter très cher et prendre du temps, le prototypage est de plus en plus rapide et peu coûteux grâce aux imprimantes laser, 3D, Processing, etc. D'ailleurs le prototypage rapide fait désormais partie intégrante de la culture du design.

¹ Leac Jean-Pierre, 17/04/2015, Les cahiers de l'innovation, «*Vers la mort du design thinking ?*» [consulté le 18/12/2015]

² Vial Stéphane, « *Le design* », « Que sais-je ? », Éditions PUF, 2015. « *La fin ou le but du design est d'améliorer ou au moins de maintenir l'habitabilité du monde dans toutes ses dimensions* » Alain Findeli

L'expérimentation

L'expérimentation est un terme emprunté au vocabulaire scientifique. Dans ce cas, l'expérimentation sert à résoudre un problème. Elle s'insère dans la méthode hypothético-déductive et repose sur l'expérience et l'observation contrôlée par des moyens techniques pour permettre de réfuter ou de valider une hypothèse. Ainsi, le scientifique cherchera à répéter une manipulation en changeant légèrement une variable pour trouver le même résultat. Pourtant, en design, le sens du mot expérimentation a un tout autre sens. L'expérimentation est un processus ouvert qui permet de soulever et révéler des idées qui aboutiront ou non à un bien ou un service mais aussi de créer de nouvelles formes, de laisser ouvert des possibilités. Son but est d'avoir des résultats uniques et surprenants, contrairement au scientifique qui cherchera à avoir un résultat attendu. Lorsque le designer expérimente il cherche à dépasser ce qui est attendu, à aborder un matériau autrement alors que le scientifique cherchera à s'assurer que son hypothèse ne puisse pas être invalidée et en contrôler les résultats. L'expérimentation scientifique est une question de vérité et l'expérimentation en design une question de forme. C'est ce que Lysianne Léchat Hirt appelle la recherche-crétion¹. Ce type de recherche prends en compte autant les pratiques de design que les pratiques artistiques. La recherche-crétion est caractérisée par sa dimension expérimentale car elle peut expérimenter un sujet de manière plus libre que la recherche classique en créant elle-même ses propres outils et langages.

¹ Léchat Hirt Lysianne, « Recherche-crétion en design à plein régime : un constat, un manifeste, un programme », Sciences du design, 05/2015, n°1, p.35

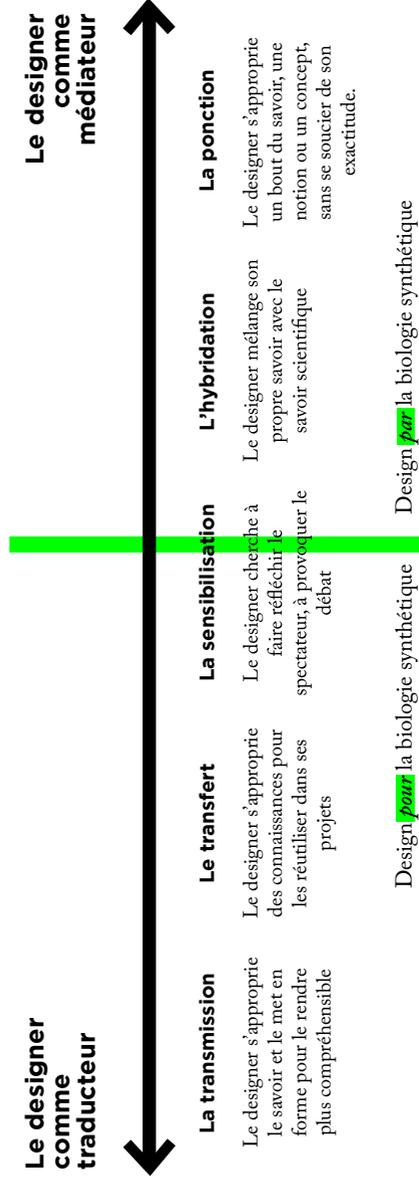
2. L'appropriation

L'appropriation est un terme qui a deux sens. D'un côté, c'est adapter quelque chose, ici la biologie, à un usage déterminé, ici le design. De l'autre, c'est rendre quelque chose propre à soi. C'est donc lorsque la biologie devient le savoir du design. Ces deux définitions se répondent puisque pour que le designer puisse rendre la biologie propre à sa pratique il doit l'adapter à son usage. Cette appropriation se situe à différents moments de la méthodologie. Elle peut se situer au début, lors de l'observation où le designer va s'immerger dans ce domaine pour en comprendre les enjeux et les concepts principaux. Elle peut aussi se situer dans l'idéation. Lorsque le design réfléchit à des solutions, il peut s'inspirer de procédés ou de matériaux utilisés en biologie. Dans la continuité il se servira encore de la biologie lors du prototypage. Pour le designer le fait de s'approprier la biologie c'est la faire changer de statut, c'est la transformer en matériau à part entière. Comme l'est le textile dans le cadre du design de mode. Cependant, s'approprier la biologie ne peut pas se faire n'importe comment. En plus d'en comprendre les notions et les procédés, le designer doit prendre en compte la sécurité biologique. La sécurité biologique est l'ensemble des règles et protocoles qu'il faut respecter pour mener à bien une expérimentation. Il est donc impossible pour un designer de faire de la biologie hors d'un laboratoire et sans protocole. En effet, s'il veut avoir accès au matériel nécessaire à ses expérimentations, il doit préalablement écrire un plan d'expérimentation et ainsi planifier ses manipulations à l'avance.

3. Méthodes d'appropriation

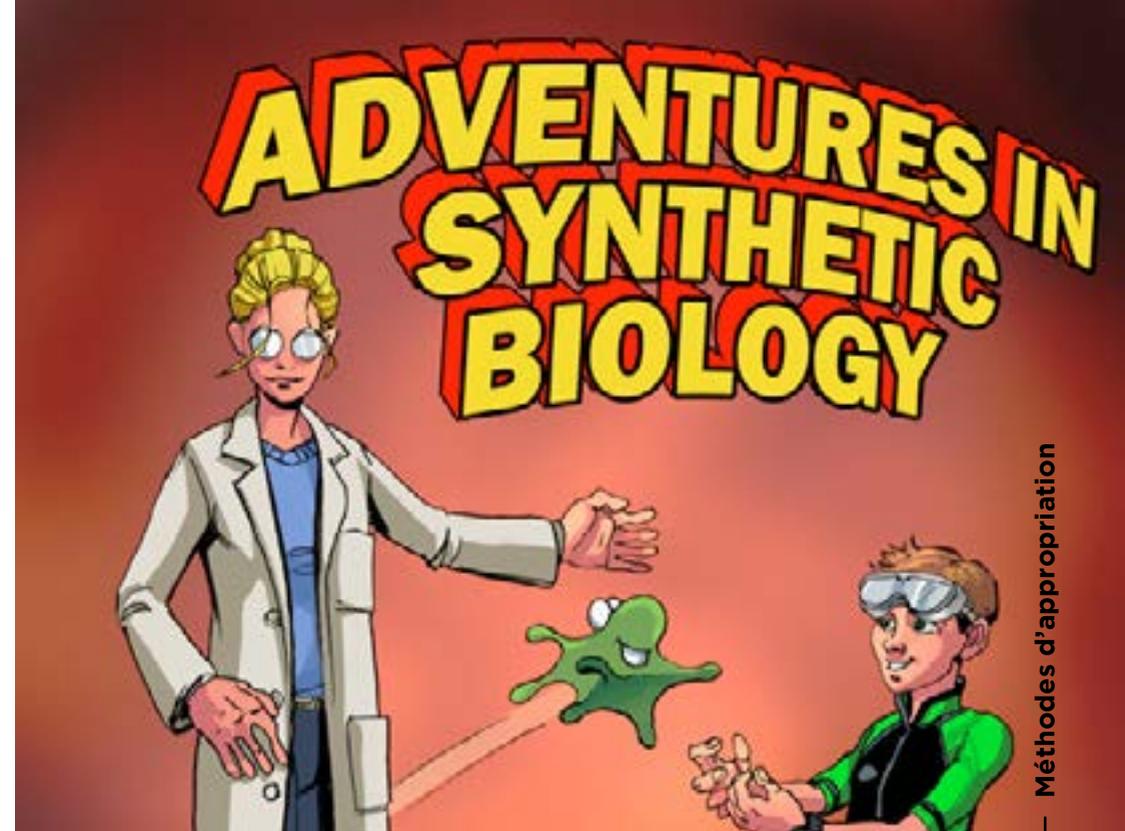
La biologie synthétique est un domaine en plein essor et plein de possibilités. C'est pourquoi elle semble être un très bon matériau pour le design. Il existe déjà quelques projets liants design et biologie synthétique et utilisant des méthodes différentes d'appropriation. C'est en se basant sur ces exemples que nous allons tenter de faire ressortir les méthodes d'appropriation principales. Dans un entretien de Lorenz Engell et Michael Cuntz avec Bruno Latour, ce dernier parle de la différence entre médiateur et intermédiaire. L'intermédiaire est celui qui transporte sans médiation alors que le médiateur est celui qui interrompt, modifie, détourne, transforme et fait émerger des choses différentes. Le langage commun utilise trop souvent le terme de médiateur à la place d'intermédiaire. Cependant, il n'existe pas de parfait intermédiaire puisque il est impossible de s'approprier un savoir sans le modifier un minimum. C'est donc pour cela que nous utiliserons le terme de traducteur à la place du terme d'intermédiaire. Nous placerons les différentes méthodes de médiation sur une échelle allant du designer comme traducteur au designer comme médiateur. Au fil des exemples, on remarquera que lorsque le designer agit comme un traducteur, il designe *pour* la biologie synthétique tandis que lorsqu'il agit comme médiateur il designe *par* la biologie synthétique qui devient un moyen d'expérimenter. On notera qu'actuellement, le designer agit le plus souvent comme un traducteur. Voici cinq méthodes d'appropriation utilisées dans cinq projets liant design et biologie synthétique. Ces méthodes ont des frontières floues car, dans même projet, le designer peut passer par plusieurs méthodes d'appropriation ou se placer entre deux d'entre elles.

Méthodes d'appropriation



Le designer comme traducteur : La transmission

La transmission est une méthode d'appropriation où le designer agit comme traducteur. Dans ce cas d'appropriation, la transmission est l'action de communiquer un message après l'avoir reçu. Le designer assimile le savoir puis le met en forme pour le communiquer. Suivant les objectifs de cette communication il adaptera la mise en forme du message. Parmi les types de transmission nous avons la vulgarisation. Vulgariser signifie mettre à la portée de toutes les intelligences des notions. C'est démocratiser, populariser un savoir. Pour vulgariser le designer agit comme un traducteur car il doit réussir à simplifier le savoir, l'organiser pour le rendre le plus accessible possible tout en gardant l'essence du savoir et donc sans le dénaturer. Il existe plusieurs finalités à la vulgarisation. Tout d'abord, la vulgarisation est indispensable pour former des citoyens éclairés et critiques. En effet, c'est en connaissant les bases de certaines notions polémiques que les citoyens pourront prendre le recul nécessaire sur des technologies comme la biologie synthétique. La vulgarisation est importante pour donner envie aux générations futures de se lancer dans une carrière scientifique et ainsi continuer à améliorer notre compréhension du monde tout en en comprenant les tenants et aboutissants. Mais la vulgarisation peut aussi n'être qu'un prétexte à faire des activités, rencontrer du monde, échanger autour de questions et préoccupations communes — et finalement à créer du lien social ? Dans le cas de la vulgarisation, le designer collabore étroitement avec le biologiste pour s'assurer de l'exactitude de ses propos mais aussi avec l'usager pour s'assurer de la compréhension des propos. Dans le cadre de cette appropriation le designer doit avant tout comprendre un savoir théorique avant de l'expérimenter.



Couverture de « *Adventures in synthetic biology* »

Exemple :

*Adventures in synthetic biology*¹ est une bande dessinée écrite par deux chercheurs au MIT Synthetic Biology Working Group, Drew Endy et Isadora Deese, et dessinée par Chuch Wadey. Cette bande dessinée publiée dans la revue Nature, explique les bases de la biologie synthétique. Ici, nous avons une vulgarisation car le savoir est mis en forme pour permettre une meilleure compréhension par des personnes qui n'auraient jamais fait de biologie synthétique.

¹ Endy Drew et Deese Isadora, « *Adventures in synthetic biology* », MIT Synthetic biology. Nature 438, 449 - 453 du 24/11/2005.

Le designer comme traducteur : Le transfert

La méthode du transfert est l'action d'utiliser une technologie dans un projet particulier. Lors du transfert, le designer s'approprie des connaissances scientifiques pour les réutiliser dans ses projets, sans les modifier. Le but est de donner à ses productions de nouvelles propriétés ou fonctions, que ce soit grâce à un nouveau matériau ou à un nouveau procédé. Le design a besoin de trouver de l'inspiration, des matériaux et procédés dans d'autres domaines. Il est donc normal que ce type d'appropriation soit le plus courant. L'appropriation du savoir se fait très différemment suivant le projet. Le designer pourra travailler en collaboration étroite avec un technicien et/ou un biologiste tout comme il pourra travailler seul en s'inspirant de son observation ou de ses lectures sur le sujet.



Prototype de l'amoeba shoe

Exemple :

*Amoeba Shoe*¹ est un prototype de chaussures réalisé par Shamees Aden qui utilise les recherches en protocellules pour créer une chaussure de sport intelligente qui s'adapterait automatiquement à la surface du terrain. L'étude des protocellules est très récente. Les protocellules sont des cellules créées à partir de liquides chimiques produites en laboratoire. Elles sont à la frontière du vivant et du non-vivant. Ici, la designer s'est appropriée la technique des protocellules en collaborant avec des chercheurs pour la transférer dans son projet de chaussure.

¹ Aden Shamees, « *Amoeba Shoe* », Exposition à l'espace fondation EDF « *En Vie, aux frontières du design* », du 26/04/2013 au 01/09/2013.

Le designer comme traducteur : La sensibilisation

La sensibilisation est le fait de rendre quelqu'un sensible, réceptif à quelque chose pour lequel il ne manifestait pas d'intérêt. En design, c'est une méthode de médiation utilisée pour poser des questions, faire réfléchir et provoquer le débat. Particulièrement dans la biologie synthétique où la notion d'éthique est très importante, il est indispensable de réfléchir aux implications des manipulations. Ici, le designer n'est pas obligé de comprendre tous les détails du domaine mais juste d'en saisir les enjeux. Pour se renseigner il peut interviewer des biologistes, des politiques, des citoyens. Il peut aussi faire des recherches par lui-même au travers de divers médias. Dans le cadre de la pratique du design, la sensibilisation peut passer par l'utilisation des méthodologies de design critique ou de design fiction. Ces formes de design cherchent à provoquer le débat autour d'une question plus ou moins polémique en imaginant puis en développant des biens ou des services pour un monde alternatif où cette question est omniprésente. Le but de cette méthodologie est, en quelque sorte, d'accompagner la technologie tout en prenant du recul sur cette dernière, ainsi que d'aider à prendre les bonnes décisions sur le long terme.

Exemple :

*Biolace*¹ est un projet de design critique créé par Carole Collet, une designer et enseignante-chercheuse à la Centrale Saint Martins School de Londres. *Biolace* est un projet situé en

¹ Collet Carole, « *Biolace* », Exposition à l'espace fondation EDF « *En Vie, aux frontières du design* », du 26/04/2013 au 01/09/2013.



Détail de « *Strawberry Noir* », plante fictive du projet « *Biolace* »

2050, dans un futur où la nourriture cultivée est améliorée et où la production durable est obligatoire pour une planète surpeuplée. *Biolace* propose d'utiliser la biologie synthétique pour reprogrammer les plantes et les transformer en usines multifonctionnelles. Ici, la plante produit à la fois des fraises noires pleines de nutriments ainsi que de la dentelle. Les plantes deviendraient des machines vivantes, ayant simplement besoin de soleil et d'eau pour être opérationnelles. Pour réaliser ce projet Carole Collet s'est inspirée des recherches actuelles et émergentes dans le domaine des technologies du vivant. Ce projet a pour but de sensibiliser le grand public au potentiel de la biologie synthétique ainsi que de réfléchir à ses conséquences. Qu'est-ce que cette plante engendrerait dans la société ? Peut-on se permettre de reprogrammer ainsi le vivant pour le rendre plus efficace ? Ici, la designer s'approprie le savoir pour ensuite imaginer une application ainsi que les implications. Grâce à ce projet, elle permet au spectateur de s'interroger sur la valeur du vivant ainsi que notre conception de l'agriculture.

Le designer comme médiateur : L'hybridation

L'hybridation est un mode de médiation où le savoir du designer se mélange au savoir scientifique pour créer un nouveau savoir hybride. L'hybridation permet la création de nouveaux procédés et matériaux. Comme le dit Samuel Bianchini, professeur à l'EnsadLab, « *Comme dans beaucoup de métiers, l'hybridation des savoirs et des savoir-faire sera un atout énorme pour proposer des créations à la mesure de la complexité de nos sociétés* »¹. L'hybridation se rapproche du transfert si ce n'est qu'elle va plus loin dans le mélange en intégrant le savoir à son propre savoir pour en créer un nouveau. L'appropriation se fait grâce à la collaboration avec des biologistes afin de pouvoir partir d'une base exacte concernant le savoir scientifique.

Exemple :

Lia Giraud² est photographe et vidéaste. Dans le cadre de son projet de diplôme à l'ENSAD elle s'est intéressée aux images et a voulu les considérer comme des organismes vivants à part entière qui naissent, se développent et s'évanouissent. Pour les représenter elle a utilisé des microalgues. Ces dernières se développent grâce à la lumière. Lia Giraud a donc, comme lorsqu'on développe une photographie, projeté plus ou moins de lumière sur une surface pour que les microalgues forment une image. Pour ce projet, Lia Giraud a travaillé avec Claude Yéprémian, un ingénieur travaillant au Muséum d'Histoire Naturelle, au département cyanobactéries, cyanotoxines et environnement. Il est aussi responsable de

¹ **Bianchini** Samuel, *Étapes*, mars/avril 2015, n°224, p.120.

² **Hallauer** Edith et **Côme** Tony, « *Algae Graphics* », Strabic, 29/06/2012.



Exemple d'une algae graphie et de son évolution dans le temps

l'Algothèque, une des rares collections vivantes contenant plusieurs centaines de microalgues. Ici l'appropriation s'est donc faite grâce à la collaboration du designer avec un micro-biologiste. Lia Giraud a replacé le processus de développement des algues dans un contexte qu'elle connaît et maîtrise : le développement photographique. Ici il y a hybridation entre les deux savoirs. D'un côté la designer s'approprie le savoir du biologiste pour réaliser des photographies avec des algues et de l'autre, le biologiste découvre des propriétés biologiques inattendues. Le design et la biologie se mélangent pour ne former plus qu'un seul savoir : l'algae graphie. Ici, il y a hybridation car Lia Giraud s'est approprié les notions liées à la culture de micro-algues pour les réutiliser dans sa pratique de la photographie. Parallèlement, Claude Yéprémian, grâce au projet de Lia Giraud, a pu découvrir de nouvelles propriétés aux micro-algues. Le savoir de la designer ainsi que du biologiste se sont assemblés pour former un nouveau savoir hybride.

Le designer comme médiateur : La ponction

Dans le cas de la ponction, le designer ne s'approprie qu'une partie du savoir, qu'un concept qu'il appliquera ensuite à son domaine. La ponction est l'acte consistant à pratiquer une ouverture étroite dans un tissu, un organe, pour en prélever un échantillon. En s'appropriant la biologie synthétique par la ponction, le designer va prélever un échantillon du savoir. Ici, l'exactitude scientifique ne compte pas puisque l'objectif est d'aboutir à un nouveau procédé ou un nouveau matériau non prémédité.

Le design génératif est une forme d'appropriation de la biologie par l'informatique puis le design. En effet, l'informatique s'est approprié le concept de génétique pour faire des algorithmes génétiques et le design s'est approprié ces algorithmes pour générer de nouveaux comportements et de nouvelles formes. Les algorithmes génétiques utilisent la notion de sélection naturelle et l'appliquent à un groupe de solutions potentielles à un problème donné. Un algorithme génétique va faire évoluer une population dans le but de trouver la réponse la plus adaptée en testant les solutions par groupe. Et c'est donc, à chaque génération, un ensemble d'individus qui sera mis en avant et non un individu particulier. Il permet d'obtenir un ensemble de solutions pour un problème et non une solution unique. Les solutions trouvées seront généralement différentes, mais seront d'une qualité équivalente. En design, ces algorithmes permettent de faire du design génératif. Le design génératif consiste à fabriquer un programme (généralement à partir de code) destinée à générer des formes dont on détermine le comportement. Le designer code ou fait coder un outil, lui donne des variables et des fonctions puis



Matériaux réalisés par David Benjamin grâce à des biofilms

le regarde produire et le corrige au besoin. Une fois l'outil produit, il peut être paramétré pour produire des résultats légèrement ou complètement différents. Les créations ne sont pas figées, finies mais en devenir et peuvent avoir un comportement inattendu si l'on ajoute une part de hasard.

Exemple :

Le projet de David Benjamin¹ entre dans cette logique. Cet architecte a étudié la manière donc les bactéries sont capable de fabriquer des biofilms*. En effet, les bactéries peuvent produire des substances aussi flexibles que du tissu et d'autres aussi dures que de la brique. Elles peuvent aussi générer des matériaux auto-organisés complexes. David Benjamin a donc combiné plusieurs bactéries génétiquement modifiées pour qu'elle génèrent des plaques de matériaux composées de parties rigides et d'autres flexibles. Ensuite, cette génération est modélisée avec un logiciel. Des milliers d'options de conception sont proposées en fonction des propriétés des bactéries. Le logiciel utilise des algorithmes génétiques. Ainsi, David Benjamin réalise un nouveau type de matériau novateur doté de propriétés uniques.

¹ Benjamin David, « Bio-computation », Exposition à l'espace fondation EDF « En Vie, aux frontières du design », du 26/04/2013 au 01/09/2013.

4. Bilan

De ces différentes méthodes d'appropriation nous pouvons distinguer deux tendances. D'un côté, lorsque le design agit comme traducteur et qu'il designe pour la biologie, il s'approprie le savoir pour apporter un nouveau point de vue à la discipline et ainsi améliorer la créativité des biologistes. Dans ce cas, le designer peut, grâce à la vulgarisation et la médiation susciter l'intérêt du grand public pour le domaine et en améliorer la compréhension par les non-scientifiques. Il peut aussi sensibiliser le grand public à ce domaine. D'un autre côté, lorsque le designer agit comme médiateur et qu'il designe par la biologie, il s'approprie le savoir pour avoir un rendu différent, pour expérimenter avec une nouvelle matière et pour utiliser des concepts qui ne sont pas propres dans son domaine. Dans ce cas, grâce à cette appropriation, le designer peut apporter des réponses originales et pertinentes à son propre domaine.

Même si l'appropriation de la biologie synthétique semble compliquée, nous venons de voir qu'il existe de nombreux projets et méthodes qui prouvent que cette appropriation n'est pas impossible. Alors comment pourrait-on faciliter l'appropriation de la biologie synthétique par le design ?

Partie 3 : Comment faciliter cette appropriation ?

Nous l'avons vu dans la première partie, la biologie synthétique est un domaine difficilement appropriable. Nous avons soulevé quatre contraintes limitant son accessibilité :

- un savoir complexe
- du matériel onéreux
- des protocoles de sécurité drastiques
- une réflexion éthique indispensable

Dans cette partie nous allons réfléchir aux moyens nous permettant de contourner ces contraintes.

1. **La vulgarisation**

La biologie synthétique est un domaine complexe difficilement accessible à des designers n'ayant aucune connaissance dans ce domaine. La vulgarisation est alors la première étape pour faciliter l'appropriation d'un savoir. Il est donc important que le designer comprenne les notions et procédés de ce domaine. Cette compréhension n'a pas besoin d'être experte car les objectifs du designer ne sont pas scientifiques. Dans la plupart des cas la collaboration avec des biologistes semble incontournable puisque le designer n'a pas pour prétention de remplacer le biologiste.

Première expérience de vulgarisation : **Make your cell**

Afin de me mettre dans la peau du designer du vivant, j'ai voulu m'approprier la biologie synthétique en designant pour la biologie. J'ai choisis d'utiliser la méthode d'appropriation de la transmission au travers d'un jeu de vulgarisation sous forme d'une interface tangible. Était projetée sur une table une cellule ainsi qu'un morceau de son ADN sous forme de gènes et de promoteurs. Mon but était de faire comprendre au joueur comment manipuler l'ADN d'une cellule afin d'en faire changer les caractéristiques.

C'est en réalisant ce jeu que je me suis rendue compte à quel point la biologie synthétique est complexe pour des personnes n'ayant jamais fait de biologie auparavant. L'appropriation passant par la compréhension, il est important de vulgariser le savoir avant d'en permettre l'appropriation.

Installation « Make your cell »



Make Your Cell

Modifiez l'ADN de votre cellule en créant le facteur de transcription adéquat.

Notre cellule est dotée d'un ADN composé comme ceci :

C A C A G G C C C A G C A T T C C M M G G A A P L T G C C C C M M M M M M M M M M M M C C C C T T C C M M M M C C A G C A T C A C C

↑

Promoteur qui active ou la réprime de l'expression du gène suivant en fonction du facteur de transcription que vous allez créer

↑

Séquence d'ADN cible en nucléotides - A, C, T et G

Activation de l'expression du gène suivant

Répression de l'expression du gène suivant

Par défaut, tous les gènes sont réprimés. Afin d'activer un gène de votre cellule vous devez créer un facteur de transcription à partir des briques disposées sur le table

Un facteur de transcription doit être formé de deux briques:

- Une brique bleu qui active le facteur de transcription si la condition est remplie
- La séquence d'ADN verte du promoteur cible sous forme de trois lettres

Votre objectif est de faire une cellule viable suivant le milieu que vous avez choisi au travers de votre facteur de transcription.

Règle du jeu

Notions

Tout d'abord le vivant a besoin d'énergie pour vivre : il faut donc le nourrir. Cette énergie est produite à partir de glucides. Il rejette ensuite des déchets qui seront, la plupart du temps réutilisés. Le vivant naît, se développe et meurt. Parfois il se renouvelle de lui-même. Mais surtout, lors de son développement, il se reproduit de manière totalement autonome. Ainsi, travailler sur du vivant change totalement la production : il suffit d'un organisme pour en fabriquer de nombreux autres qui se développeront d'eux mêmes. Cependant, cette croissance exponentielle a aussi ses dérives. Le vivant évolue de génération en génération grâce à la mutation de ses gènes*. Ces mutations peuvent être causées par plusieurs facteurs : les radiations (UV, rayon gamma), les erreurs durant la réplication de l'ADN (avant la mitose*), les agents chimiques (javel, white spirit), l'environnement (stress), la nutrition ou de la pollution. La biologie synthétique cherche à contrôler cette mutation car c'est grâce à elle que le biologiste peut modifier le génome d'organismes existants. Enfin, lorsqu'on parle de biologie synthétique on parle de micro-organismes et donc d'entités infiniment petites. Alors comment représenter quelque chose d'invisible à l'œil nu et donc d'abstrait ? Comment le replacer à échelle humaine ?

Notions clés du vivant :

- a besoin d'énergie
- a un cycle de vie (naît et meurt)
- se développe
- se reproduit de manière autonome
- évolue grâce à la mutation de ses gènes



Votre cellule est en forme. Elle pourra survivre dans un milieu à très basse température comme la banquise.

- La production d'énergie permet à la cellule de se réchauffer.
- La fluidification des membranes permet à la cellule de ne pas geler.

ADN de la cellule :

ATGAGTAACTGACAGCTGACAC	CGAG	GTGAGGCTGACAGCTGACAC	ATGAGTAACTGACAGCTGACAC	ATGAGTAACTGACAGCTGACAC
Energie de synthèse de l'ADN	Energie de fixation de l'énergie	stabilité de l'ADN	Energie de stabilisation des membranes	Energie d'interaction des membranes
Energie de fluidification des membranes	Energie de transport de l'énergie	Energie de transport de l'énergie	Energie de transport de l'énergie	Energie de transport de l'énergie

Facteur de transcription :



Interface lorsque le joueur déposait un promoteur et un facteur de transcription

Procédés

Concernant les procédés techniques¹, il en existe trois qui ont rendu possible la manipulation du génome :

- Les enzymes de restrictions* datant de 1970 puis de la technique CRISPR* permettent de copier et coller les gènes sur l'ADN.
- La PCR* (Réaction en Chaîne par Polymérase) datant de 1986 qui permet de multiplier un fragment donné d'ADN et donc d'en obtenir assez pour le manipuler
- Le séquençage de l'ADN qui date de 1975 qui permet de « lire » la séquence d'un brin d'ADN, et ainsi de « lire » des génomes entiers.

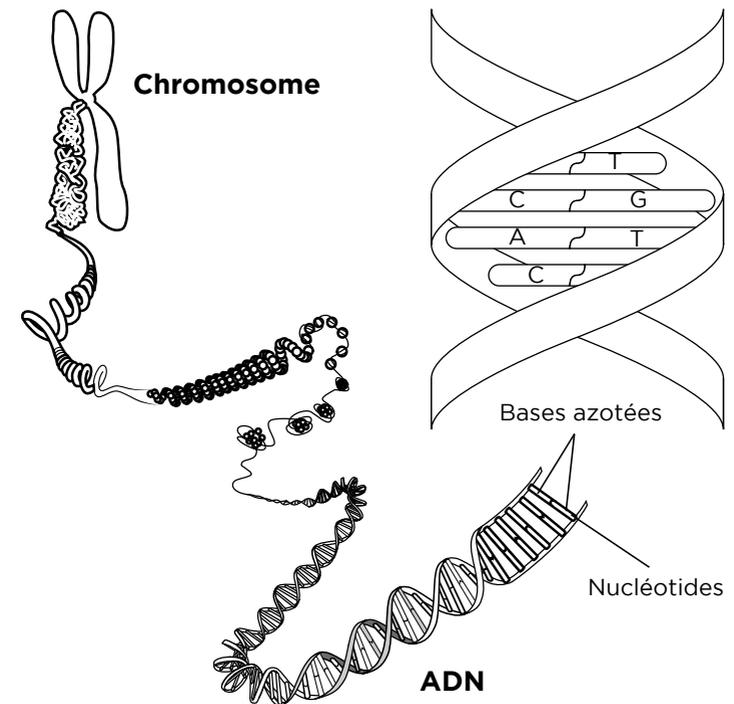
Cependant, pour faire un être vivant, il faut un châssis biologique dans lequel sera injecté le nouvel ADN. Ce châssis biologique se présente sous la forme d'une cellule vidée de son propre ADN.

Les procédés de modélisation sont aussi très importants car ils permettent de visualiser une molécule en 3D et donc de la représenter malgré sa taille microscopique. Et enfin, la dernière notion-clé qui régit toutes les avancées actuelles en biologie synthétique : la standardisation dont nous avons déjà parlé.

¹ Laurenceau Raphaël, 25/03/2015, Mediapart, « *La biologie synthétique, entre fantasmes et révolutions* ». [consulté le 7/01/2016]

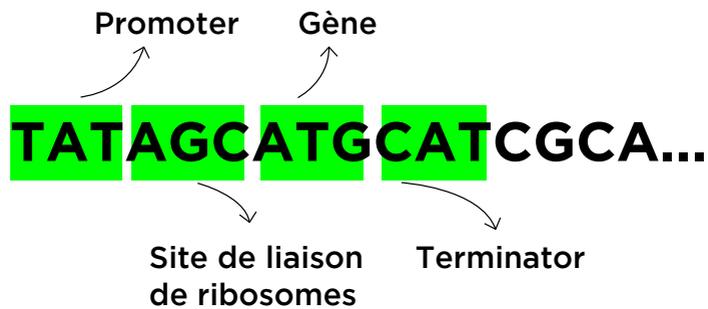
2. Les biobricks

La biologie synthétique concentre ses recherches sur l'ADN. L'Acide DésoxyriboNucléique, ou plus simplement ADN est une macro-molécule présente dans le noyau des cellules de tout organismes vivants. Elle est le support de l'information génétique, c'est à dire qu'elle porte des milliers de gènes sous la forme d'une succession de nucléotides. L'ADN est constitué de 4 nucléotides nommées **ACTG** pour adénine, Thyminine, cytosine et guanine.



Afin de rendre plus accessible la notion d'ADN et de nucléotides, j'ai basé mes recherches sur les biobricks, ces bouts standardisés d'ADN.

Dans l'ADN on retrouve plusieurs motifs qui correspondent à des briques. Chaque brique est composée de plusieurs parties : la brique commence toujours par le promoteur. C'est lui qui indique l'endroit où une nouvelle brique commence. Ce promoteur est sensible à un milieu, c'est à dire qu'il activera ou non la séquence qui suit. Ensuite, vient le RBS (site de liaison de ribosomes), lié au promoteur, il va plus ou moins activer le gène suivant si le milieu est présent en grande quantité, ou non. Après c'est le codage de la protéine, plus communément appelé le gène. Le gène est une unité d'hérédité contrôlant un caractère particulier. Et enfin, le terminator est le motif qui annonce la fin la brique.



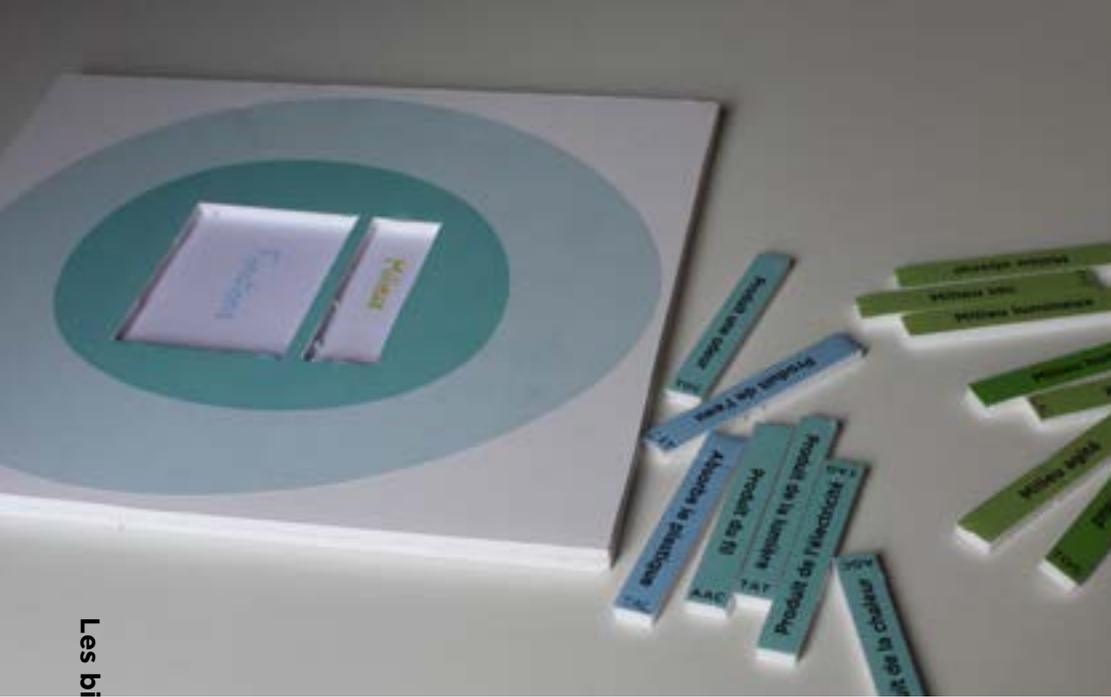
Cependant, ce découpage reste assez compliqué pour un néophyte. C'est pourquoi, avec l'aide d'une biologiste, j'ai tenté de simplifier la brique en ne gardant que le promoteur, renommé «milieu» et le gène que, renommé «fonction». À partir de cette mécanique j'ai réalisé deux expérimentations permettant une meilleure compréhension du milieu et de la fonction. Dans le cadre de ces expérimentation j'ai proposé un certain nombre



Première expérimentation : un jeu de cartes

de milieux et de fonctions n'étant pas réalistes scientifiquement mais permettant de mieux cerner les enjeux et d'imaginer les applications de ces briques.

La première expérimentation était un jeu de cartes. Malheureusement, la connotation lié au jeu n'était pas en accord avec ma vision de la biologie synthétique qui est loin d'être un jeu tant les répercussions sur notre quotidien sont importantes.



Seconde expérimentation : une maquette

Ma seconde expérimentation était une maquette de cellule avec son noyau. Dans ce noyau, on retrouve l'ADN et dans l'ADN, la brique. Le designer pourra alors choisir un milieu et des fonctions afin de donner de nouvelles fonctions à cette cellule. Par exemple, dans un milieu aqueux, la cellule produira de la lumière.

3. La bio-informatique

Un autre moyen de faciliter l'appropriation de la biologie synthétique en contournant la contrainte financière et de sécurité serait d'utiliser l'informatique pour simuler des manipulations génétiques. C'est pourquoi, la bio-informatique semble être une solution.

Il est courant de comparer la biologie synthétique d'aujourd'hui avec l'informatique d'il y a une vingtaine d'années. Il faut dire que ces deux domaines ne sont pas très éloignés. Tout d'abord, ils suivent un développement similaire du point de vue technique. L'informatique était très cher à son début, tout comme la biologie synthétique puis les prix ont considérablement baissés; selon la loi de Moore pour l'informatique et selon la courbe de Carlson* pour la biologie synthétique. Autre ressemblance, ils utilisent le même jargon scientifique : on parle de code génétique, de reprogrammer le vivant mais aussi d'algorithmes génétiques.

On observe les mêmes tendances dans les deux domaines comme l'open source qui est la volonté de ne poser aucun brevet sur ces découvertes ou comme le hacking. On observe aussi une compétition internationale féroce entre les laboratoires et les écoles. En effet, que ce soit dans la recherche universitaire ou dans l'industrie, il existe une course à l'innovation et au brevet importante. Mais alors la seule différence serait la matière utilisée ? L'informatique utilise des composants électroniques et la biologie synthétique des cellules ? La biologie synthétique et l'informatique sont des technologies autocatalytiques¹. Ce

¹ Marcou Thierry, 15/04/2014, InternetActu, « Vers un design de la vie synthétique ». [consulté le 25/08/2015]

mot, créé par Stewart Brand, signifie qu'elles sont à la base des autres technologies et qu'elles les font progresser. Il existe trois technologies autocatalytiques : les infotechs, les biotechs et les nanotechs.

Créer une vie artificielle est un objectif commun¹. Pour l'informatique cela concerne l'intelligence artificielle, une instance capable de communiquer et d'apprendre comme un humain. Pour la biologie synthétique cela concerne la création d'organismes vivants créés entièrement en laboratoire. La différence est que l'informatique cherche à simuler le vivant tandis que la biologie synthétique cherche à créer une véritable nouvelle version de celui-ci. Cependant, il existe une grande différence concernant les implications. L'informatique a des conséquences moins dangereuses sur nos vies que la biologie. D'ailleurs, ce premier domaine essaye de créer de la complexité et de nouvelles propriétés surprenantes et inattendues, « émergentes » selon le terme consacré, alors que la biologie synthétique veut agir de manière prévisible et contrôlable sur les systèmes vivants. Actuellement, il est très cher de réaliser une manipulation en biologie synthétique alors que pour coder il suffit d'avoir un ordinateur. Le rapport au temps est très intéressant dans ces deux domaines. En biologie, nous sommes souvent contraints par le temps : une cellule a besoin de temps pour se développer tout comme en informatique, certains programmes mettent du temps à s'exécuter. Mais dans les deux cas il existe des solutions pour accélérer ou ralentir le temps. Comme, par exemple, en ajoutant un paramètre comme le soleil ou l'oxygène pour la biologie, et une variable de temps pour l'informatique. Ce temps est aussi ponctué par les processus, le déroulement étapes par étapes qu'on retrouve dans les deux domaines.

¹ Sussan Rémi, 28/05/2013, InternetActu, « *L'avenir de la programmation : programmer le vivant* » [consulté le 25/08/2015]

Mais la ressemblance qui m'intéressera dans mes recherches est la volonté de créer des langages de haut niveau* pour permettre à quelqu'un de travailler sans connaître les détails de la discipline. Lorsqu'on poste un billet de blog nous n'avons pas besoin de savoir comment fonctionne un serveur, un client, les protocoles nécessaires et le langage PHP. Concernant la biologie synthétique il existe quelques logiciels et langages de programmation adaptés au vivant.

Voici un extrait du langage Kera :

```
Cell X = new Cell("E. Coli"); // On a une nouvelle cellule appelée "E.Coli"
X.compartment("nucleus"); // On cible le noyau de la cellule
X.selectgene("g1"); // On sélectionne le gène appelé "g1"
X.promoter("replace", "ACTGCTA"); // Un promoter va ajouter les bases azotées
```

On retrouve les variables et les paramètres du langage informatique de haut niveau. Au niveau des logiciels il en existe de nombreux plus ou moins officiels. Même Microsoft s'est lancé dans la course avec Visual GEC qui est un langage de programmation orienté objet où la cellule est un objet.

Mais dans ce cas, pourquoi les designers ne se sont-ils pas déjà emparés de ces langages et logiciels ? Le principal problème est qu'actuellement, la plupart des logiciels de ce type ne sont plus mis à jour pour des raisons de manque de financement, de temps, de clients et ceux qui restent ont de nombreux bugs. De plus, leur accessibilité est très restreinte car ce sont des logiciels très complexes dont la documentation et les tutoriels ne sont pas destinés à des débutants. Enfin, il n'existe pas d'équivalent au "hello world" du code informatique. Lorsqu'on débute dans un langage informatique, la première chose qu'on apprend est à afficher "Hello world". Ainsi, l'utilisateur peut saisir les bases de la syntaxe du langage. Il y a donc encore beaucoup à faire dans ce domaine.

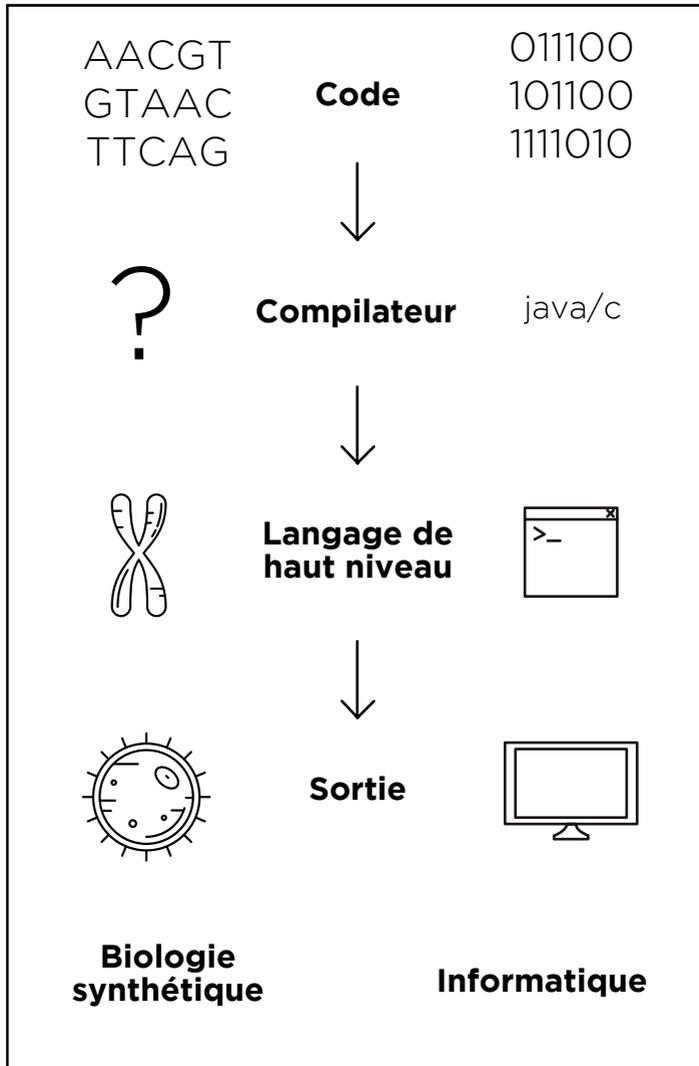


Schéma comparant l'informatique et la biologie synthétique. On peut remarquer qu'il n'existe pas (encore ?) d'équivalent au compilateur dont le rôle est de transformer le code machine (le binaire) en langage de haut niveau.

4. Études de cas : processing

*Processing*¹ est un langage de programmation de haut niveau créé en 2001 par Casey Reas et Ben Fry, deux chercheurs en informatique au MIT Media Lab. Il a été inspiré par « *Design by numbers* », un langage de programmation simplifié créé par John Maeda, lui aussi chercheur au MIT Media Lab. *Processing* a entièrement été imaginé par et pour des designers. Comment et pourquoi *Processing* est un outil adapté à l'usage du design ?

Les designers ayant l'habitude d'utiliser des outils graphiques, *Processing* permet une visualisation rapide du code. Son interface est épurée et met en avant deux boutons : *play* qui permet de visualiser son code, *stop* qui permet de stopper la visualisation. Le vocabulaire des fonctions est simple et permet de remplacer les termes informatiques comme *sketchbook*. Dans *Processing*, ce terme définit l'espace où on code. En design, ce terme définit un carnet dans lequel on fait des croquis.

La syntaxe de *Processing* est très proche des autres langages de programmation mais s'en distingue par sa forme simplifiée. Elle propose de nombreuses formules pré-faites comme la fonction *map()* qui permet d'effectuer un calcul en croix en continu. En créant cette syntaxe commune aux autres langages, Ben Fry et Casey Reas espéraient que l'apprentissage de *Processing* pourrait susciter l'intérêt des designers pour d'autres langages comme par exemple Javascript. *Processing* a aussi l'avantage d'être rapide à apprendre grâce aux nombreux exemples et tutoriels. Cette accessibilité permet aux designers de tester

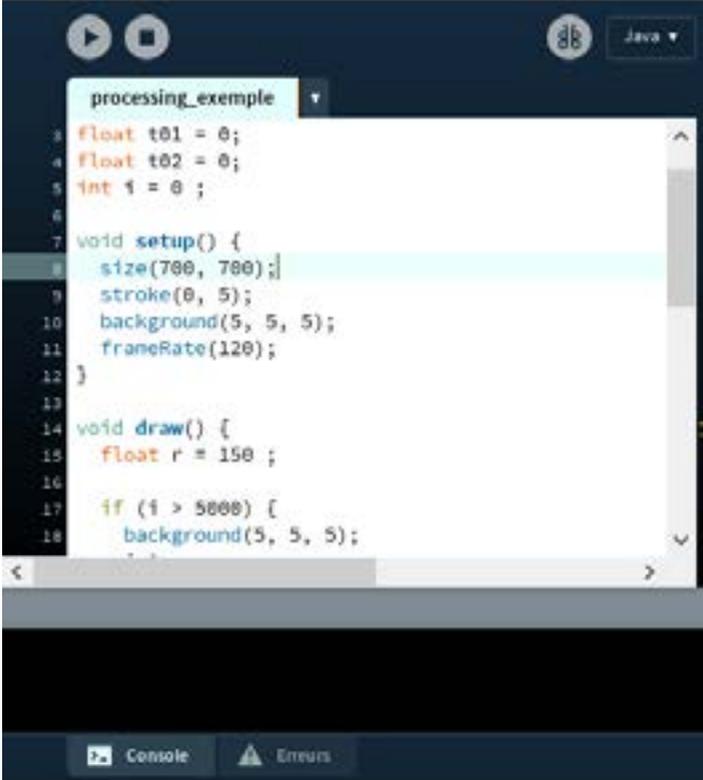
¹ Reas Casey et Fry Ben, « *Processing: programming for the media arts* ». AI & SOCIETY, Volume 20, Issue 4, p. 526-538.

rapidement leurs idées sans pour autant avoir une connaissance approfondie du domaine. Il permet ainsi de prototyper une idée en partant d'un exemple ou en codant soi-même. Les nombreuses bibliothèques additionnelles rendent *Processing* ouvert et adaptable à toutes sortes de projets mobilisant d'autres technologies, logicielles ou matérielles : kinect, *Arduino*, PDF, etc. *Processing* est l'outil idéal pour expérimenter facilement avec une visualisation de son code rapide. Le code devient un médium de création au même titre que le cinéma ou la photographie. Le code peut lui aussi engendrer des sentiments, des émotions, des gestes et des comportements. Il peut simuler le réel et intégrer d'autres médias comme la vidéo, le son ou le texte.

Aujourd'hui, la firme *Adobe* domine le marché du logiciel pour le design. *Processing* propose une alternative gratuite à ce monopole. En plus d'être gratuit, *Processing* est open source et donc n'importe qui peut modifier ou améliorer le code source du projet, ou créer de nouvelles bibliothèques. Derrière *Processing* il y a une grande communauté qui encourage le partage du code. La communauté est aussi très active en ce qui concerne la traduction de l'éditeur de code et de la documentation en de nombreux langages comme le chinois ou l'espagnol.

De cette étude de cas, nous pouvons retenir que *Processing* est une étape importante vers une meilleure appropriation du savoir informatique par des non-experts. Il est doté de plusieurs niveaux de complexité : un débutant ne connaissant pas grand chose au domaine ainsi qu'un expert peuvent s'y retrouver. Il est aussi très facile de trouver de l'aide puisqu'il existe une importante documentation, des tutoriels ainsi qu'une grande communauté pour améliorer et faire connaître ce langage. Au-delà de *Processing* il existe de nombreux autres langages informatiques qui facilitent l'appropriation de l'informatique comme *Scratch*, un langage de programmation visuel conçu pour les enfants. Cette volonté de créer un environnement technique existe aussi

dans d'autres domaines comme l'électronique avec *Arduino*, une carte électronique facilement programmable grâce à *Processing*. Dans le cas de la biologie synthétique il n'existe pas d'équivalents à *Processing*, *Arduino* ou *Scratch*. L'outil qui s'en rapprocherait le plus sont les biobricks dont nous avons parlé dans la partie sur l'accessibilité.



```

processing_exemple
1 float t01 = 0;
2 float t02 = 0;
3 int i = 0 ;
4
5
6
7 void setup() {
8   size(700, 700);
9   stroke(0, 5);
10  background(5, 5, 5);
11  frameRate(120);
12 }
13
14 void draw() {
15   float r = 150 ;
16
17   if (i > 5000) {
18     background(5, 5, 5);

```

Interface de l'éditeur de code *Processing* (Version 3.0.1)

5. L'environnement technique

Nous avons vu que la biologie synthétique reste un domaine encore peu accessible par la complexité du savoir théorique et pratique mais aussi par le cadre et les protocoles qui entourent l'expérimentation. La vulgarisation et la bio-informatique semblent être des solutions pour faciliter l'appropriation de la biologie synthétique. Une réponse regroupant ces deux solutions serait de mettre en place un environnement technique spécifique, propice à l'appropriation créative. L'environnement technique est un terme qui comprend les moyens par lesquels la biologie synthétique peut être représentée, appréhendée, travaillée et utilisée. Il inclut le savoir, les codes et langages pour nommer et rendre intelligible les phénomènes. Il inclut aussi les instruments et les outils. Gilbert Simondon¹ définit l'outil comme un moyen qui provoque des effets sur le monde. Il distingue l'outil de l'instrument qui, lui, permet de percevoir par les sens voire d'augmenter cette perception. Cependant, un outil peut aussi être un instrument en fonction de l'usage. Il semble important de comprendre comment un tel environnement peut s'adapter à l'usage du design du vivant.

¹ Simondon Gilbert, « *L'invention dans les techniques - cours et conférences* », Éditions du seuil, 2005, p.88

Partie 4 : Quel environnement technique pour le design du vivant ?

1. Un cadre : l'atelier d'initiation

Nous avons vu que le design du vivant présente quatre principales contraintes : un savoir complexe, du matériel onéreux, de nombreux protocoles de sécurité et des soucis éthiques. Au travers de ce projet, j'ai tenté de contourner ces différentes contraintes afin de permettre aux designers de s'approprier la biologie synthétique. La création d'un atelier de sensibilisation au design du vivant pour les designers. L'objectif est de donner aux designers les clés pour faire du design du vivant en sécurité. En effet, l'atelier permet de présenter toutes les possibilités de la biologie synthétique grâce à des exemples. Ensuite, en débattant autour de ces exemples, il permet de prendre conscience des enjeux importants, tant financiers, technologiques ou éthiques, qui entourent cette discipline. Pour permettre aux designers d'expérimenter en sécurité j'ai imaginé deux outils : le cellolab qui permet de créer et la cellothèque qui permet de les répertorier.

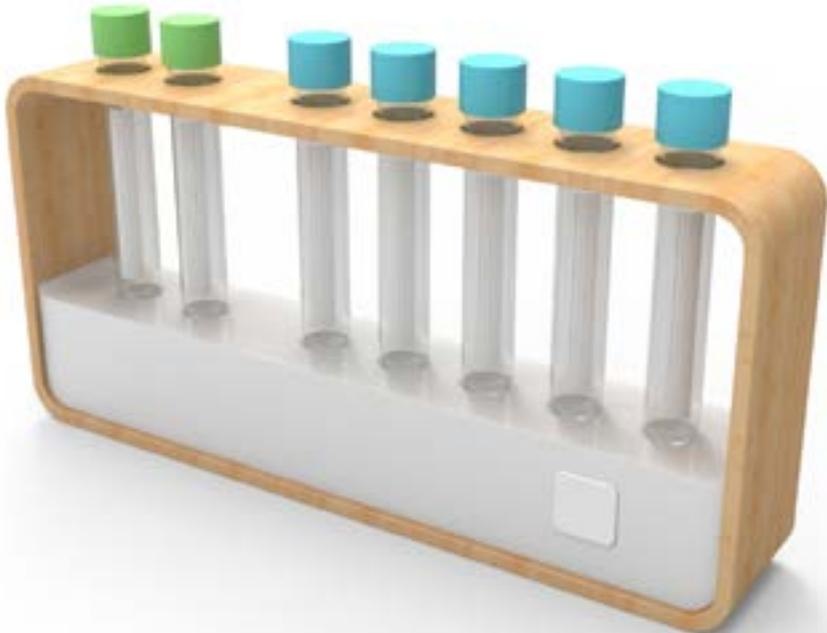
Contraintes :

- **Savoir complexe**
- **Matériel onéreux**
- **Protocoles de sécurité**
- **Éthique**

2. Un outil de création : le cellolab

Le cellolab est un outil utilisé seulement dans le cadre d'ateliers de sensibilisation. Il se présente sous la forme d'un support à tubes à essai relié à une application. Le choix de créer un objet tangible est lié à la volonté de sacrifier le contenu. En effet, le numérique peut rendre les enjeux quelques peu abstrait tandis que l'objet fait prendre conscience au designer qu'il a la responsabilité de l'organisme vivant qu'il va créer. Le fonctionnement du CelloLab est basé sur le fonctionnement des biobricks expliqué précédemment.

Modélisation 3D du cellolab



Maquette du cellolab

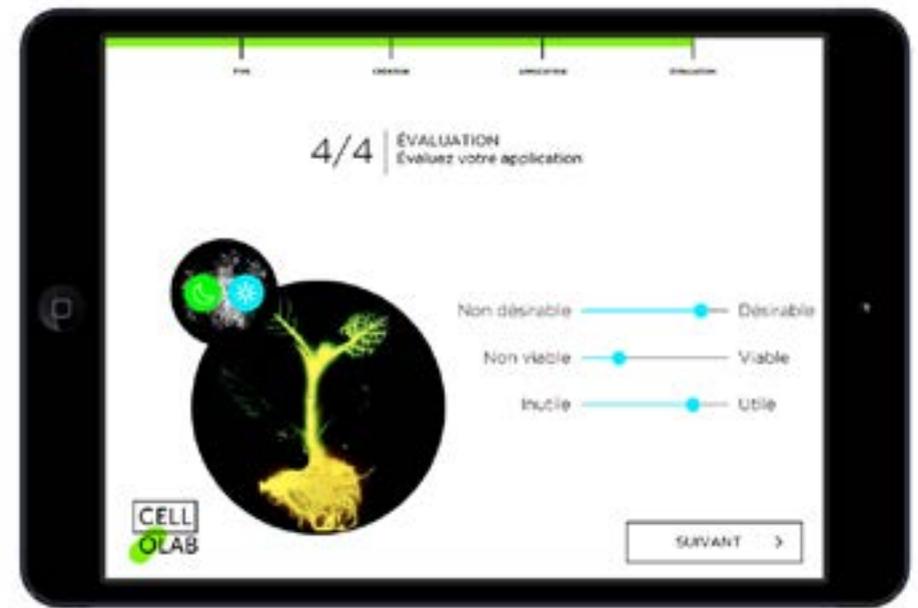
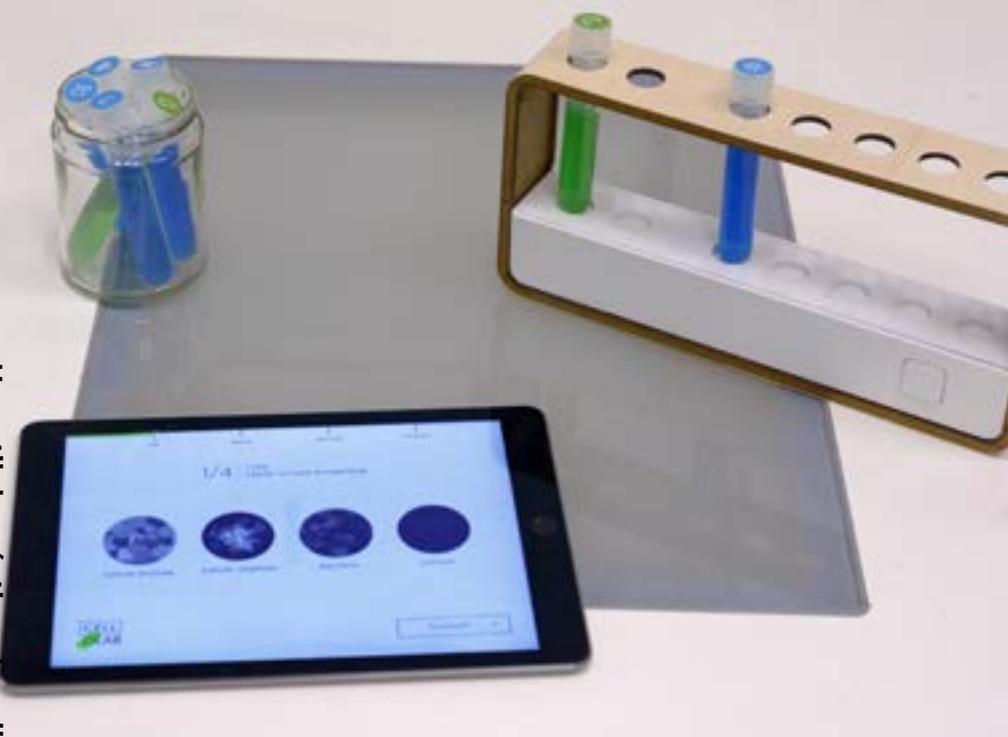
Pour créer une cellule grâce au CelloLab, le designer doit suivre 4 étapes :

Étape 1

Sur l'application, le designer choisit le type de cellule qu'il veut utiliser (cellule animale, cellule végétale, bactérie ou levure) puis il clique sur «suivant».

Étape 2

Afin de choisir le milieu et la ou les fonctions qu'il veut attribué à sa cellule, le designer dispose les tubes à essais correspondant sur le support puis appuis sur le bouton permettant la synchronisation. Les tubes à essai verts correspondent au milieu et les bleus correspondent aux fonctions.



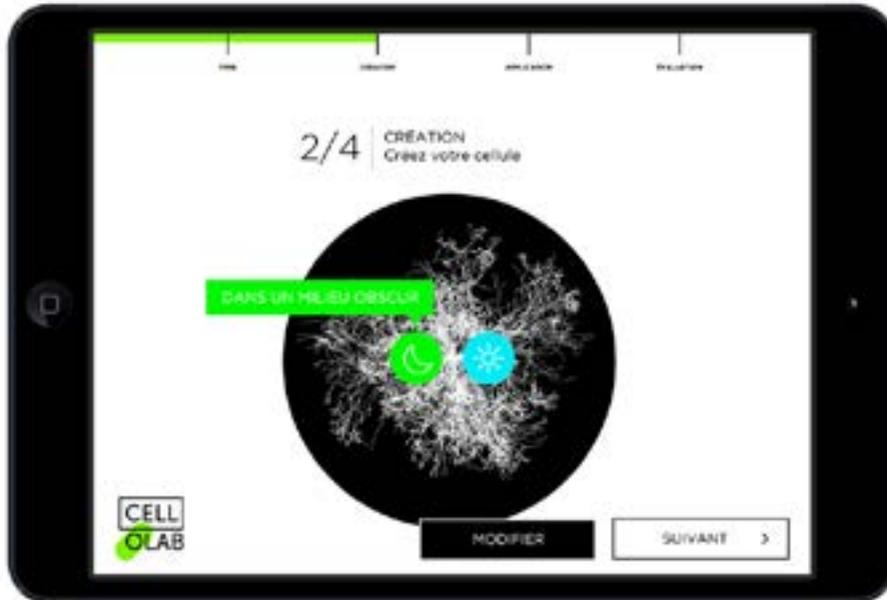
Interface de l'application - étape 4

Étape 3

Sur l'application, le designer propose un nom à son organisme ainsi qu'une application concrète et clique sur «suivant».

Étape 4

Sur l'application il note sa propre application sur trois critères : désirabilité, utilité et viabilité. Il n'a ensuite plus qu'à valider son organisme pour l'envoyer sur la cellothèque.



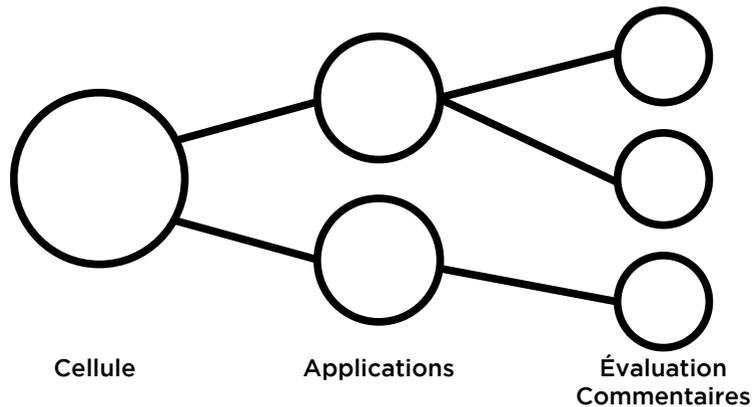
Interface de l'application - étape 2

3. Une base de donnée : la cellothèque

La cellothèque est une base de donnée sur internet consultable par tout le monde cependant, seules les personnes ayant déjà participé à un atelier peuvent évaluer les applications des organismes existants. La cellothèque est une base de donnée contributive qui s'enrichit grâce aux participants des ateliers. Elle reprends l'esprit open source car aucuns brevet n'est déposé sur ces cellules et leurs applications.

Objectifs de la Cellothèque :

- Consultable par tous
- Open source
- Prise en compte de l'éthique



Architecture de la cellothèque. Chaque cellule a plusieurs applications qui sont évaluées et commentées par les utilisateurs.



Interface de la cellothèque : écran d'accueil



Interface de la cellothèque : application

4. En quoi cet atelier contourne les limites ?

La création de cet atelier permet de contourner les quatre principales contraintes vues précédemment. Tout d'abord, grâce à la vulgarisation et à l'utilisation des biobricks, le designer n'a pas besoin de connaître tous les détails théoriques et pratiques de la biologie synthétique. Ensuite, en proposant une simulation de création d'organismes, le designer n'a pas à se soucier du matériel onéreux ainsi que des protocoles de sécurité. La simulation permet de créer des organismes vivant en sécurité. Et enfin, la pratique encadrée, les débats entre pairs et l'évaluation des différentes applications permettent aux designers de comprendre tous les enjeux et d'avoir le recul nécessaire pour ensuite continuer leur réflexion par eux-mêmes après l'atelier.

CONCLUSION

De part ses échanges avec de nombreux domaines et notamment les sciences le design est un domaine à caractères poreux. C'est à dire que dans un sens, le design laisse passer le savoir et la technique d'autres domaines en son sein et de l'autre, il apporte ses méthodologies et ses processus dans d'autres domaines. Dans mes recherches je me suis intéressée au cas de la biologie synthétique et j'ai réfléchi à comment le design pourrait s'approprier ce domaine. La biologie synthétique est un domaine qui présente de nombreuses promesses notamment dans les domaines de la santé, de l'énergie ou de l'écologie. Cependant, ce domaine n'est pas accessible à tous. En effet, il est composé d'un savoir complexe et demande l'utilisation de matériels onéreux. De plus, manipuler du vivant demande le suivi de nombreux protocoles de sécurité et une responsabilité éthique. Dans le cadre de ma recherche j'ai tenté de contourner ces contraintes par la création d'un atelier de sensibilisation destiné aux designers. À terme les designers pourraient créer eux-mêmes des organismes vivants en collaboration avec des biologistes. j'ai alors imaginé la création d'un nouveau champ du design : le design du vivant. Le design du vivant est la conception puis la réalisation de systèmes biologiques afin d'apporter des solutions aux problématiques de tous les jours liées aux enjeux économiques, sociaux et environnementaux. Le designer du vivant aurait plusieurs missions : imaginer des cellules avec des fonctions correspondant aux besoins d'un client, proposer une application nouvelle à une cellule, remettre en cause une application pour des raisons éthiques. À terme nous pouvons aussi imaginer une suite de

logiciels à la manière de la suite Adobe qui permettrait la création de cellules et d'applications. Ces logiciels pourraient devenir un nouveau support d'exploration créative. Le design du vivant pourrait permettre de nouvelles collaborations, le développement de produits innovants, l'imagination de nouvelles applications, le développement de médiations techniques pour une meilleure accessibilité.

SOURCES

Webographie

- Site web de l'Alliance Française des Designers. AFD 2016, « *Design, designers : définitions* ». [consulté le 4/01/2016]
Disponible sur : <http://www.alliance-francaise-des-designers.org/definition-du-design.html>
- Gene ABC. Fond national suisse, 2016, « *Histoire du gène - de 1665 à 1977* ». [consulté le 18/11/2015]
Disponible sur : <http://www.gene-abc.ch/fr/histoire-du-gene/histoire-du-gene-de-1665-a-1977/>
- Site de l'Observation de la biologie synthétique, CNAM, 2016. « *Une pluralité de définitions* ». [consulté le 05/12/2016]
Disponible sur : <http://biologie-synthese.cnam.fr/une-definition-en-debat/une-pluralite-de-definitions-601034.kjsp> et « *Biologie synthétique : réflexions éthiques* ». [consulté le 05/12/2016]
Disponible sur : <http://biologie-synthese.cnam.fr/rapports-/biologie-synthetique-reflexions-ethiques-520895.kjsp>
- Biologie de synthèse. Fondation Maison des Sciences de l'Homme, 2011 « *Technologies clés* ». [Consulté le 05/12/2015]
Disponible sur : <http://www.biologie-de-synthese.fr/fr/tech-cle.html>
- Site web de La paillasse. La paillasse, 2015 « *Manifesto* ». [consulté le 12/09/2015]
Disponible sur : <http://lapaillasse.org/manifesto/>

— Site web du mouvement diybio.org, 2015 « *Local* ». [consulté le 12/09/2015]

Disponible sur : <http://diybio.org/local/>

— Site web de l'assemblée nationale, Assemblée nationale, 2015,

« *Bioéthique : une approche historique* ». [consulté le 12/01/2016]

Disponible sur : <http://www.assemblee-nationale.fr/11/dossiers/bioethique-2.asp>

« *Rapport sur les enjeux de la biologie de synthèse* », 15/02/2012.

[consulté le 05/01/2016]

Disponible sur : <http://www.assemblee-nationale.fr/13/rap-off/i4354.asp>

— Site web du conseil de l'europe portail, COE, 2015, « *Détails du traité n°164* ». [consulté le 5/01/2016]

Disponible sur : <http://www.coe.int/fr/web/conventions/full-list/-/conventions/treaty/164>

— Site web d'HTGAA, bio.academany.org, 2016. [consulté le 25/01/2016]

Disponible sur : <http://bio.academany.org>

— Site web de l'iGEM, 2016. [Consulté le 26/01/2016]

Disponible sur : <https://www.igem.org/>

Articles web

— **Morin** Lucile. « *Biohackers, l'internationale des savants fous* » Libération, publié le 9 novembre 2014.

Disponible sur : http://www.liberation.fr/futurs/2014/11/09/l-internationale-des-savants-fous_1139780

— **Nivina** Alksandra, Synthetic biology, InternetActu, **Marcou** Thierry, publié le 15/04/2014 « *Vers un design de la vie synthétique* ». [consulté le 15/09/2015]

Disponible sur : <http://www.internetactu.net/2014/04/15/vers-un-design-de-la-vie-synthetique/>

— **Laurenceau** Raphaël, 25/03/2015, Mediapart, « *La biologie synthétique, entre fantasmes et révolutions* ». [consulté le 7/01/2016]

Disponible sur : <https://blogs.mediapart.fr/raphael-laurenceau/blog/240315/la-biologie-synthetique-entre-fantasmes-et-revolutions-14>

— **Marcou** Thierry, 15/04/2014, InternetActu, « *Vers un design de la vie synthétique* ». [consulté le 25/08/2015]

Disponible sur : <http://www.internetactu.net/2014/04/15/vers-un-design-de-la-vie-synthetique/>

— **Sussan** Rémi, 28/05/2013, InternetActu, « *L'avenir de la programmation : programmer le vivant* » [consulté le 25/08/2015]

Disponible sur : <http://www.internetactu.net/2013/05/28/lavenir-de-la-programmation-56-programmer-le-vivant/>

— **Leac** Jean-Pierre, 17/04/2015, Les cahiers de l'innovation, « *Vers la mort du design thinking ?* » [consulté le 18/12/2015]

Disponible sur : <http://lescahiersdelinnovation.com/2015/04/design-thinking/>

— **Revell** Tobias, Occasional blog of Tobias Revell, 02/12/2013, « *Critical design/Design fiction lecture finally written up* » Disponible sur : <http://blog.tobiasrevell.com/2013/12/critical-design-design-fiction-lecture.html>

— **Hallauer** Edith et **Côme** Tony, « *Algae Graphies* », Strabic, 29/06/2012. Disponible sur : <http://strabic.fr/Lia-Giraud-Algae-graphies>

— **Stiegler** Bernard. Ars industrialis, « *Pharmakon (pharmacologie)* ». [Consulté le 20/01/2016] Disponible sur : <http://arsindustrialis.org/pharmakon>

Articles

— **Cameron** D. Ewen, **Bashor** Caleb J. and **Collins** James J. « *A brief history of synthetic biology* », Nature, may 2014, p. 381 - 384.

— **Endy** Drew et **Deese** Isadora, « *Adventures in synthetic biology* », MIT Synthetic biology. Nature 438, 449 - 453 du 24/11/2005. Disponible sur : <http://www.nature.com/nature/comics/syntheticbiologycomic/>

— **Scouarnec** Aline, « *Management & Avenir* », Éditions Management Prospective, 02/2014, p.6. Disponible sur : <http://www.cairn.info/revue-management-et-avenir-2014-2-page-6.htm>

— **Lécho** Hirt Lysianne, « *Recherche-crétation en design à plein régime : un constat, un manifeste, un programme* », Sciences du design, 05/2015, n°1, p.35

— **Engell** Lorenz et **Cuntz** Michael, « *Entretien avec Bruno Latour* », INA Global, 06/2014, n°2, p.146-157. Disponible sur : <http://www.yvescitton.net/wp-content/uploads/2014/09/LATOUR-MediasModesExistence-Juin2014-Txt.pdf>

— **Reas** Casey et **Fry** Ben, « *Processing: programming for the media arts* ». AI & SOCIETY, Volume 20, Issue 4, p. 526-538.

— **Bianchini** Samuel, « *Expérimenter les dispositifs performatifs et interactifs* ». Étapes, mars/avril 2015, n°224, p.120

Livres

— **Marx** et **Engels**. « *Manifeste du parti communiste* ». Éditions le livre de poche, 1973, 110p.

— **Séris** Jean-Pierre. « *La technique* ». Éditions PUF, 2000. p.349, p.369, p.371

— **Vial** Stephane, « *Le design* », « *Que sais-je ?* », Éditions PUF, 2015.

— **Simondon** Gilbert, « *L'invention dans les techniques - cours et conférences* », Éditions du seuil, 2005, p.88.

— **Daisy Ginsberg** Alexandra, **Calvert** Jane, **Schyfter** Pablo, **Elfick** Alistair, « *Synthetic Aesthetics* », Éditions MIT Press, 2014, 350p.

Émissions

— **Ohnona** Laetitia, « *Fabriquer le vivant* », Arte, 2012, 52 minutes.

Disponible sur : <http://www.arte.tv/fr/fabriquer-le-vivant/6616046,CmC=6615996.html> et <https://www.youtube.com/watch?v=BWbI7OkxHUI>

— **Vidard** Mathieu, « *La biologie synthétique* », La tête au carré, 02/06/2014.

Disponible sur : <http://www.franceinter.fr/emission-la-tete-au-carre-la-biologie-synthetique>

Expositions

— Exposition à l'espace fondation EDF « *En Vie, aux frontières du design* », du 26/04/2013 au 01/09/2013.

- **Aden** Shamees, « *Amoeba Shoe* ».

Disponible sur : <http://thisisalive.com/fr/amoeba-shoe/>

- **Collet** Carole, « *Biolace* ».

Disponible sur : <http://thisisalive.com/fr/biolace/>

- **Benjamin** David, « *Bio-computation* ».

Disponible sur : <http://thisisalive.com/fr/bio-computation/>

LEXIQUE

A

ADN (Acide Désoxyribonucléique) :

L'ADN est une macro-molécule présente dans le noyau de nos cellules. L'ADN est le support de l'information génétique, c'est-à-dire qu'il porte des milliers de gènes sous la forme de succession de nucléotides.

B

Biobricks :

Les Biobricks sont des séquences d'ADN standardisées pouvant être utilisées pour concevoir des circuits synthétiques dans des organismes unicellulaires. Les Biobricks peuvent comprendre divers composants tels que des promoteurs, des séquences codantes, des sites de liaison aux ribosomes, des inverseurs, des squelettes d'ADN plasmidique et des séquences terminatrices. Elles sont utilisées en biologie synthétique car elles sont standardisées et faciles à assembler ou réassembler en utilisant de simples techniques de biologie synthétique. Les Biobricks sont trouvées 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 tous les différents composants, ainsi qu'un catalogue qui décrit les fonctions, rôles et assemblages de chaque composant. Chaque Biobrick est décrite par un unique code d'identification pour simplifier les recherches. La plupart des composants du registre sont envoyés par des étudiants participant à iGEM.

Biocapteur :

Biomolécule utilisée pour capter d'autres biomolécules.

Biofilm :

Les bactéries peuvent produire des substances aussi flexibles que du tissu et d'autres aussi dures que de la brique. Elles peuvent aussi générer des matériaux auto-organisés complexes. Ces matières sont des biofilms.

Biohacker :

Le terme bio-hacker est utilisé pour désigner un individu expérimentant principalement les propriétés de l'ADN et d'autres aspects de la génétique, dans le cadre ou en dehors du cadre académique, gouvernementaux ou des laboratoires. Les bio-hackers sont comparables aux hackers informatiques dans leur approche ouverte de leur champ d'étude. Le mot bio-hacker est un néologisme construit à partir des mots biologie et hacker.

Biohackerspace :

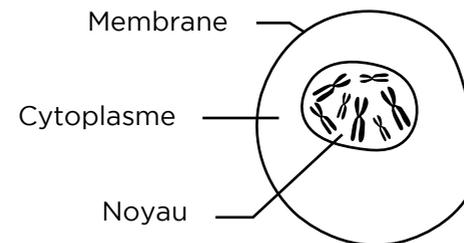
Un biohackerspace est un lieu où des gens avec un intérêt commun - la biologie synthétique - peuvent se rencontrer et collaborer. Les biohackerspaces peuvent être vus comme des laboratoires communautaires ouverts où des gens (les hackers) peuvent partager ressources et savoir. Beaucoup de hackerspaces utilisent et participent à des projets autour du logiciels libres, du hardware libre, ou des médias alternatifs.

Biomasse :

Dans le cadre des énergies, la biomasse est le fait de produire de l'énergie à partir du vivant soit directement par combustion (ex : bois), soit indirectement après méthanisation (biogaz) ou de nouvelles transformations chimiques (agrocarburant).

C**Carlson (courbe de) :**

La courbe de Carlson montre la croissance exponentielle des progrès dans les domaines du séquençage et de la synthèse de l'ADN ainsi que la baisse des coûts des techniques. Elle est souvent mise en parallèle avec la fameuse « loi de Moore ».

Cellule :**CRISPR :**

Technique de manipulation de l'ADN. (En savoir plus : <http://www.larecherche.fr/savoirs/palmares/technologie/modification-adn-a-portee-tous-01-01-2015-197966>)

E**Enzyme de restriction :**

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. Chaque enzyme de restriction reconnaît ainsi un site spécifique. Plusieurs centaines d'enzymes de restriction sont actuellement connues, on en retrouve naturellement dans un grand nombre d'espèces de bactéries.

G**Gène :**

En génétique, un gène est une unité de base d'hérédité qui en principe prédétermine un trait précis de la forme d'un organisme vivant.

L**Langage de haut niveau :**

Le langage de haut niveau est l'opposé du langage de bas niveau. Le langage de haut niveau est un type de langage qui ne tiens pas en compte le fonctionnement de la machine tandis que le langage de bas niveau se rapprochera du langage machine, le binaire. Il sera plus performant mais moins accessible. Plus un langage est de haut niveau, plus il sera accessible pas les non-experts.

M**Microbiote :**

Le microbiote est l'ensemble des micro-organismes vivant dans un environnement spécifique. Par exemple, le microbiote intestinal, anciennement appelé flore intestinale, constitue l'ensemble des microorganismes vivant dans l'intestin.

Micro-organisme :

Un micro-organisme est un organisme vivant, invisible à l'œil nu, qui ne peut être observé qu'à l'aide d'un microscope.

Mitose :

La mitose désigne un événements chromosomique de la division cellulaire. Il s'agit d'une duplication non sexuée/asexuée (contrairement à la méiose).

Mutation des gènes :

Une mutation est une modification rare, accidentelle ou provoquée, de l'information génétique (séquence d'ADN ou d'ARN) dans le génome.

N**Nucléotide :**

Un nucléotide est une molécule organique qui est l'élément de base d'un acide nucléique tel que l'ADN ou l'ARN.

O**Open source :**

L'open source est un mouvement prônant la libre utilisation, modification et diffusion des contenus. Initialement cantonné au domaine de l'informatique il s'est étendu à d'autres domaines comme celui de la culture ou de la biologie.

Ordinateur à ADN :

L'ordinateur à ADN est une des voies non électroniques actuellement explorées pour résoudre des problèmes combinatoires. Il ne prétend pas à la généralité et à la flexibilité d'un ordinateur général. Il s'agit plutôt d'un dispositif spécialisé comme peut l'être un processeur graphique, une carte son ou un convolveur. Au lieu d'être codé en binaire (01), il est codé en ACTG.

P**PCR (Réaction en chaîne par polymérase) :**

La PCR est une méthode de biologie moléculaire d'amplification génique qui permet de dupliquer en grand nombre une séquence d'ADN ou d'ARN connue, à partir d'une faible quantité d'acide nucléique et d'amorces spécifiques constituées d'oligonucléotides de synthèse de 20 à 25 nucléotides. On peut ainsi, par exemple, détecter la présence du virus VIH ou mesurer une charge virale, des traces d'OGM, ou encore des virus d'hépatites B, C et D.

Plan d'expérimentation :

On nomme plan d'expériences la suite ordonnée d'essais d'une expérimentation, chacune permettant d'acquérir de nouvelles connaissances en contrôlant un ou plusieurs paramètres d'entrée pour obtenir des résultats validant un modèle.

Plasmide :

Un plasmide désigne en microbiologie ou en biologie moléculaire une molécule d'ADN distincte de l'ADN chromosomique, capable de réplication autonome et non essentielle à la survie de la cellule.

Promoteur :

En biologie, un promoteur est une région de l'ADN située à proximité d'un gène et indispensable à la transcription de l'ADN en ARN. Le promoteur est la zone de l'ADN sur laquelle se fixe initialement l'ARN polymérase, avant de démarrer la synthèse de l'ARN. Les séquences promotrices sont en général situées en amont du site de démarrage de la transcription

S**Séquençage ADN :**

Le séquençage de l'ADN consiste à déterminer l'ordre d'enchaînement des nucléotides pour un fragment d'ADN donné et ainsi de lire l'ADN.

COLOPHON

J'ai utilisé la typographie *Gotham*, réalisée par Tobias Frere-Jones en 2000, pour les titre et *Adobe Caslon*, une variante de *Caslon* réalisée par William Caslon vers 1734, pour les textes.



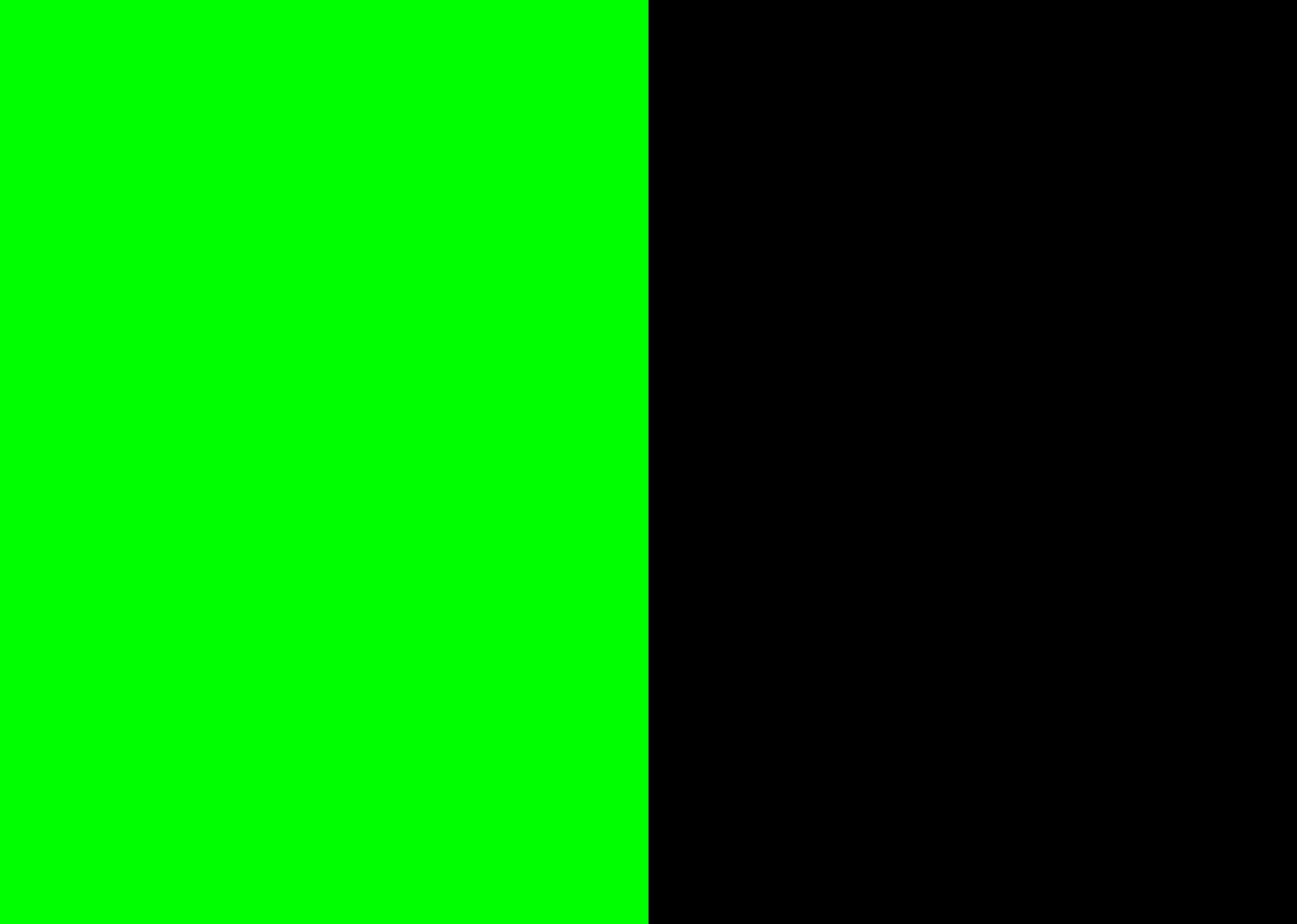
<http://potopov.com>



alice@potopov.com



@MellePotopov



Il y a 5 ans, Craig Venter créait *Synthia*, la toute première cellule synthétique. Cette cellule a été vidée de son génome original, remplacé par un autre réalisé en laboratoire. *Synthia* a surtout survécu et s'est reproduite. Cette première expérience a prouvé que nous étions capable de programmer du vivant comme on code un programme informatique. En tant que designer, je me suis alors demandé quelles possibilités pouvaient offrir la biologie synthétique au design et comment celui-ci pourrait se l'approprier.

