



HAL
open science

Design & savoirs sensibles : une recherche-création sur les technologies 3D et l'ingénierie du vivant au sein de l'anthropocène

Elise Rigot

► **To cite this version:**

Elise Rigot. Design & savoirs sensibles : une recherche-création sur les technologies 3D et l'ingénierie du vivant au sein de l'anthropocène. Art et histoire de l'art. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2022. Français. NNT : 2022TOU20045 . tel-03847672

HAL Id: tel-03847672

<https://theses.hal.science/tel-03847672>

Submitted on 10 Nov 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



THÈSE

**En vue de l'obtention du
DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE**

Délivré par l'Université Toulouse 2 - Jean Jaurès

Présentée et soutenue par

Elise RIGOT

Le 16 septembre 2022

Design & savoirs sensibles : une recherche-crédation sur les technologies 3D et l'ingénierie du vivant au sein de l'anthropocène

Ecole doctorale : **ALLPHA - Arts, Lettres, Langues, Philosophie, Communication**

Spécialité : **Design**

Unité de recherche :

LLACREATIS - Laboratoire Lettres, Langages et Arts : Création, Recherche, Emergence en Arts, Textes, Images et Spectacles

Thèse dirigée par

Christophe VIEU et Anthony Masure

Jury

M. Yves CITTON, Rapporteur

M. Xavier GUCHET, Rapporteur

Mme Claudia Mareis, Examinatrice

M. James Auger, Examineur

M. Christophe VIEU, Directeur de thèse

M. Anthony Masure, Directeur de thèse

Université Toulouse – Jean Jaurès (UT2J)

UFR Lettres, Philosophie, Musique, Arts du
spectacle et Communication

Département Arts plastiques – Design

École doctorale ALLPH@, (Arts, Lettres,
Langues, Philosophie, Communication)

Spécialité Design

Laboratoires : LAAS CNRS (Laboratoire
d'Analyse et d'Architecture des Systèmes –
CNRS) et LLA – CREATIS (UT2J)

Élise Rigot

Design & savoirs sensibles : une recherche- création sur les technologies 3D et l'ingénierie du vivant au sein de l'anthropocène

Thèse dirigée par Christophe Vieu et Anthony Masure

MEMBRES DU JURY :

JAMES AUGER, MCF HDR, Centre de Recherche en
Design, *ENS Paris-Saclay*, examinateur

LORENZO BRAMANTI, CR. CNRS, *LECOB*, invité

YVES CITTON, PR. *Université Paris 8*, rapporteur

XAVIER GUCHET, PR. *UTC Compiègne*, rapporteur

CLAUDIA MAREIS, Prof. *Matters of Activity*,
Humboldt-Universität zu Berlin, examinatrice

ANTHONY MASURE, Prof. associé et responsable
de la recherche, *HEAD – Genève*, *HES-SO*,
chercheur associé *LLA – CREATIS*, co-directeur

ANNE-LYSE RENON, Dr. MCF *Université Rennes 2*,
invitée

CHRISTOPHE VIEU, PR. *INSA Toulouse* et *LAAS-
CNRS*, co-directeur

Remerciements

En premier lieu, je remercie mes deux directeurs de thèse, Christophe Vieu et Anthony Masure. Christophe, je te remercie de ta sagesse à laquelle j'ai eu souvent recours, de ta sensibilité, de ta curiosité, de ta générosité, de ton intégrité scientifique et de ta profonde intelligence. Anthony, merci de ta rigueur et de ton ouverture intellectuelle. Je te remercie de tes regards toujours pertinents sur mes travaux, de m'avoir donné confiance pour m'autoriser les formats les plus divers au sein de ce travail de recherche. Christophe et Anthony, grâce à vous et à travers vous, j'ai eu de la joie et des découvertes durant ce travail de recherche, je vous en suis très reconnaissante. Chacun avec vos méthodes complémentaires, vous m'avez donné ce goût renouvelé de l'exigence scientifique et langagière tout en n'omettant jamais la spontanéité des idées et des envies profondes. Vous avez conforté mon envie de poursuivre une carrière de recherche.

En second lieu, je remercie sincèrement Pr. Yves Citton, Pr. Xavier Guchet, Dr. James Auger, Pr. Claudia Mareis, Dr. Lorenzo Bramanti et Dr. Anne-Lyse Renon d'avoir accepté de juger ce travail. Ce jury interdisciplinaire est à l'image de cette thèse.

Je remercie Armelle Isnard qui a relu formellement la majorité des chapitres de cette thèse, pour sa patience et son amitié. Je remercie Irène Dunnyach qui en a conçu la maquette éditoriale, et d'avoir fait vivre ces choix graphiques, avec lesquels je suis en profonde affinité.

Cette thèse a été l'occasion de nombreuses rencontres, collaborations et dialogues. Je souhaite remercier mes collaborateurs du LAAS-CNRS : Denis Tribouillois, Jean-Marc Larré, Christophe Zanon, Julien Libourel, Julie Foncy, Benjamin Reig, Lise Pihan. Merci aux designers qui ont accompagné les recherches-créations de cette thèse : Mathieu Estivill (agence B221), Lysiane Lagadic, Bérengère Ameslant, David Enon, Jonathan Brouillon. Pour toutes les discussions, l'amitié et leur soutien, merci : Victor Fabre (tu reconnaîtras certaines de nos réflexions s'il te prend un jour l'idée farfelue de lire ce manuscrit), Claire Bigot, Bastien Venzac, Victor Fournier, Ophélie Thomas-Chemin, Matthieu Sagot, Ianis Drobecq, Anne-Sophie Bajeot, Christophe Thibault, Étienne Dague, Vincent Raimbault, Morgan Delarue, Élise Bou, Childerick Séverac, Mouhanad Babi, Roberto Riesco. Merci au groupe de travail éthique du LAAS-CNRS pour les discussions enrichissantes et tout particulièrement à Lucie Baudouin. Laurent Malaquin, merci de ton soutien, de ta générosité et des discussions scientifiques.

Je remercie la *Fondation Dassault Systèmes*, et spécifiquement Jean-Marc Galea pour le soutien financier auprès du projet *Corallum fabrica*. Pour l'amour des coraux, je remercie profondément Isabelle Domart-Coulon, Magalie Castelin et Mélanie Van Weddingen du Muséum National d'Histoire Naturelle. Merci à Paul Duru de l'Institut Mécanique des Fluides de Toulouse. Merci à Franck Lartaud, Serge Planes et Sandrine Bodin du LECOB, de Banyuls-sur-mer. Je remercie la *Fondation d'entreprise Martell* et spécifiquement Nathalie Viot pour leur soutien de production artistique. Merci au *Biodiversarium* de Banyuls-sur-mer, au Petit Festival de la côte Vermeille, au centre de Design ARCADE et à

Marine Hunot en particulier, au centre Faré Natura de Polynésie, à la TBA21 Academy et le projet Ocean Archive pour avoir exposé le projet *Corallum fabrica* que j'ai dirigé artistiquement.

Un immense merci aux invités du podcast *Bio Is The New Black* : David Benqué, Marie-Sarah Adenis, Arthur-Donald Bouillé, Lisa Dehove, Xavier Montoy, Marguerite Benony pour leur partage et les heures de discussions passionnantes qui se sont prolongées dans les oreilles de nos auditeurs. Merci à Xavier Mouton-Dubosc de m'avoir formé à la production radiophonique et merci à radio FMR et à la radio π node pour leur diffusion. Merci au Centre de Recherche Interdisciplinaire de Paris, au collectif BAM, à l'IsdaT et à l'Association Design en Recherche pour leur aide sur l'organisation de certains événements liés à ce podcast. Merci aux interprètes Raphaël Caire et Wayne Blackwood de m'avoir prêté vos voix.

Je remercie le laboratoire LLA-CREATIS grâce à qui j'ai pu échanger lors de multiples journées d'étude, colloques, avec lequel j'ai pu me rendre à Berlin aux archives de Vilém Flusser auprès de Anita Jori et grâce auquel j'ai pu suivre une formation à la création radiophonique professionnelle. Merci à Brice Genre qui m'a aiguillé dans ce travail de recherche lors du comité de suivi de thèse. Merci à mes collègues du groupe CinéDesign, Saul Pandelakis et Irène Dunnyach : je suis heureuse que cette thèse ait croisé nos chemins et d'avoir à vos côtés, contribué à l'*Encyclopédie des objets impossibles*. J'ai hâte de poursuivre notre entreprise.

Je remercie l'association *Design en Recherche*, et mes amis chercheurs en design pour nos multiples discussions et nos sessions d'entraides : Julie Blanc, Marion Voillot, Clément Gaillard, Manon Ménard, Karen Polesello et Élise Goutany. Pour nos discussions mensuelles à bâtons rompus, je remercie l'association *Design <-> Commun* : Gauthier Rousshile, Thomas Thibault, Sylvia Fredriksson, Lysiane Lagadic, Estelle Hary, Timothée Goguely, Pauline Gourlet et Mikhael Pommier. Je remercie l'association Passerelle et en particulier Edwige Armand pour ses initiatives Art/Science.

Merci à mes étudiants de licence de l'Université Jean-Jaurès, j'apprends avec vous ce métier magnifique et très exigeant d'enseignante. Merci à mes enseignants de l'ENS Paris Saclay et de l'école Boule de m'avoir soutenu dans la construction de ce projet de thèse et dans l'élaboration du Contrat Doctorat Spécial Normalien (CDSN). Un remerciement sincère à Vincent Rossin et Anne Lefebvre pour leur aide à la constitution du dossier.

Pour leur amitié merci à : Pauline Avrillon, Sarah Blossse, Lyla Denoyel, Paige Perillat-Piratoine, Bérengère Amelsant et Armelle Isnard. Merci à ma famille, à mes parents, Nathalie et Arnaud, à mon frère, ma belle sœur, Alexandre et Charlotte, pour leur soutien sans faille et leurs mille attentions. Enfin, merci à la personne avec laquelle je partage ma vie, Guillaume. Pendant quatre ans, tu as également vécu « avec » la thèse, merci de ta patience et de ton soutien. Tu m'as aidé à concrétiser certaines des créations de cette thèse, pour tout cela, tout le reste et ce qui s'annonce, merci.

Résumés

Résumé français

De nombreuses études ont démontré la nature construite et située des connaissances scientifiques. Ce constat s'est accentué avec le développement des technosciences, nouvelle condition d'élaboration du savoir scientifique où techniques et sciences ne sont plus séparables. Dans ce contexte, les pratiques des chercheurs ne s'occupent plus seulement de l'observation et l'analyse du réel, mais de sa fabrication. Or, les objets qui sortent des laboratoires et les techniques qui servent à les élaborer ne sont pas éthiquement et socialement neutres. Par conséquent, une réflexion sur la culture matérielle des sciences, depuis les formats et les formes de la recherche doit être engagée. En quoi le design, comme mise en forme de notre environnement, peut-il participer d'une réflexivité de la culture matérielle de la recherche scientifique? Comment peut-il l'influencer, et quels enjeux cette situation soulève-t-elle? Nous avons exploré ces questions au travers d'approche de recherche-création en design et d'une observation participante en nous intégrant dans une équipe de chercheurs académiques en sciences de l'ingénierie qui élaborent des dispositifs et des procédés d'interface entre des artefacts technologiques et des cellules ou des tissus vivants. Nous avons interrogé la culture matérielle scientifique de ces « ingénieurs du vivant » avec un double prisme : celui des bio-objets produits en laboratoire, et celui des formats de mise en visibilité des sciences en train de se faire. Dans ce contexte, nous avons élaboré un « médium dialogique », sorte de glossaire numérique et contributif appelé *Codex*, qui met en débat au sein de la communauté des chercheurs le vocabulaire et les néologismes propres à la bio-impression 3D et à ses applications dans le domaine des « organes sur puce ». Par ailleurs, nous avons construit une archive en science ouverte autour des architectures internes des squelettes de coraux, rendues visibles à l'aide de la tomographie à rayons X. Cette expérience numérique multimédia en ligne intitulée *Corallum fabrica* met à disposition de différents publics les données, modèles et visualisations 3D des squelettes coralliens de 42 spécimens. Enfin, nous avons mené une étude d'ordre épistémologique par la création d'un podcast dédié à l'ouvrage *Vampyroteuthis infernalis* de Vilém Flusser et de Louis Bec. De ces études, nous avons tiré une typologie de connaissances propres à la recherche en design : les savoirs sensibles. Nous avons également esquissé un rôle pour la recherche en design comme médecine de l'imaginaire au sein des « sciences des ruines ».

recherche-création
savoirs sensibles
media dialogiques
science ouverte
technologie 3D
archive

English resume

Many studies have demonstrated the constructed and situated nature of scientific knowledge. This fact has been intensified with the emergence of technosciences, a new condition of scientific knowledge production where technics and sciences are no longer distinct. In this context, the practices of researchers are no longer limited to the observation and the analysis of reality but to its making. Nevertheless, objects that come out of laboratories and the techniques that serve to create them are not ethically and socially neutral. Therefore, a study of the material culture of science, from the formats and forms of research, must be engaged. How can design, as a shaping of our environment, participate in a reflexive approach to the material culture of scientific knowledge? How can design influence it, and what issues does this situation raise? We investigated these questions through a research-creation method in design and a participant observation by integrating a team of academic researchers in engineering sciences who develop devices and processes of interface between technological artifacts and living cells or tissues. We examined the scientific material culture of these “engineers of the living” with a double lens: the bio-objects produced in the laboratory, and the formats of visualization of the sciences in the making. In this context, we have developed a “dialogical medium”, a kind of digital and contributive glossary called *Codex*, which puts into conversation within the research community the words and neologisms proper to 3D bioprinting and to its applications in the domain of “organs on a chip”. In addition, we have created an open science archive focusing on the inner architectures of coral skeletons, made visible with the use of X-ray tomography. An online multi-media digital experience titled *Corallum fabrica* provides data, models and 3D visualizations of coral skeletons of 42 specimens to various audiences. We also carried out an epistemological study through the creation of a podcast devoted to the book *Vampyroteuthis infernalis* written by Vilém Flusser and Louis Bec. From these researches, we have identified a type of knowledge specific to design research: the sensitive knowledge. We have also suggested a role for design research as a medicine of the imaginary within the “sciences of the ruins”.

research-creation
sensitive knowledge
dialogical media
open science
3D technologies
archive

Avant-propos

Genèse du sujet de thèse

Ce projet de thèse est en partie né de la rencontre de mes deux directeurs lors de mes études. J'ai fait la connaissance de Christophe Vieu durant ma formation scientifique au Lycée Saint-Sernin et d'Anthony Masure à l'École Normale Supérieure de Cachan¹ où il enseignait l'option « nouvelles technologies et création » au sein de la préparation à l'agrégation externe d'Arts appliqués.

Après un baccalauréat S et deux années de Classe préparatoire aux grandes écoles de design, j'ai fait mes études à l'École Normale Supérieure de Cachan au sein du département design (2013-2018). Je suis diplômée d'un Diplôme Supérieur des Arts appliqués (DSAA), spécialité Design objet de l'école Boule (2013-2015) et d'un master 2 recherche « Design Sciences, terrains, dispositifs » de l'ENS Paris Saclay (2018) et agrégée en arts appliqués (2016). C'est lors de mes années à l'école Boule que je m'intéresse à l'intersection entre design et nanobiotechnologies. Je consacre mon mémoire de fin d'études à des pratiques de design mêlant biotechnologies, design et réflexions éthiques². Je prends alors connaissance du mouvement anglo-saxon du *critical design* et de sa réflexion sur une forme de design spéculatif nous mettant en capacité de mettre en débat des innovations technologiques issues des technosciences. Cette forme de design spéculatif à partir des innovations scientifiques et technologies des possibles futurs afin de mettre en débat ce que nous désirons des technologies³. À ce moment-là, je me souviens d'une expérience pédagogique que j'avais vécue au Lycée Saint-Sernin décrite dans l'article « Les nanotechnologies au lycée, une ingénierie d'éducation citoyenne des sciences⁴ », mêlant pratique du débat citoyen, cours théorique de nanotechnologies et travail expérimental, me rappelant la démarche du *critical design*. L'innovation pédagogique m'avait marquée en tant qu'étudiante car elle permettait un débat de société, éclairé depuis les pratiques des nanotechnologies. Cette expérience m'avait également marqué, car elle sortait du cadre habituel d'apprentissage. Dans cette expérimentation pédagogique, je passais une semaine à l'ITAV (*Institute of Advanced Technologies in Life Sciences*) et je suivais des cours théoriques et pratiques sur les nanotechnologies. J'ai contacté, durant mes études de design à l'école Boule, les chercheurs qui avaient élaboré ce projet pédagogique. J'ai effectué par la suite des observations et des interviews au sein de leurs laboratoires pour mon projet de diplôme intitulé « Labcare » (2015). Ce dernier portait sur la médecine prédictive et les laboratoires sur puce à partir des recherches effectuées par Laurent Malaquin. Je rédige alors mon sujet de thèse pour le contrat doctoral spécial normalien (CDSN), en souhaitant poursuivre ces questionnements. Le titre de ma thèse était alors « Nano f(r)ictions, du design dans le nano-monde ». La bourse de thèse m'a été par la suite allouée. Je bénéficie de ce contrat CDSN⁵

1 Aujourd'hui sur le campus de Paris-Saclay.

2 RIGOT, Elise, 2015. *À la rencontre du liminal*. Mémoire de Recherche en Design, École Boule.

3 DUNNE, Anthony et RABY, Fiona, 2013. *Speculative Everything: Design, Fiction, and Social Dreaming*. MIT Press.

4 PANISSAL, Nathalie, BROSSAIS, Emmanuelle et VIEU, Christophe, 2010. Les nanotechnologies au lycée, une ingénierie d'éducation citoyenne des sciences. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*. 2010. N° 1, p. 319-338.

5 La bourse CDSN est un contrat de 3 ans avec monitorat d'enseignement que j'ai effectué auprès des licences de l'Université Toulouse Jean-Jaurès. J'ai par la suite bénéficié d'une prolongation de quatre mois de l'Université Toulouse Jean-Jaurès (en raison de la Covid-19) et d'une prolongation de huit mois de la part du LAAS-CNRS, afin d'obtenir un financement sur les quatre années de thèse.

inscrite en spécialité design qui dépend de la section 18⁶ du Conseil National des Universités (CNU). La thèse est administrativement inscrite dans deux laboratoires, en design à l'Université Toulouse Jean-Jaurès au sein du Laboratoire Lettres, Langages et Arts (LLA-CREATIS) et au Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (LAAS-CNRS). Elle est co-dirigée par Anthony Masure, professeur associé et responsable de la recherche à la Haute école d'art et de design de Genève⁷ (HEAD – Genève, HES-SO) et par Christophe Vieu, professeur des universités à l'Institut National des Sciences appliquées de Toulouse (INSA Toulouse) au LAAS-CNRS. J'ai ainsi bénéficié d'un environnement hybride entre sciences de l'ingénierie et recherche en design par cette double inscription et ce double encadrement. Mon sujet de thèse a évolué durant mon intégration au sein de l'équipe ELiA du LAAS-CNRS. Dans ce contexte, le nanomonde premièrement interrogé a laissé place à d'autres questions technologiques et scientifiques liées aux pratiques des ingénieurs du vivant issus du domaine des nano et micro technologies, ainsi qu'aux technologies 3D appliquées à l'étude du vivant. Nous entendons par technologies 3D des méthodes de captation, de fabrication et de caractérisation faisant appel aux trois dimensions, le plus souvent accompagnées d'outils numériques.

6 La section 18 rassemble les pratiques artistiques suivantes : architecture (ses théories et ses pratiques), arts appliqués, arts plastiques, arts du spectacle, épistémologie des enseignements artistiques, esthétique, musico-logie, musique, sciences de l'art.

7 Anciennement maître de conférences en design à l'université Toulouse – Jean Jaurès, laboratoire LLA-CREATIS.

Note sur l'écriture inclusive

Nous avons choisi de ne pas écrire cette thèse en écriture inclusive, ce choix ne constitue pas une discrimination de notre part, mais plutôt un souci de lisibilité pour un travail de recherche long et que nous souhaitons le plus clair possible.

Note sur les traductions

Les passages traduits l'ont été à l'aide du logiciel DeepL.

Note sur le droit d'auteur des images de cette thèse

Sauf mention contraire ou complémentaire, je suis l'auteure des images de cette thèse. Je n'ai pas jugé nécessaire de spécifier sur chaque visuel le crédit des images, mais ces dernières sont bien soumises au droit d'auteur.

Note sur le Covid-19

Nous ne souhaitons pas que cette thèse puisse être jugée d'une autre manière parce qu'elle aurait eu lieu pendant l'épidémie mondiale de Covid-19, mais en raison des nombreux projets collaboratifs que cette thèse engage, nous souhaitons souligner la situation délicate, et exceptionnelle, dans laquelle cette dernière s'est tenue. Il nous semble également et de manière paradoxale que l'épidémie du Covid-19 a participé au renouvellement des formats de la recherche scientifique questionnés dans le présent ouvrage. Colloque en ligne, site Web de recherche, plateformes collaboratives, expositions en ligne, podcasts, blog de recherche, cours en ligne, etc. sont des pratiques qui se sont développées à l'aune de l'épidémie mondiale. Cela a eu une forme de résonance entre les formats dialogiques proposés au sein de ce manuscrit. Ce double mouvement est sans doute à garder en tête pour la lecture de l'étude qui suit.

Note sur la licence du manuscrit de thèse

La thèse est placée sous licence CC-BY-NC-ND 4.0 (Attribution — Pas d'Utilisation Commerciale — Pas de Modification).

Table des matières

5	<i>Remerciements</i>
9	<i>Résumés</i>
12	<i>Avant-propos</i>
19	<i>Introduction</i>

CHAPITRE 1. 27 *Du design dans la culture matérielle des sciences*

31 *Cahier d'images*

57	1. Contexte et objet de l'étude
57	Positionnement de départ et son évolution
63	Designer intégrée chez les « ingénieurs du vivant »

69 *Histoire d'un objet technique*

75 **2. Du design fiction au design des sciences**

75	Limites du design
75	Design fiction
79	Design et sciences

87 **3. Problématiques**

89 **4. Méthodologies**

89	Une thèse basée sur la pratique
89	Recherche-création en design

93 **5. Structure de la thèse**

93	Un plan par projet
----	--------------------

CHAPITRE 2. 101 *Vers un Codex de la bio impression 3D*

107 **1. Les objets techniques de la bio-impression 3D**

107	La bio-impression 3D comme paradigme d'une science qui fabrique le réel
108	Définir la bio-impression 3D
114	Un tournant 3D de la biologie
116	Les différentes approches de bio-impression 3D

125 *Cahier d'images*

142	Se confronter aux objets du tournant 3D de la biologie
-----	--

147 **2. Un médium dialogique et réflexif pour favoriser une mise en culture de la technique dans l'ingénierie du vivant**

147	Des espaces de publication sur les sciences en train de se faire
148	Les savoirs situés de Donna Haraway
151	Penser à partir des pratiques
152	Le pari du Codex

153 **3. Vers un Codex de la bio-impression 3D**

153	Un processus itératif marqué par des objets intermédiaires
165	Proposition : un médium dialogique
166	Choix techniques et graphiques

171 *Cahier d'images*

185 **4. Analyses de quelques contributions**

186	Contributions — définitions
192	Contributions Libres
202	Autres contributions libres

223 *Acadians*

227 *La dame brune*

235 *La diseuse de bonne aventure*

237 **5. Discussions et perspective :**

237	Discussions
242	Perspectives

245 **Conclusion Chapitre 2**

CHAPITRE 3. 249 *Le corail en héritage*

257 **1. Contexte : Le corail comme symbole et marqueur de l'Anthropocène**

257	Nature du corail, entre culture et nature
260	Relation corail-humain : sortir du cadre sujet/objet
262	L'effondrement du corail
264	Corail et tridimensionnalité
266	Faut-il sauver le corail ?

271 **2. Hypothèse : Produire une archive de recherche**

274	Transferts de pratiques : technologies 3D et biologie
280	Traverser leurs corps : tomographie à rayons X et modélisation 3D

283 *Cahier d'images*

303 *Récit d'archive : dans la zoothèque*

310	Rôle politique de l'archive
311	Usages scientifiques de l'archive
312	Le cas de Porites alveolata
319	Choisir l'archive comme encapacitation citoyenne

322 **3. Réalisations : Corallum Fabrica, une archive des architectures internes des coraux**

322	Corallum Fabrica
326	Designer des interfaces de saisies

343 **4. Résultats : une archive vivante**

361 *Cahier d'images*

386	Amoncellement et dissolution
-----	------------------------------

391 *Cahier d'images*

411	Un art entre constat, dénonciation et remédiation
412	Design situé et connaissances sensibles

417 **5. Discussions et perspectives**

417	L'archive comme format de recherche en design
420	Vers un restorative design
422	D'autres histoires sur les écosystèmes marins
425	Design & océanographie

427 **Conclusion Chapitre 3**

CHAPITRE 4. 431 *Vers un design vampyroteuthique : pour un rapport renouvelé aux vivants par le design*

439 **1. Contexte : le Vampyroteuthis infernalis, un métamodèle de l'appareil critique de Flusser**

440	Différentes versions du Vampyroteuthis infernalis
447	Natures de l'ouvrage
453	Héritages du vampyroteuthis face aux enjeux actuels : depuis l'étude du « vivant mort » vers l'étude du « vivant vivant »

459 *Cahier d'images*

469 **2. Réalisation d'une création radiophonique : « Notre monde vampyroteuthique »**

469	Choix du podcast comme format de recherche en design
475	Traduire vampyroteuthis dans un média podcast : retour sur un processus de recherche-création
498	Analyse et discussion

505 **3. Jouer avec les programmes, ou déjouer les programmes**

505	Notions de programme
513	Jouer avec les programmes : trois scénarios non binaires pour les designers

521 **4. Cinématique en réalité virtuelle : un voyage dans les forêts animales**

521	Les forêts animales
525	Bicentenaire de Lacaze-Duthiers et canyons

527 *Cahier d'images*

548	Traduire les savoirs en expériences sensibles, « le polype qu'un instant je suis devenue »
-----	--

555 **Conclusion Chapitre 4**

CONCLUSION : 559 *Héritiers des sciences des ruines*

563 **1. Apports de la thèse**

565 **2. Points de discussions**

571 **3. Perspectives**

571	Pour d'autres visions du vivant
572	Rapport aux futurs

573 **4. Répondre de nos héritages**

576	Les sciences des ruines
-----	-------------------------

579 *Bibliographie*

591 *Table des figures*

601 *Annexes*

Introduction

La présente thèse est une étude portant sur les formes de savoirs rendus possibles par une méthodologie de recherche-création en design dans le contexte particulier des pratiques scientifiques d'ingénierie du vivant et des technologies 3D. Le titre de cette thèse, « Le design des savoirs sensibles : une étude de recherche-création sur les technologies 3D et l'ingénierie du vivant à l'ère de l'anthropocène », en atteste. En raison d'un débat actuel sur la date de commencement de l'ère « Anthropocène », certaines études préconisent d'utiliser le terme sans majuscule¹. Nous pensons en effet que les formes de savoirs liées aux technologies 3D et à l'ingénierie du vivant présentent des enjeux urgents liés au moment particulier dans lequel nous sommes : l'ère « Anthropocène ». Ce terme d'anthropocène ne fait pas l'unanimité dans la communauté scientifique au-delà de la question de la date de départ à laquelle faire débiter cette ère géologique. Donna Haraway lui reproche justement d'être trop « anthropocentrique » et de mettre sur le compte de l'espèce humaine, ce qui révèle d'une histoire économique et sociale particulière liée à la production de masse et à une économie de croissance. Elle lui préfère ainsi le terme « capitalocène ». « Le capitalocène, dont l'histoire remonte à environ cinq siècles², est donc un terme plus précis que celui d'anthropocène pour pointer les bouleversements destructeurs générés par des humains sur les qualités homéostatiques de la planète³. » Ainsi, la philosophe ne catégorise pas la nouvelle croûte terrestre visible depuis la révolution industrielle occidentale comme le fruit d'une activité humaine unifiée. Pour les besoins de cette étude, il nous semble cependant que ce terme anthropocène pointe un lieu de crise des activités humaines auquel prend part le design et une partie de l'activité de la connaissance. Ceci est d'autant plus vrai pour les activités de connaissance sur les vivants qui contribuent à étudier ce qui est aujourd'hui en crise de multiples manières : perte de la biodiversité, sixième extinction en devenir, pressions sur divers milieux de vie et les écosystèmes.

Nous pouvons définir la science comme la somme de connaissances partagées entre les êtres humains. De fait, la science est en constante évolution. Son acceptation moderne s'est construite contre une vision divine de la création du monde et a cherché à proposer des récits vérifiables par l'expérience, plutôt que des croyances partagées pour édicter des règles communes. La science est devenue dans l'imaginaire commun « La Science », un projet objectif, global, universel, nous permettant de sortir d'un état d'ignorance. Nous utiliserons, comme nous y incite la philosophe Isabelle Stengers, le pluriel « les sciences » pour éviter cet écueil. Également, avec la mathématisation des connaissances, les sciences modernes se sont construites sur l'éviction du sensible⁴. Nous faisons l'hypothèse de recherche dans ce manuscrit d'une exploration de formes de savoirs faisant place à l'expérience sensible, les « savoirs sensibles⁵ ». La chercheuse en design Francesca Cozzo-

1 RUDDIMAN, William F., ELLIS, Erle C., KAPLAN, Jed O. et FULLER, Dorian Q., 2015. Defining the epoch we live in. *Science*. 2015. Vol. 348, n° 6230, pp. 38-39.

2 La doxa de Descartes d'une science qui nous rendrait « comme maîtres et possesseurs de la nature » anticipe la démesure du système capitaliste (1637).

3 Donna Haraway : « Avec le terme chthulucène, je voulais que l'oreille entende le son des terrestres », 2019. *Le Monde.fr*. [en ligne]. [Consulté le 7 juin 2022]. Disponible à l'adresse : https://www.lemonde.fr/idees/article/2019/01/31/donna-haraway-la-pensee-chthulu_5417206_3232.html

4 ISABELLE, STENGERS, 2013. *Une autre science est possible! Manifeste pour un ralentissement des sciences*. Paris, La Découverte.

5 Cette notion est proche des recherches développées par Frédérique Aït-Touati et Emanuele Coccia sur les « connaissances sensibles » voir par exemple : Enseignement 2017-2018 — La connaissance sensible : arts, sciences et lettres. II : HABU, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 20 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://enseignements-2017.ehess.fr/2017/ue/2024/>

lino utilise ce terme « pour explorer la capacité opératoire pour la recherche en art et en design à produire des connaissances⁶ », qu'elle rapproche à « cette manière particulière de l'art de produire des connaissances dites sensibles⁷ ».

Nous expérimentons dans ce travail de recherche en design des formes, formats et expériences nous mettant en capacité de produire et recevoir des savoirs sensibles. Nous définissons ces derniers comme des savoirs issus de l'activité scientifique, prenant en considération les valeurs des praticiens des sciences et donc ce qui importe à leurs yeux. Ce qu'Isabelle Stengers résume par ce qui « compte » et « pourrait compter » pour ces praticiens des savoirs. Isabelle Stengers dans *Cosmopolitiques*⁸ démontre en effet l'utilité de regarder du côté des pratiques scientifiques, ce qu'elle nomme une « écologie des pratiques » et qu'elle explicite comme une manière de s'intéresser autant aux valeurs des scientifiques qu'aux « exigences portées par leurs questions et des obligations qui leur correspondent ». Les savoirs sensibles sont à regarder du côté de leur réception, ce seraient des savoirs rendus sensibles⁹, car saisissables par les citoyens qui ne seraient plus considérés comme des non-sachants, mais comme faisant partie d'une manière ou d'une autre de la situation du savoir posé. Stengers, dans l'ouvrage précité, montre bien le problème qui se pose à la culture scientifique. L'idée n'est pas seulement que les savoirs circulent à propos des « créatures scientifiques » que sont les trous noirs, gènes, souris transgéniques, et autres super calculateurs ou algorithmes, mais que ces savoirs soient rendues intelligible et sensible pour une audience très diverse. Cela ne changerait pas grand-chose que nous sachions, et que nous soyons tous en connaissance du gène, du fossile ou du virus, sans que cette connaissance s'accompagne d'un cadre plus large pour comprendre les implications du gène, du fossile ou du virus. Pour Stengers, « la nécessité de la culture scientifique nous hante sans que [les] pratiques [scientifiques] lui donnent les moyens d'exister¹⁰ ». Ainsi, il demeure un véritable chantier dans la manière de faire science, au cœur des pratiques et des sciences en train de se faire. Dans cet espace à explorer, il me semble que la recherche en design a un rôle primordial à jouer en tant que projeteur et par sa capacité à matérialiser des hypothèses et à les tester dans des situations concrètes. Par ailleurs, Stengers écrit dans ce même ouvrage :

« Qui s'intéresse, comment peut-on intéresser, à quel prix, selon quels moyens et quelles contraintes, ce ne sont pas là des questions secondes, relevant de la "diffusion" d'un savoir. Ce sont des ingrédients de son identité, c'est-à-dire de la manière dont il existe pour d'autres et de la manière dont il situe les autres. »

Il me semble que ces questions relatives à ce qui « entoure » un savoir, sa matérialité, sa sensibilité¹¹, sa réception et les valeurs qui le préfigurent sont des enjeux auxquels le design peut contribuer.

Dans cette thèse, nous répondons aux enjeux de sensibilité des savoirs, au plus près du terrain de la recherche des pratiques d'ingénierie du vivant, utilisant les technologies 3D. « L'ingénierie du vivant » n'est pas une expression reconnue comme une discipline académique en soi. C'est plutôt une appellation qui concerne les chercheurs en ingénierie qui s'occupent de domaines où les vivants sont concernés : cela concerne le champ de la médecine, des études environnementales ou encore des questions de biologie fondamentale. Les technologies 3D auxquelles nous faisons référence sont tout autant à fonction perceptive que des technologies de fabrications. Ainsi, il s'agit d'une manière d'étudier le vivant qui prend en compte un certain savoir-faire technique lié à la 3D tel que : l'imagerie 3D, la reproduction topographique 3D, la fabrication de modèles 3D à des échelles et avec des matériaux variables, la compréhension du vivant par ses interactions dans un espace à trois dimensions. Ces technologies 3D impliquent des instruments de visualisation, de prise de vue, de fabrique, tels que microscopes, tomographes, scanners, imprimantes 3D, casques de réalité virtuelle, etc. Ces technologies 3D sous-entendent également des savoir-faire liés à ces instruments. Elles impliquent également des nouvelles questions permises par des expériences et qui ne l'étaient pas auparavant. Elles ouvrent en ce sens un champ de possibles. Nous verrons quels types de questions elles posent aux ingénieurs du vivant, et en quoi les pratiques auxquelles ces derniers s'adonnent peuvent se révéler un terreau fertile pour la recherche en design. Par ce barbarisme étrange, « ingénieur du vivant », nous qualifions des scientifiques ayant une activité de recherche en sciences de l'ingénierie et qui se consacrent à des études interdisciplinaires en lien avec la biologie. C'est en particulier la typologie des scientifiques que j'ai côtoyés pendant trois années au sein du LAAS-CNRS.

Cette thèse est basée sur une méthodologie de recherche-création en design dans un contexte interdisciplinaire (design, sciences de l'ingénierie et sciences naturelles) mêlant des considérations technologiques, scientifiques et matérielles en interrogeant les formats de la recherche scientifique en train de se faire. Pour commencer, nous souhaitons poser une définition large du design : nous pouvons dire qu'il s'occupe du cadre de vie matériel¹². Il en conçoit les formes en fonction de différentes scènes, organisant par là même un cadre de vie commune, faisant advenir des mœurs¹³. Le constat est d'aller provoquer le design dans un environnement d'objets techniques où les designers ne sont pas conviés,

6 COZZOLINO Francesca. 2020. « Notes personnelles sur la notion de savoir sensible. » Paris, EnsadLab, PDF non publié. [en ligne]. [Consulté le 20 juin 2022]. Disponible à l'adresse : <https://plateformeartdesignsociete.ensadlab.fr/wp-content/uploads/2020/09/2020-note-savoir-sensible-Cozzolino.pdf>

7 voir : texte de présentation de la Journée d'étude « Savoirs Sensibles : esthétique et anthropologie » organisé par le laboratoire de recherche en art et design de l'École des Arts Décoratifs de Paris EnsadLab » Journée d'étude « Savoirs Sensibles : esthétique et anthropologie », 2021. [en ligne]. [Consulté le 20 juin 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.ensadlab.fr/fr/francais-journee-detude-savoirs-sensibles-esthetique-et-anthropologie/>

8 STENGERS, Isabelle, 2022. *Cosmopolitiques*. La Découverte. Paris : Empêcheurs de penser rond.

9 LA CNU 18 à laquelle est rattachée cette étude est celle du champs de l'esthétique, dont l'une des définitions est la science des connaissances sensibles. (CNTRL)

10 Isabelle STENGERS, *Cosmopolitiques*.

11 Par sensibilité, nous entendons ce qui fait appel à l'expérience sensible du monde à savoir la réception perceptive, corporelle, imaginative du monde, qui nous semble complémentaire d'une réception conceptuelle et idéale.

12 Nous considérons ici le numérique comme faisant partie d'un cadre matériel de la recherche.

13 TIBLOUX Emmanuel et HUYGHE Pierre-Damien, 2008, « *Design, mœurs et morale* », *Azimuts* n° 30.

mais où nous pensons que les questions de design sont omniprésentes.

Le chapitre introductif qui suit, expose le contexte de la recherche et les problématiques de la présente étude. Nous exposerons dans ce premier chapitre le sujet, l'approche et la méthodologie de ce travail de recherche. Le rôle et la posture du design dans un milieu techno-scientifique sont discutés en regard de l'opposition première qui peut se faire entre d'une part une recherche esthétique et de l'autre une recherche de vérité rationnelle. Pourtant, une étude plus fine des deux approches permet de situer un certain nombre de questions et de problématiques communes.



**DU DESIGN
DANS LA
CULTURE
MATÉRIELLE
DES
SCIENCES**

«Nous avons évoqué [...] les risques d'un imaginaire scientifique libéré de toute contrainte et échappant au contrôle du corps social qui, considérant que "ces choses-là" le dépassent, renonce à poser un regard critique sur la science¹». — Louis Bec

1 BEC, Louis, 2014. *Zoosystème*. CIANT. Prague. p. 20

Cahier d'images

Dans le cahier d'images qui suit, nous rendons compte des premiers mois d'arpentage au sein du laboratoire. Il faut voir ce format comme un témoignage d'un paysage technique posé au départ de cette thèse. Les objets qui peuplent ce paysage sont hétéroclites : instrument, rapport, appel à projets, journal, publication, imagerie, objets techniques, outils, etc. Ce cahier d'images insiste sur le caractère matériel de l'espace du laboratoire techno-scientifique au sein duquel nous avons fait notre travail de recherche : espace, matérialité des discours, images partagées, procédés techniques, instruments, gestes sont exposés que ce soit du registre d'un document (extrait de mail, affiche, photographie), du dessin d'intention ou de clarification ou encore par un travail de photographie. Le cahier d'image dévoile le caractère hétérogène de l'enquête menée. En outre, il permet de prendre la mesure de l'écart à opérer entre le terrain étudié et les propositions de design qui suivront. Sauf mention contraire, j'ai réalisé les divers documents iconographiques présents dans ce cahier d'images.



01

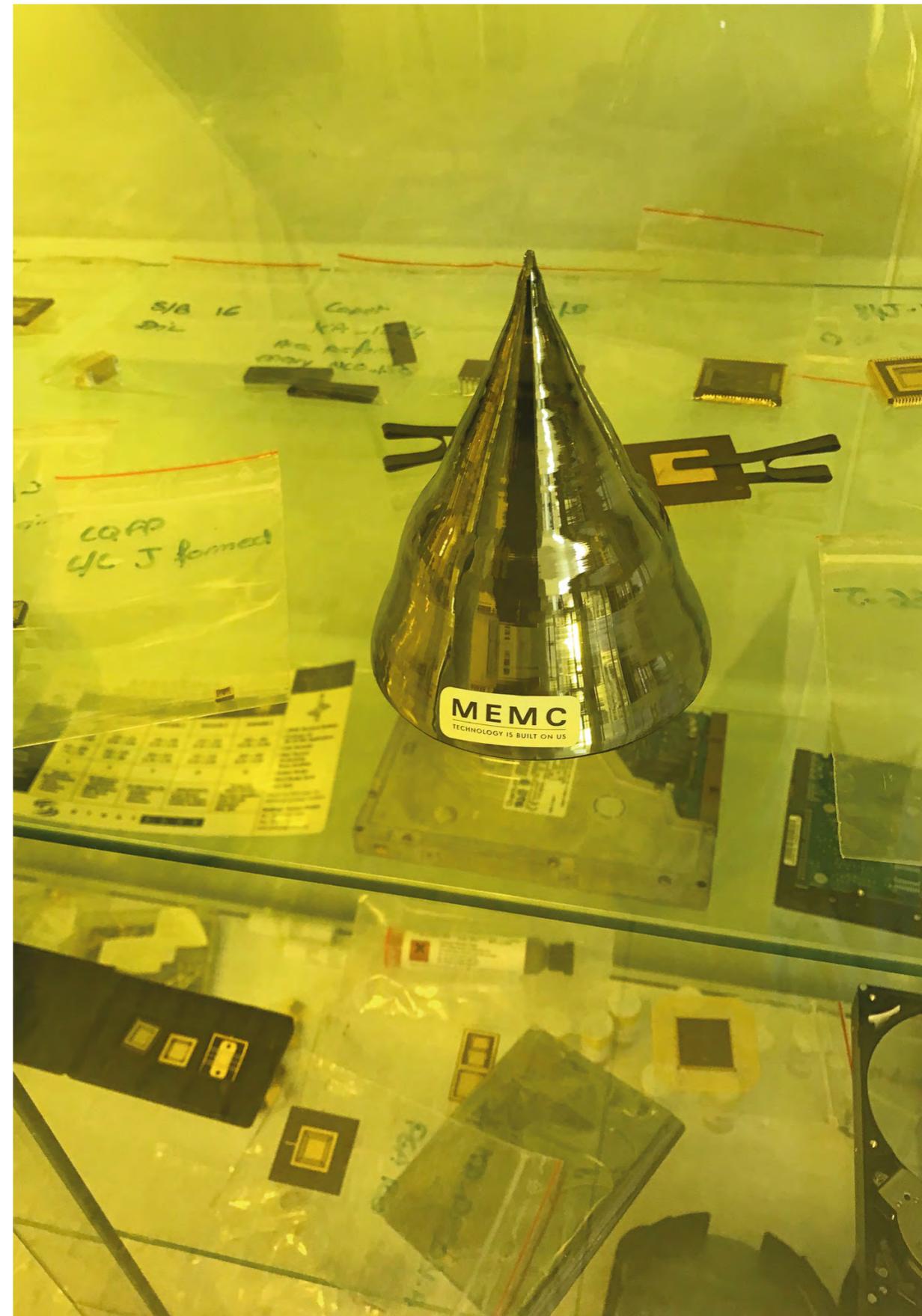


02

03

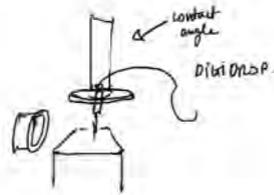


04

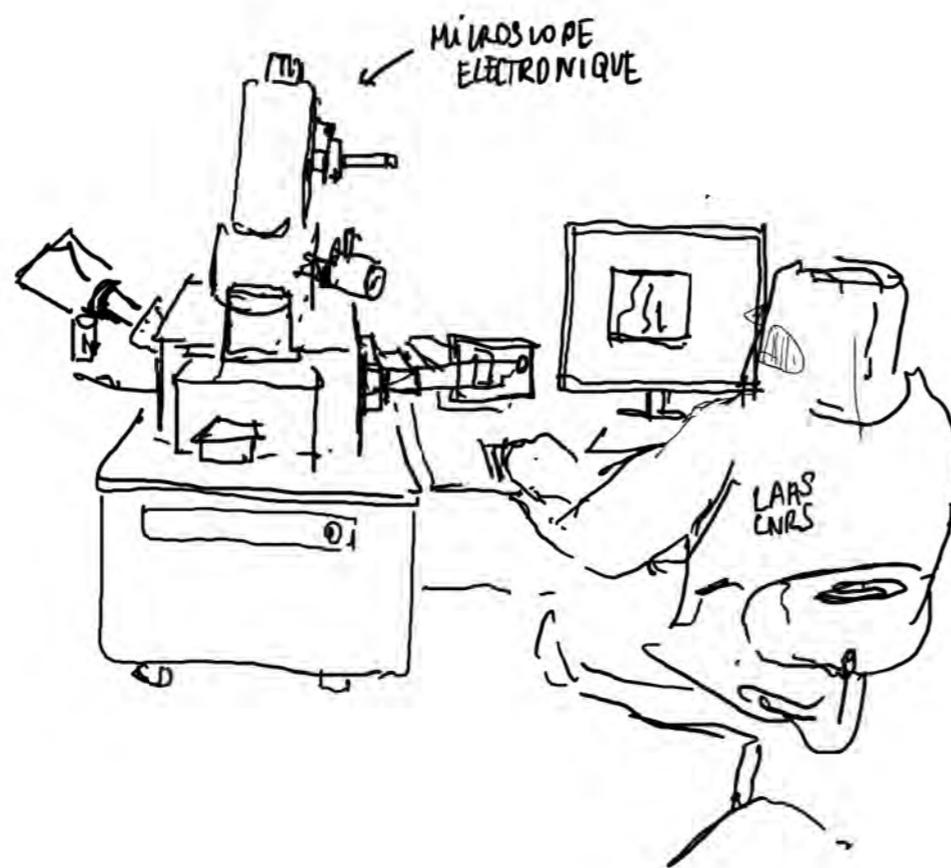


05

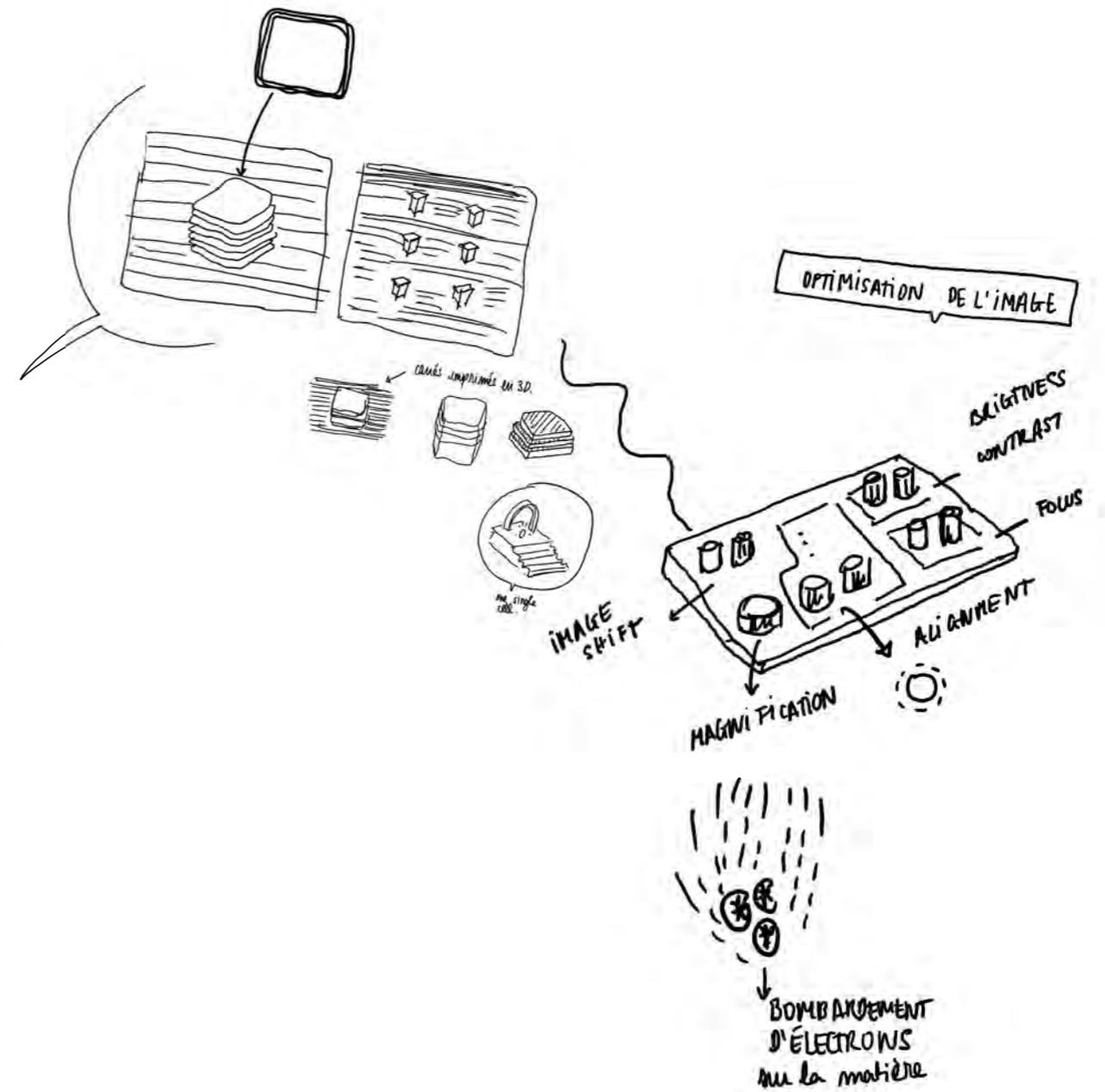
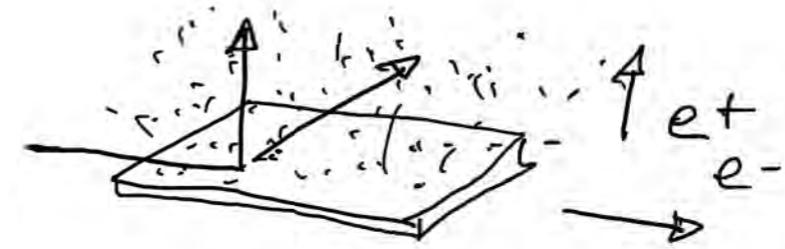
interférences de lumière



AFM
ATOMS OF GRAPHENE

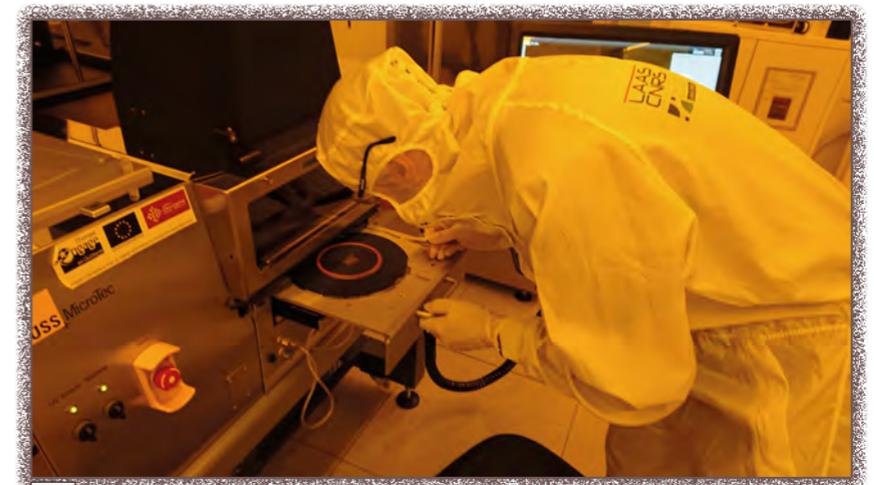


electron → MATERIAL conductive





07



08



09



10

[utilisateur salle blanche] congélateur -40°C salle blanche / -40°C freezer in clean room

Sujet : [utilisateur salle blanche] congélateur -40°C salle blanche / -40°C freezer in clean room

De :

Date : 27/09/2021, 17:04

Pour :

Bonjour, (English below)

Il semble que quelqu'un ait laissé ouverte la porte du congélateur à -40°C (zone assemblage intégration en salle blanche). Nous ne savons pas si cela date de ce matin ou de vendredi, mais la température semble être remontée jusqu'à +10°C. À cet instant elle est redescendue à -4°C, mais nous devons cumuler plusieurs cycles de dégivrage pour lui redonner sa pleine capacité de refroidissement et parvenir à nouveau à une température < -35°C. Si cela ne suffit pas, nous devons le dégivrer entièrement (arrêt total et retour à 20°C pendant ~ 1 journée).

Dans l'attente, les produits les plus sensibles à notre connaissance ont été placés dans le congélateur -15°C situé à sa droite ou dans un autre congélateur en nano lithographie. Si vous avez d'autres produits particulièrement sensibles stockés dans ce congélateur pensez à les y placer également.

Si nous sommes amenés à amener le congélateur à 20°C pour le dégivrer totalement, nous vous en tiendrons informés au préalable.

Bonne fin de journée,

TEAM

Hello,

It seems that someone left the -40°C freezer door open (assembly integration area in clean room). We don't know if it was this morning or Friday, but the temperature seems to have risen to +10°C. At that moment it came back down to -4°C, but we have to accumulate several defrost cycles to restore it to full cooling capacity and achieve a temperature < -35°C again. If that is not enough, we will have to defrost it entirely (total stop and return to 20°C for ~ 1 day).

In the meantime, the most sensitive products to our knowledge were placed in the -15°C freezer on its right or in another freezer in nano lithography area. If you have other particularly sensitive products stored in this freezer, consider placing them there as well.

If we need to bring the freezer to 20°C to defrost it completely, we will keep you informed in advance.

Have a nice day,

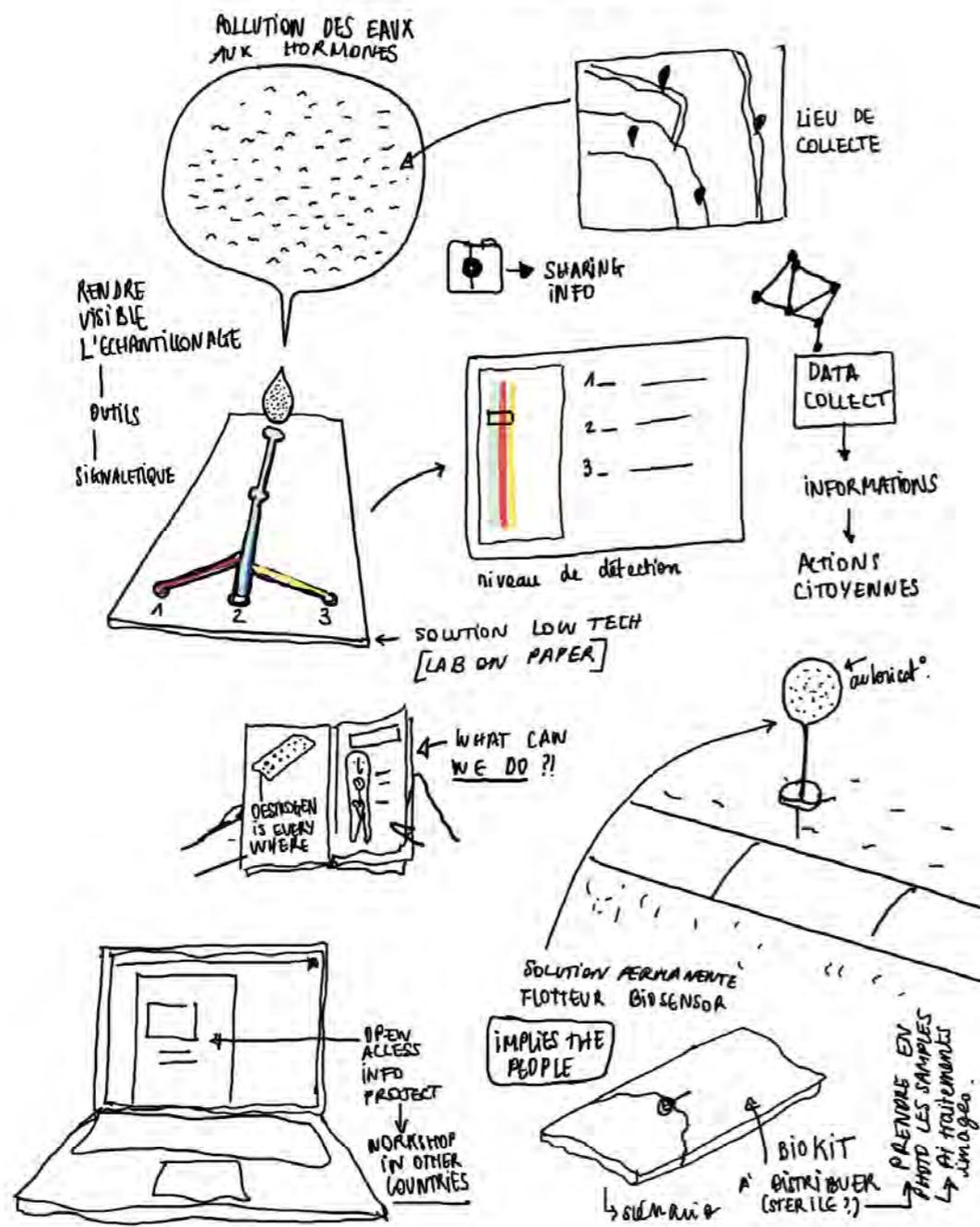
TEAM

1 sur 1

27/09/2021, 17:43

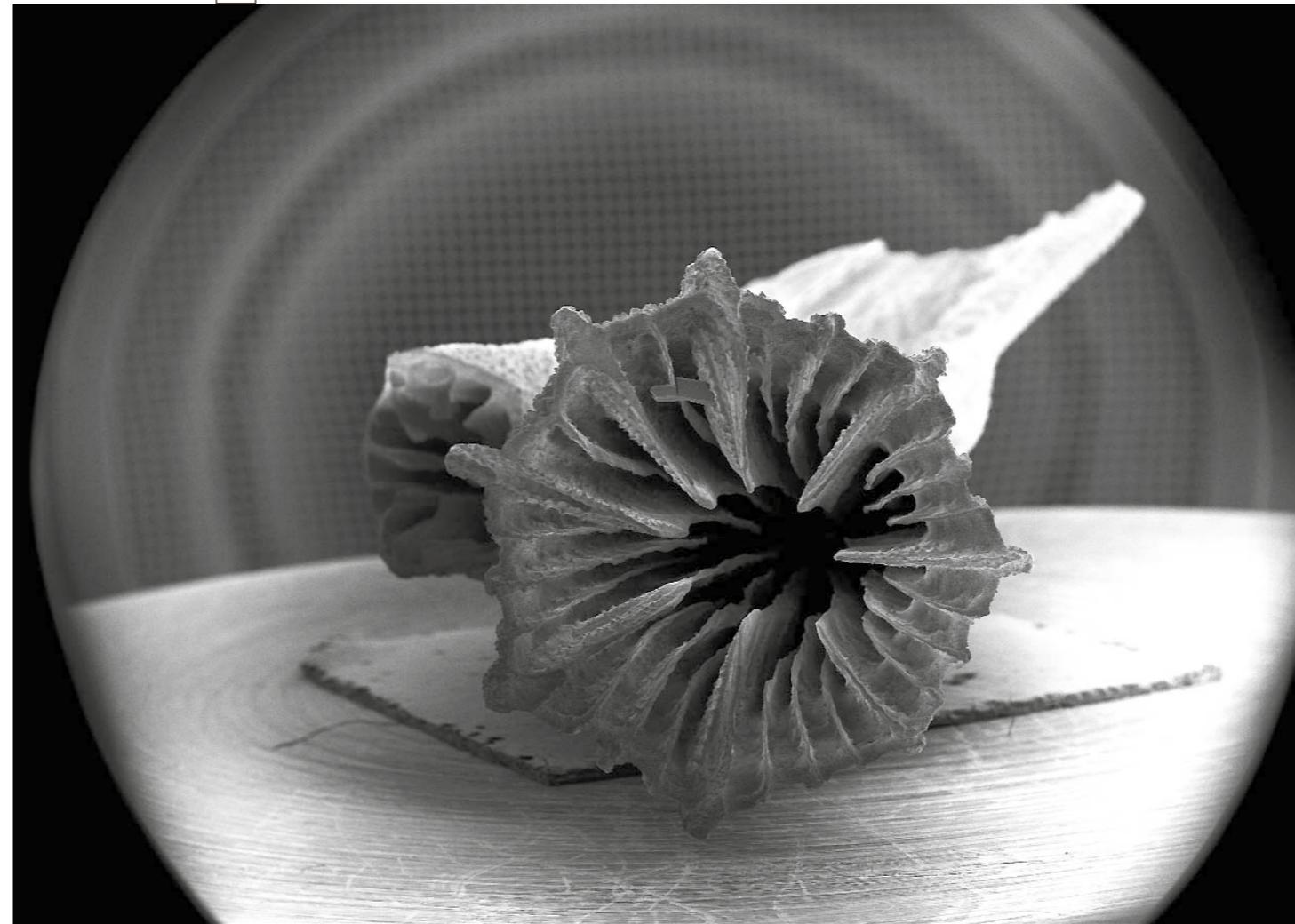
11

RIVERS AS BIOPOLITIC ISSUES



12

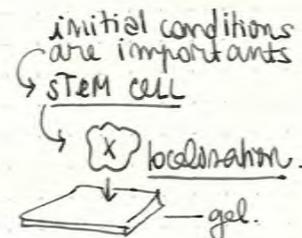
13



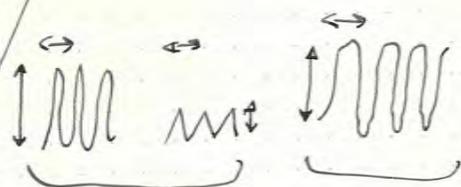
LSI

→ 4D bioprinting
 Codex: → microtissue.
 → physiopathologie
 → fonction biologique.
 → médecine régénérative.
 Δ Causes / Conséquences

Δ ne pas faire dire au papier ce qu'ils ne disent pas.



Denis:
 3D top config.
 sur le github
 (avec ilom et #?)



"The cells feel the 3D structures"

3D → FORM OF ORGANS → CONVERSIONS?

• Mechanical compartmentalization of the intestinal organoid models: crypt folding and collective cell migrations.

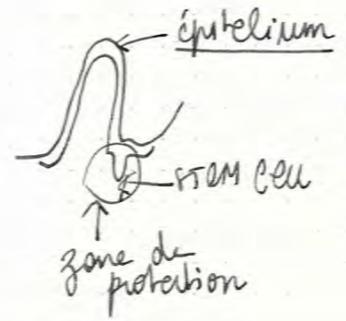
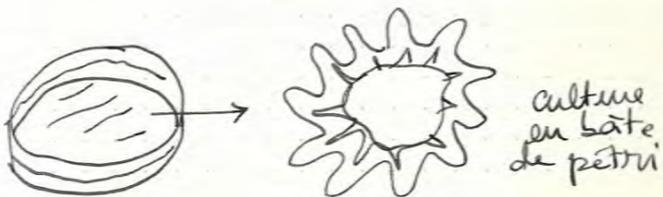
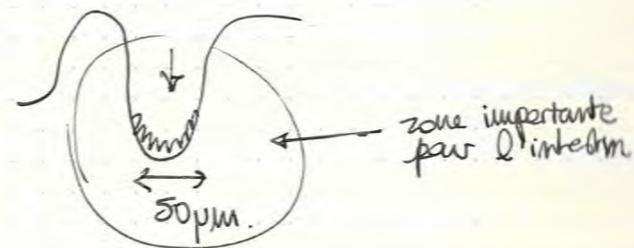
↳ Pour expliquer le papier, Laurent reprend toutes les figures comme si elle avaient valeur de vérité, de preuve.

"Science de vérité par l'image"

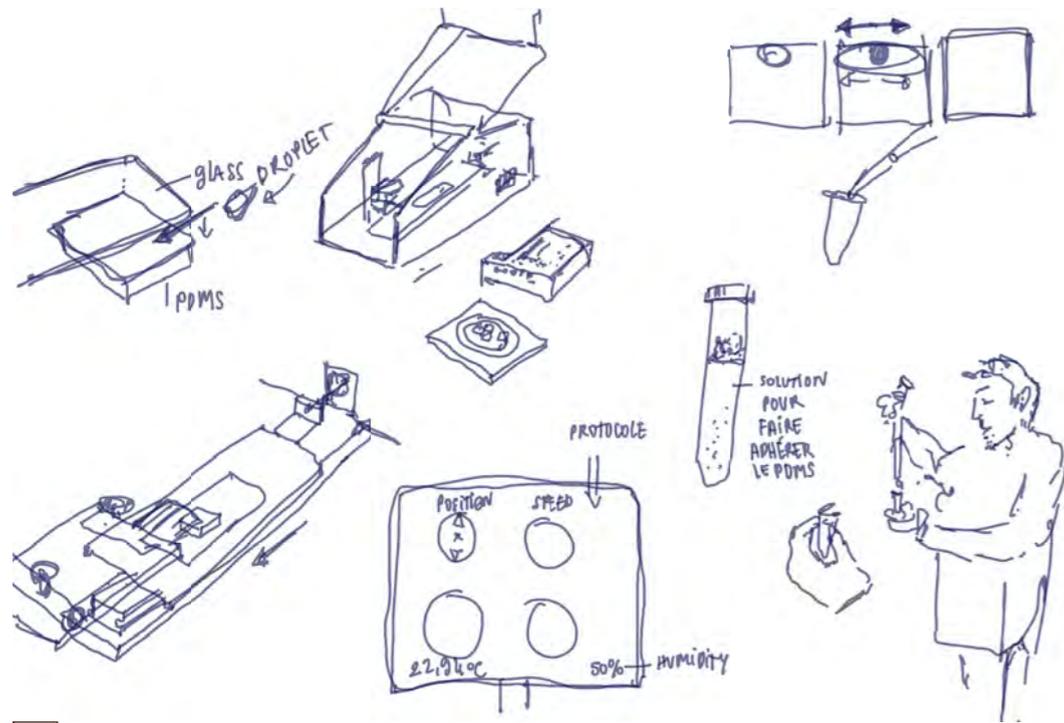
11/10/2021 Group meeting elia.

951

In vitro models of intestinal epithelium
 Intestinal epithelium compartments
 Finding alternative to Organoids or 2D cell culture → in vitro mandarin models.



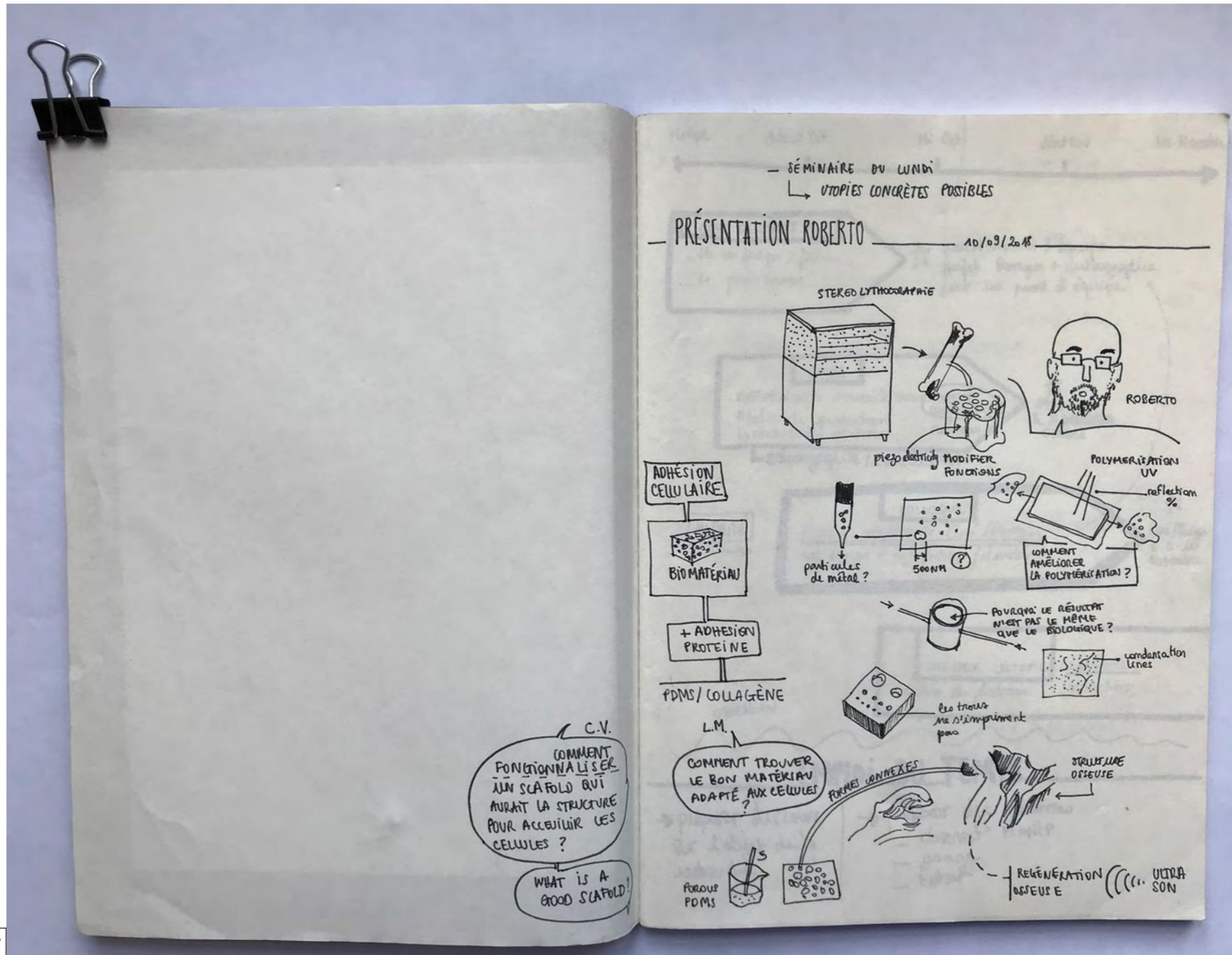
Il y a un impact dans le passage du 2D au 3D.



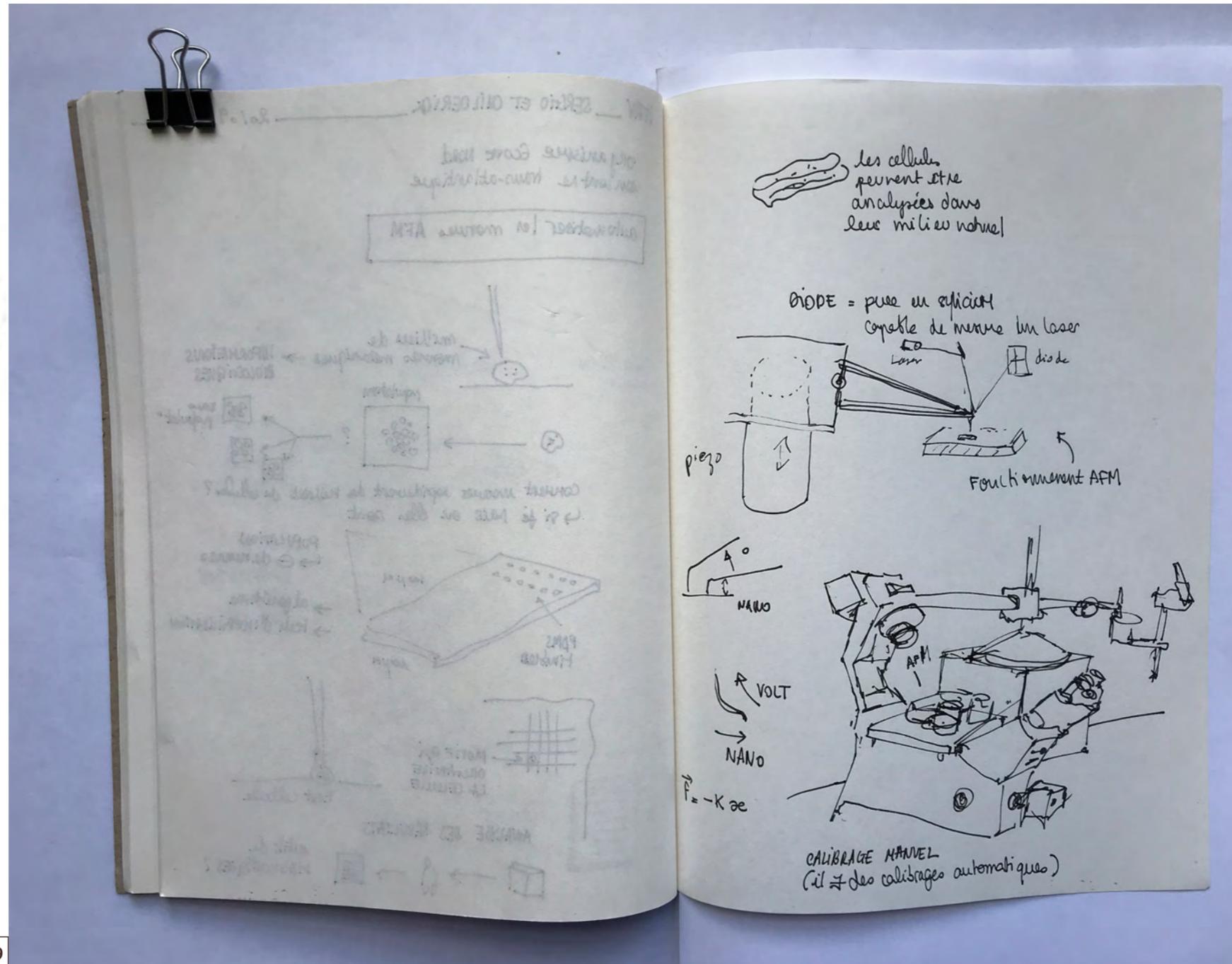
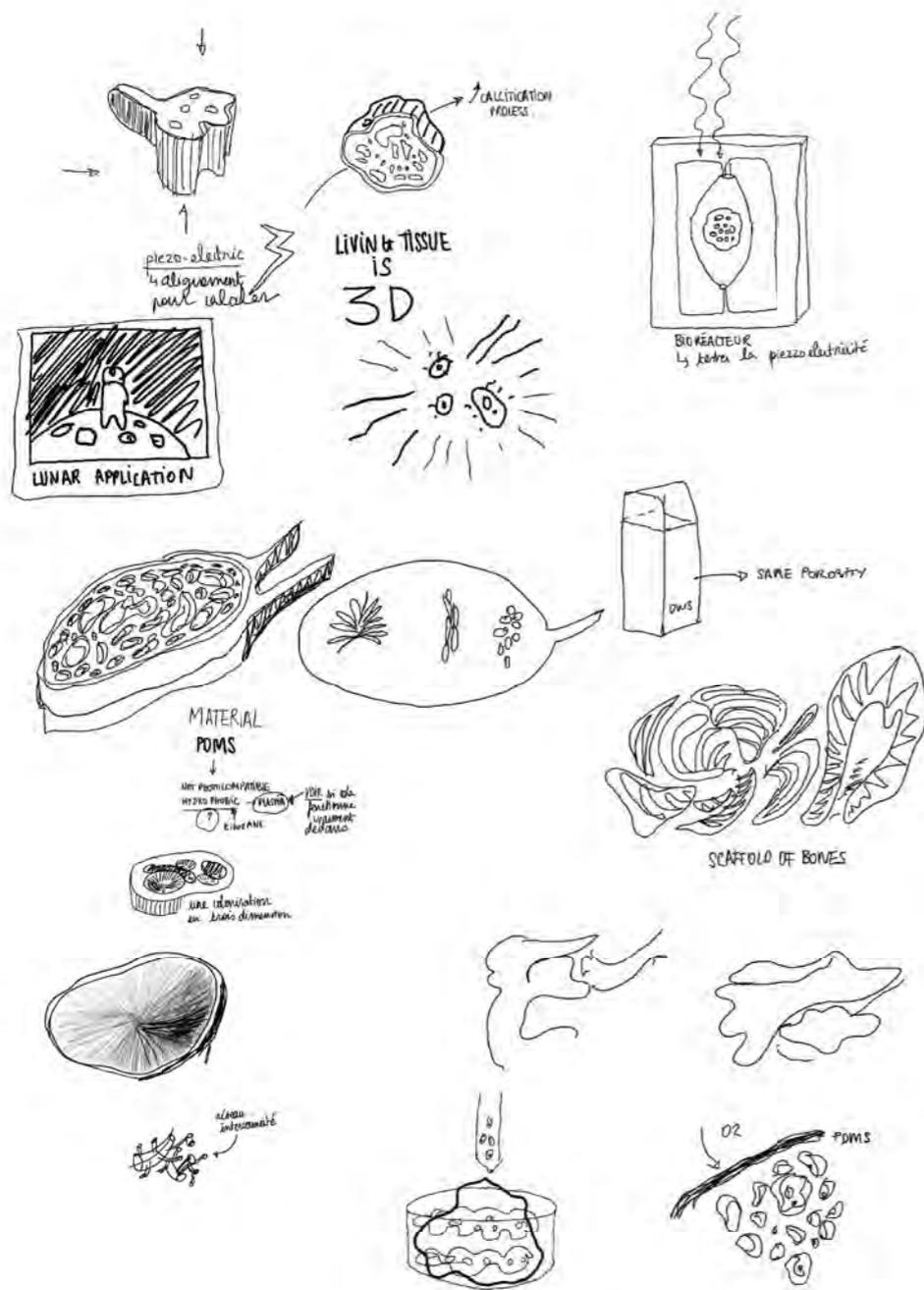
15



16



POROUS MICRO ENVIRONMENT
FOR 3D BONES CELLS CULTURES



1. Photographie d'un des espaces de la salle C211 du LAAS-CNRS, espace hybride de caractérisation pensé pour les micros et nanosystèmes, construits pour l'axe transdisciplinaire d'interactions avec le vivant ALIVE (400 m²).

2. Photographie d'un espace de la salle blanche du LAAS-CNRS permettant de fabriquer des structures atome par atome.

3. Photographie de deux chercheurs en tenue dans la zone caractérisation de la salle blanche du LAAS-CNRS autour des microscopes à balayage électronique (MEB).

4. Photographie d'un chercheur plaçant son dispositif sur le support du MEB afin de pouvoir de caractériser avec cette technique de microscopie qui n'est pas oculaire, mais utilise un champ d'électrons pour recomposer l'image à des échelles nanométriques des objets étudiés.

5. Photographie d'une vitrine d'objets techniques exposés à l'entrée de la salle blanche. Ici la partie non utilisée d'une barre cylindrique de silicium qui est utilisé pour faire les *wafers* (plaque très fine de matériau utilisée pour fabriquer des composants de microélectronique).

6. Captation graphique d'un moment de caractérisation en salle blanche (MEB) auprès du chercheur Mouhanad Babi.

7. Photographie en salle blanche du LAAS-CNRS

8. Photographie en salle blanche du LAAS-CNRS

9. Photographie en salle blanche du LAAS-CNRS, le chercheur utilise ici un outil de production à la résolution nanométrique, appelé *nanoscribe*.

10. Photographie d'un espace où sont affichées deux images faites au MEB de fabrication à nanoéchelle de temples à échelle miniature. Les constructions n'ont pas ici une utilité scientifique, mais constituent des images partagées au sein du laboratoire.

11. Série de dessins d'intention réalisés suite à une présentation autour de puces microfluidiques pour analyses environnementales en milieu aqueux.

12. Capture d'écran d'un mail rendant très tangible la matérialité des sciences.

13. Image MEB d'une corallite de corail d'eau froide où l'on voit le socle et la grille de fond de l'espace de l'échantillon.

14. Prise de notes durant des réunions d'équipe sur un projet de reconstruction d'intestin en 3 D. Évocation des liens entre fabrication 3D et interactions avec les cellules.

15. Captation graphique auprès du chercheur Mouhanad Babi

16. Photographie du chercheur Roberto Riesco entrain de manipuler sous sorbonne.

17. Captation graphique durant une réunion d'équipe, présentation du projet de thèse de Roberto Riesco

18. Captation graphique autour des recherches de Roberto Riesco sur le PDMS poreux.

19. Captation graphique autour de l'instrument d'un microscope à force atomique (AFM).

1. Contexte et objet de l'étude

Positionnement de départ et son évolution

Les questions au commencement de ce travail de recherche s'ancrent dans les imaginaires des nano-objets produits en laboratoire techno-scientifiques et leurs futurs devenir afin d'anticiper d'éventuels usages de ces technologies et donc de les mettre en débat. Je formule alors l'hypothèse d'un laboratoire comme d'un lieu de production au sein duquel il existe d'une place pour les designers. De la même manière que le designer s'est positionné avec l'industrie au XVIII^e siècle afin de réfléchir l'adéquation entre les formes des productions et la production des formes², j'imagine ainsi comme tâche au design de « réhabiliter l'imaginaire dans la production scientifique elle-même » mon objectif était de découvrir une « culture nanotechnologique³ », comprise comme une culture sensible de ces technologies explorant un monde invisible, aux échelles si infinitésimales qu'il se rapproche des plus petits éléments de la matière. Je formulais cette problématique de départ : « Dans le paysage imperceptible [des nanotechnologies] par l'être humain, que peut le design qui, historiquement, porte une réflexion sur les fonctions et les formes des environnements de vie ? Que devient sa forme quand celui-ci s'intéresse à la production des nano-objets créés en laboratoires ? » La question de la forme des productions et des formats du design est effectivement une des questions à laquelle j'ai tenté de répondre au sein de ce travail, nous verrons que la recherche s'est déplacée des nanotechnologies vers la bio-ingénierie. Des écarts ont bien sûr été pris dans la manière d'y répondre. Ainsi, nous n'avons pas pratiqué de *critical design*⁴ ou de *design fiction*⁵ au sein de cette thèse. Les réflexions d'un colloque auquel j'ai participé⁶ au début de la thèse m'ont notamment permis de mieux positionner l'étude. Les réflexions issues de ce colloque ont donné lieu à l'écriture d'un chapitre d'ouvrage⁷. J'analyse dans cet article des objets de design fiction à travers lesquels sont posées des critiques et réflexions sur les techno-utopies des corps. Un des points importants qui est apparu, et qui nous a semblé être l'un des angles morts de cette pratique, est son positionnement, qui intervient, dans de nombreux cas, après les inventions techniques et spéculé à partir des discours techno-scientifiques. Ainsi, certains

2 voir MIDAL, Alexandra, 2009. *Design: introduction à l'histoire d'une discipline*. Pocket.

3 Au sens où Simondon a pu introduire la notion de « culture technique ».

4 Ce terme est utilisé par Anthony Dunne pour définir une typologie de design spéculative, conceptuelle et provocante. Dans : DUNNE, Anthony, [1999] 2005. *Hertzian Tales: Electronic Products, Aesthetic Experience, and Critical Design*. MIT Press books.

5 L'auteur de science-fiction Bruce Sterling introduit le terme de design fiction dès 2005. Il sera théorisé par Julian Bleecker dans son essai BLEECKER, Julian, 2009. *Design Fiction: A Short Essay on Design, Science, Fact and Fiction*. pp. 49. Pour plus de détails voir : MOLLON, Maxime, 2019. *Design pour débattre : comment créer des artefacts dissonants, et leurs situations de communication, afin d'ouvrir des espaces de contestation mutuelle (agonisme) et d'expression des voix marginales (dissensus)*. Thèse de doctorat. Paris Sciences et Lettres (ComUE). p. 28

6 RIGOT, Élise, 2018. « Nano f(r)ictions, entre imaginaires et poussées techniques, le design comme critique », conférence au colloque international « Cinéma-Design », Université Toulouse – Jean Jaurès, dir. Pia Pandelakis et Irène Dunyach.

7 RIGOT, Élise Rigot, 2023 [article à paraître]. « Le design fiction à l'épreuve des techno-utopies des corps », *Encyclopédie des objets impossibles* (dir. Irène Dunyach, Saul Pandelakis, Elise Rigot), actes augmentés du colloque international CinéDesign 2, 2018. éditions HYX. L'article est reproduit au Chapitre 2 de ce manuscrit.

discours portés par les communautés scientifiques sont repris et installés à l'intérieur des scénarios de design fiction sans pour autant prendre le recul nécessaire sur ces discours qui sont des constructions esthétiques, sociales et économiques. Il me semble que cette dérive consacre sans alternative des imaginaires tels que ceux inscrits dans les mouvements du transhumanisme tel que l'immortalité et l'augmentation des performances humaines. Olivier Rey définit le transhumanisme comme un projet économique qui vise à la transformation des corps humains avec des technologies afin d'en augmenter les capacités physiques ou cognitives⁸. Un des risques serait que les designers prennent pour acquis les discours des scientifiques, médecins, chercheurs, ingénieurs à l'endroit des technosciences, et qu'en prolongeant des futurs déjà suggérés et proposés par les parties prenantes des technosciences, ils ancrent davantage ces discours et les fassent passer dans une culture commune. La problématique de l'économie des promesses est qu'elle va à l'encontre de la déontologie et de l'intégrité scientifique⁹. Le fonctionnement de la recherche scientifique par projet pousse les chercheurs à programmer des résultats et des retombés (par exemple pour soigner le cancer) qu'ils ne peuvent pourtant pas prévoir. Ainsi, promettre des retombées économiques et sociales à la fois difficilement anticipables et parfois impossibles à atteindre, a pu devenir le lot des chercheurs en quête de financements. Le philosophe Gilbert Hottois explique ainsi un biais de la recherche scientifique qui influence ses acteurs à promettre des retombées médicales ou économiques. Il écrit : « Que n'ont-ils pas promis, au cours de ces toutes dernières décennies, dans le domaine des biotechnologies et de la biomédecine, par exemple¹⁰. » Je propose alors, dans l'article précité, « Le design fiction à l'épreuve des techno-utopies des corps », d'incarner un pragmatisme spéculatif à l'intérieur du design fiction et de partir de l'observation des pratiques au présent dans une approche similaire à l'anthropologie. Le « pragmatisme spéculatif », tel qu'expliqué par la philosophe Isabelle Stengers¹¹, aurait cette capacité d'un ancrage dans les pratiques pour appuyer une pensée spéculative, régénératrice de sens et d'imagination plurielle.

Dans le domaine qui nous occupe, le philosophe Sacha Loeve soulève d'une part l'inadéquation des grands discours qui entourent les nanotechnologies par rapport à leur réalité de production en laboratoire dans sa thèse, *Le concept de technologie à l'échelle des molécules-machines. Philosophie des techniques à l'usage des citoyens du nanomonde*¹². S'éloigner des promesses ouvre une voie, selon nous, à une redéfinition des valeurs et des objectifs pour lesquelles, les recherches pourraient être destinées. Un autre trait important du point de vue de la conception matérielle tient dans la filiation que fait le philosophe entre des façons d'appréhender le vivant et la machine au sein de l'histoire de la philosophie qui

8 REY, Olivier, 2018. *Leurre et malheur du transhumanisme*. Desclée de Brouwer.

9 Les biais de financement et d'évaluation de la recherche scientifique entraînent parfois de la fraude, une affaire mise en lumière par la pandémie de la Covid-19 concerne le professeur Raoult, selon une étude de Mediapart, des tests PCR ont été orientés pour conclure à l'efficacité de l'hydroxychloroquine. « Des accusations de falsification scientifique contre le professeur Raoult », 2021. *Le Monde.fr*. [en ligne]. [Consulté le 19 mai 2022]. Disponible à l'adresse : https://www.lemonde.fr/planete/article/2021/11/19/des-accusations-de-falsification-scientifique-contre-le-professeur-raoult_6102896_3244.html

10 HOTTOIS, Gilbert, 2006. La technoscience : de l'origine du mot à ses usages actuels. *Recherche en soins infirmiers*. N° 86, p. 24-32.

11 STENGERS, Isabelle, 2015. L'insistance du possible. *Gestes spéculatifs*. 2015. p. 5-22.

12 LOEVE, Sacha, 2009. *Le concept de technologie à l'échelle des molécules-machines. Philosophie des techniques à l'usage des citoyens du nanomonde*. Paris 10. Thèse de doctorat.

influence la façon dont les chercheurs œuvrent à la production de machines moléculaires. La réelle prise en compte du mode d'existence de ces dernières fait émerger un discours technique d'ingénierie du vivant, au sein de ce discours et à l'intérieur de ces pratiques, il y a des réflexions auxquelles les designers peuvent prendre part car c'est à l'intérieur des pratiques qu'il existe des possibles. Dans le chapitre d'ouvrage « *Design and Aesthetics in Nanotechnology*¹³ », Loeve critique un design qui ne s'engage pas assez dans le nanomonde, et il remarque que, si au quotidien les chercheurs conçoivent (*to design*) de nouveaux dispositifs expérimentaux, quand il s'agit d'objets d'usage courant, leur imaginaire et leur design sont très pauvres. Il écrit à ce propos :

« Au lieu de s'engager dans le nanomonde, les designers ne travaillent que sur les dimensions symboliques, métaphoriques et sociétales des applications futures et des utilisations potentielles des nanotechnologies, déconnectées de leur mode d'existence actuel, dont les dimensions matérielles et opérationnelles sont tenues hors de portée des designers, laissées aux scientifiques¹⁴. »

Loeve soulève deux problématiques ici : la première est une problématique de posture voire de méthode : comment concrètement travailler au design des nanotechnologies ? Faut-il le faire depuis les discours sur les nanotechnologies, ou depuis les pratiques ? La seconde problématique est une question de pouvoir. En expulsant les designers des sphères de décisions et de la réalité tant opératoire, technique, objective et esthétique des nanotechnologies, ces derniers ne peuvent pas en investir le champ. Pour Loeve, cette situation mène à un constat inquiétant où « les utilisateurs ne sont reliés à la nanodimension que par le halo de promesses et de craintes symbolisant "l'avenir"¹⁵. » Loeve suggère au design de revendiquer son rôle de « techno-esthétique ». Le design des nanotechnologies reste pour Loeve à inventer et il devrait s'occuper de ce qui compte de rendre sensible afin de rendre discutabile, et donc, politique. Ainsi, le design des nanotechnologies ne peut se réduire à une conception de type ingénieur (*to design*).

Comme je l'expose rapidement ici, le début des hypothèses de ce travail de recherche en doctorat avant que l'étude ne démarre, concernait les nanotechnologies et une mise à distance des discours. En faisant l'état de l'art, nous avons préféré partir du terrain et des pratiques pour voir quelles hypothèses de projet nous pourrions alors proposer à partir de l'enquête. Cette expérience de terrain, a fait l'objet d'enquête de ma part. J'exposerai les enjeux de ce terrain particulier dans la suite du propos.

13 LOEVE, Sacha, 2018. *Design and Aesthetics in Nanotechnology*. In : LOEVE, Sacha, GUCHET, Xavier et BENSUADE VINCENT, Bernadette (éd.), *French Philosophy of Technology*. Cham : Springer International Publishing. p. 361-384.

14 Sacha LOEVE, *Design and Aesthetics in Nanotechnology*, traduction personnelle : « *Instead of engaging with the nanoworld, designers work only on the symbolic, metaphoric and societal dimensions of future applications and potential uses of nanotechnology, disconnected from its present mode of existence, whose material and operative dimensions are kept out of reach of designers, let to scientists.* »

15 Sacha LOEVE, *Design and Aesthetics in Nanotechnology*, traduction personnelle : « *users are connected to the nano-dimension only by the halo of promises and fears symbolizing "the future."* »

À l'intérieur de la technoscience

Un terme aux multiples sens

Le philosophe Gilbert Hottois revient sur l'historicité du terme technosciences dans l'article « La technoscience : de l'origine du mot à ses usages actuels ». Il explique comment, dans les années 1970 « technosciences » devient le symbole du mal absolu¹⁶. Pour Hottois, ce terme a une histoire et une géographie, il vient de la Seconde Guerre mondiale et émane des États-Unis. D'après Hottois, le terme s'est diffusé en France à travers deux auteurs : le philosophe Jean-François Lyotard et le sociologue des sciences Bruno Latour. Bruno Latour en fera la diffusion dans son ouvrage, *La science en action* (première parution en anglais en 1987). Le terme désigne alors la science telle qu'elle se pratique, avec ses réseaux d'acteurs, ses pratiques rhétoriques, et leur manière de fonctionner comme des entreprises — voire des complexes militaires, « *Technoscience is a military affair*¹⁷ » écrit Latour. La dimension négative de ce terme nous paraît importante à poser tant elle est chargée sémiotiquement d'une sorte d'instrumentalisation du savoir scientifique. Hottois revient sur cette difficulté pour les scientifiques au sein des technosciences qui continuent de travailler avec intégrité scientifique et à la recherche de vérité.

« Comme cette communauté fait partie d'un sujet pluriel hétérogène qu'elle ne contrôle pas ni ne finalise, les intentions et les valeurs cognitives et créatives qui l'animent en même temps que le travail qu'elle produit sont instrumentalisés au profit de valeurs et d'intérêts étrangers, dans lesquels le chercheur ne se retrouve pas ou fort peu¹⁸. »

Cette condition de quasi-servitude explique en partie, selon Hottois, la forme d'économie de promesse qui s'installe dans les technosciences. L'autre facette de cette « sciences des promesses » s'explique par les possibilités multiples qui peuvent découler des technosciences et qui pousse à spéculer sur ce qu'elles pourraient offrir comme futurs produits, applications, etc. Quelles sont leurs retombées ? est la question que nous entendons couramment (souvent entendue dans le sens d'un investissement économique dans les technosciences afin qu'elles fassent fructifier de nouveaux marchés). Pour Hottois, les technosciences rassemblent ces différents critères « financement public et privé ; enjeux cognitifs largement instrumentalisés par les enjeux économiques, politiques, juridiques (brevets) »¹⁹. Ainsi, science et société ne sont pas séparées dans la condition techno-scientifique du savoir. Les auteurs de *Research objects in their technological setting*²⁰ spécifient par ailleurs le rôle de la technologie dans la production des savoirs techno-scientifiques. Dans la science (les sciences²¹), la technologie s'attache à la création d'un phénomène ou bien à la représentation des résultats ; dans la technoscience, la différence est que les

16 Gilbert HOTTOIS, *La technoscience : de l'origine du mot à ses usages actuels*.

17 LATOUR, Bruno, 1987. *Science in action: How to follow scientists and engineers through society*. Harvard university press.

18 Gilbert HOTTOIS, *La technoscience : de l'origine du mot à ses usages actuels*.

19 Gilbert HOTTOIS, *La technoscience : de l'origine du mot à ses usages actuels*.

20 BENSAUDE-VINCENT, Bernadette, LOEVE, Sacha, NORDMANN, Alfred et SCHWARZ, Astrid, 2017. *Research objects in their technological setting*. Taylor & Francis.

21 Nous préférons, comme le suggère Isabelle Stengers, parler des sciences au pluriel car les pratiques et visées scientifiques ne sont pas unifiées.

théories, modèles et algorithmes s'insèrent dans un contrôle prédictif et technique. Pour les auteurs, si l'on peut dater les technosciences aux alentours de la Seconde Guerre mondiale, elles ne constituent pas en soi un changement de paradigme. De plus, il ne s'agit pas de savoir si l'on est pour ou contre la technoscience, s'il y a ou pas une rupture historique dans les pratiques techno-scientifiques, il s'agit plutôt d'étudier les objets produits par la recherche et d'en comprendre la nature spécifique, leur caractère potentiellement nouveau. La dimension objectale de la technoscience est mise en avant par la philosophe et historienne des sciences Bernadette Bensaude-Vincent, qui écrit : « la science du XXI^e siècle vise moins à connaître ou comprendre la nature qu'à faire ou fabriquer. D'où l'usage désormais banal du terme "technoscience", qui combine en un seul terme deux visées différentes : cognitive et technique²². » Il me semble que dans ce changement d'optique qui passe de l'œil à la main, du microscope à la fabrique, de la *phusis* à la *poiesis*, la condition techno-scientifique des sciences actuelles pose des questions de design.

Pour Bernadette Bensaude-Vincent, la question posée par les technosciences est de savoir si nous pouvons « gouverner les technosciences quand tout suggère que nous sommes plutôt gouvernés par elles²³ » En effet, pour la philosophe, « la technoscience correspond à une instrumentalisation de la science comme de la technique, au service de projets idéologiques qui tentent de concilier en proportions variées le néolibéralisme obsédé par la compétition économique et les idéaux démocratiques et humanistes²⁴. » Bernadette Bensaude-Vincent, corrobore ce propos en expliquant que le caractère différenciant des technosciences est l'entrée en scène des politiques puis du marché dans le monde de la recherche. « La technoscience telle qu'elle se déploie aujourd'hui se distingue moins par un renversement des priorités entre science et technique que par une entrée en scène des politiques, puis du marché dans le monde de la recherche²⁵ » Il nous semble que cette condition des technosciences impose de repenser les formats de recherche. Si l'on s'appuie sur les travaux de Donna Haraway, la technoscience est constituée d'un « un réseau d'histoires, d'agences et d'instruments²⁶ ». Elle est donc de fait une culture matérielle, sociale et imaginaire. Cette culture ne doit pas rester un impensé.

Projet : entre préméditation et projection

À la fin des années 1970, le designer et théoricien Alessandro Mendini affirme qu'« il faut introduire la notion négative de dé-projet. Le dé-projet, c'est le projet conçu à l'envers : au lieu d'augmenter la quantité d'informations et de matières, le dé-projet l'enlève, la réduit, la minimise, la simplifie, il rationalise les mécanismes enrayés. Le dé-projet est une création décongestionnante, qui n'a pas comme objectif la forme architecturale.²⁷ » En creux, Alessandro Mendini donne une définition du projet et montre l'historicité du terme de « projet » en design, qui signifie l'ensemble des éléments permettant la réalisa-

22 BENSAUDE-VINCENT, Bernadette, 2009. *Les Vertiges de la technoscience*. Paris : La Découverte. p.7

23 Bernadette BENSAUDE-VINCENT, *Les Vertiges de la technoscience*. p. 15.

24 Bernadette BENSAUDE-VINCENT, *Les Vertiges de la technoscience*, p. 81.

25 Bernadette BENSAUDE-VINCENT, *Les Vertiges de la technoscience*. p. 195.

26 HARAWAY, Donna, 1997. *Modest Witness@Second Millennium*. *FemaleMan_Meets_Oncomouse: Feminism and Technoscience*. New York, Routledge.

27 MENDINI, Alessandro, GEEL, Catherine et CARAMIA, Pierangelo, 2014. *Ecrits d'Alessandro Mendini:(architecture, design et projet)*. Les Presses du réel.

tion de la conception. Le projet en architecture et en design est une action. On parle de « faire projet », de « se projeter » en lien avec le terme italien *projetarre*. Un projet est donc toujours une projection, une « projection », qui implique un certain imaginaire et une certaine idée du futur que le design souhaite transformer. Il y a un double mouvement dans ce terme en design : il y a des projets (principalement des réalisations) et il y a de la projection (des manières de faire projets²⁸). La discipline du design est par ailleurs fréquemment qualifiée de « discipline du projet²⁹ ».

Le terme projet dans la pratique scientifique n'a pas la même histoire et repose plus sur l'importation de méthodes issues des entreprises vers la recherche. Ainsi, il ne s'agit pas forcément d'une future réalisation (« un projet ») ou bien d'un verbe d'action (« se projeter »), mais plutôt d'un mode de management de la recherche. En effet, pour la technoscience, « la culture du projet ne ressemble en rien à la culture universitaire d'augmentation du savoir³⁰ ». Ces définitions de projet ainsi posées, nous avons souhaité voir en quoi la pratique du design déplaçait la notion de projet techno-scientifique dans la suite de ce travail, d'une position managériale, à une proposition projective.

Objectivités et valeurs

L'une des problématiques de la science actuelle est bien de se penser comme en dehors du monde ; on utilise souvent l'expression « temple de la connaissance³¹ » pour signifier les laboratoires de recherche, comme s'ils étaient impénétrables, et que nul vice ne pouvait atteindre la « sacro-sainte » science. L'un des instruments conceptuels de ces espaces est l'objectivité scientifique. Cette objectivité a été décrite comme une histoire et donc une construction par Lorraine Daston et Peter Galison³². Par ailleurs, des auteurs comme Vilém Flusser ou Jean-François Lyotard ont pensé la crise de la science, comme une crise historique, celle d'une post-histoire³³ pour Flusser, celle de la postmodernité pour Lyotard³⁴. Au sein de cette crise, il y a la compréhension que les sciences sont chargées de valeurs et que les techniques employées pour obtenir ses résultats ne sont pas neutres. Il n'y a pas de grand partage entre ce qui relève de l'objectivité d'un côté et de la subjectivité de l'autre. Il n'y a pas d'un côté une crise de la nature et une crise des sciences : l'une est la face opposée de l'autre. Le philosophe Morizot propose de penser la crise écologique comme une crise de la sensibilité. C'est ce domaine du sensible, que selon nous, le design peut prendre en charge et avec lequel il travaille de par sa relation à la matérialité, à l'expérience et à la mise en visibilité.

28 Le chercheur en design Maxime Favard a consacré sa thèse à l'étude de la multiplicité des conduites de projets. FAVARD, Maxime, 2016. *Manières de faire le projet et manières de faire des mondes*. Thèse de doctorat. Strasbourg.

29 Avec l'architecture, l'urbanisme, le paysage. voir : FINDELI, Alain et COSTE, Anne, 2007. De la recherche-crédation à la recherche-projet : un cadre théorique et méthodologique pour la recherche architecturale. *Lieux Communs - Les Cahiers du LAUA*. [en ligne]. 2007. N° 10, p. 139-161. [Consulté le 25 mai 2022]. Disponible à l'adresse : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00978330>

30 Bernadette BENSUADE-VINCENT, *Les Vertiges de la technoscience*. p. 60

31 Bien que d'autres auteurs pensent qu'il s'agit bien plus d'une « arène » de la connaissance afin de définir les lieux d'élaboration des savoirs, voir notamment Frédérique Aït-Touati.

32 DASTON, Lorraine et GALISON, Peter, 2012. *Objectivité*. Les Presses du réel. Dijon.

33 FLUSSER, Vilém, 2019. *Post-histoire*. T Et P.

34 LYOTARD, Jean-Francois, 1979. *La condition postmoderne: Rapport sur le savoir*. Paris: Minuit.

Designer intégrée chez les « ingénieurs du vivant³⁵ »

La chercheuse en design Neri Oxman, professeur au Massachusetts Institute of Technology (MIT) est fondatrice de l'équipe de recherche *Mediated Matter* qui explore les liens entre la biologie, le design et le numérique. Dans le projet *Aguahoja* par exemple, Neri Oxman propose de travailler sur une technologie d'impression 3D de biomatériaux (figure 1) au sein d'une équipe d'une vingtaine de personnes.

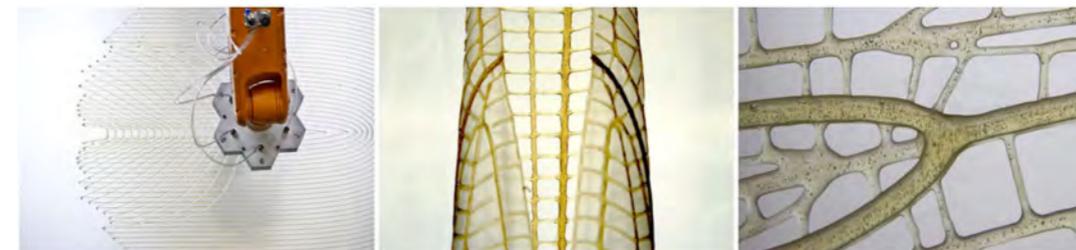


Figure 1 — : différentes étapes du projet d'impression 3D de biomatériaux pour le projet Aguahoja³⁶

Le projet, d'une durée de six ans, permet la mise au point de preuves de concept au sein d'un pavillon visitable et accessible au public. Dans ce cas précis et relativement isolé, le design s'intègre au sein des processus techno-scientifiques de bio-impression 3D. Les recherches de Neri Oxman ouvrent, selon nous, la voie à des démarches de designers intégrées au sein des laboratoires techno-scientifiques. C'est cette voie que nous avons voulu suivre, et qui nous a été donnée de connaître à travers la médiation de plusieurs expositions internationales commissionnées par Paola Antonelli ; pensons par exemple à *Design and the Elastic Mind* (MoMA, New York, 2008). Ces expositions ont permis de faire circuler ces approches dans les diverses écoles de design et de constituer de nouveaux modèles à suivre pour les designers.

Le sujet d'étude de ce doctorat m'a poussé à intégrer l'équipe ELiA (*Engineering for Life Sciences Applications*) du LAAS-CNRS. Cette équipe travaille à l'interface entre les sciences de l'ingénierie et la biologie principalement dans le domaine biomédical, de la médecine de précision. La description (figure 2) réalisée par les chercheurs de l'équipe met en avant la dimension technique (AFM, microfluidique, 2D *patterning*, traitement biochimique, etc.)

35 L'expression « ingénieur du vivant » est utilisée au sein de mon équipe d'accueil pour définir les activités des chercheurs en ingénierie fabriquant des objets techniques pour répondre à des questions de biologie.

36 Group Overview • Mediated Matter, [sans date]. *MIT Media Lab*. [en ligne]. [Consulté le 21 mai 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.media.mit.edu/groups/mediated-matter/overview/>

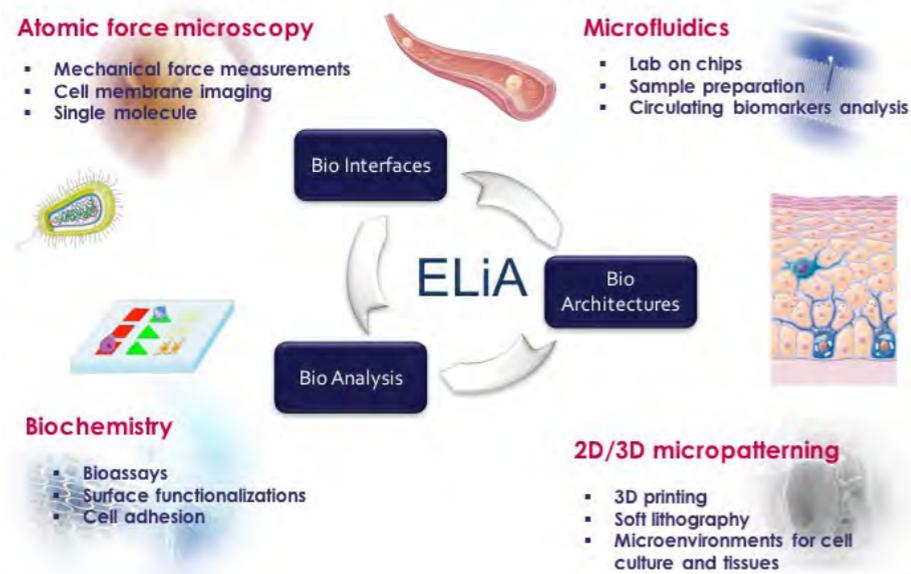


Figure 2 — : Sujets d'étude de l'équipe ELiA tels que présenté sur le site Web officiel du laboratoire

Notre rôle, en tant que chercheuse en design intégrée dans cette équipe, est d'observer les pratiques, de questionner les formes de la recherche scientifique et de proposer des projets en lien avec notre sujet d'étude et le milieu de cette recherche. L'équipe ELiA fait partie du département MNBT (micro-nano-bio-technologies) du laboratoire. Les chercheurs de l'équipe ELiA s'attellent à la construction d'artefacts techniques pour étudier le vivant. Les dimensions micrométriques et nanométriques des objets façonnés par l'ingénierie ouvrent des possibilités d'interfaçage inédites avec les cellules vivantes qui questionnent leurs usages futurs. Les dispositifs miniaturisés produits sont destinés à être implantés dans le corps humain ou à des fins de diagnostic. Les sciences de l'ingénierie pratiquées par cette équipe ont la particularité de mettre au point des dispositifs, des technologies et des objets techniques (parfois hybrides³⁷), de les caractériser et d'imaginer des objets qui n'avaient jamais été fabriqués auparavant. De ce point de vue là, il y a des liens entre les sciences du design³⁸ et les sciences de l'ingénierie, de même qu'il existe un lien fort entre design et ingénierie. Sans doute l'un est plus intéressé au fonctionnement technique des objets, et l'autre à son fonctionnement social. L'intention initiale d'un design pour questionner les implications sociales à venir des nano-bio-objets en cours de conception dans les laboratoires techno-scientifiques (objet de départ du sujet de thèse) s'est incarnée dans des formats scientifiques spécifiques que j'ai développés. Le positionnement de départ, qui ne prenait pas en compte la dimension de fabrication et de pratique de ces objets techniques, a largement évolué. Nous avons consacré la première année de la thèse à mener des entretiens, à arpenter les couloirs du LAAS-CNRS, à dessiner les

37 C'est-à-dire contenant des imbrications de matériaux mis en forme et de cellules vivantes.

38 Si tant est que l'on puisse dire qu'il existe des sciences du design, cela fait débat dans la communauté de recherche en design. Voir : CROSS, Nigel, 2001. Designing ways of knowing: Design discipline versus design science. *Design issues*. 2001. Vol. 17, n° 3, p. 49-55.

situations, à participer activement aux activités de l'équipe³⁹ et à conceptualiser leurs activités pour proposer des hypothèses de projets correspondant à la fois à une forme de justesse par rapport aux recherches menées dans l'équipe, mais aussi à une forme d'exigence du point de vue des hypothèses de cette thèse en design. L'hypothèse, en apparence simple, est de dire que les conditions matérielles, formelles, esthétiques des recherches influencent les connaissances produites. Dire cela, c'est affirmer que le design, compris comme la mise en forme de notre environnement matériel, peut réfléchir aux formats de la recherche scientifique et que ces formats peuvent potentiellement produire des formes de connaissances inédites ou qui seraient (plus humblement) d'une nature différente (nous ne préjugeons pas encore ici de la pertinence de ces dernières). Ce n'est pas tant le caractère inédit de ces connaissances qui nous intéresse. C'est plutôt de voir si le design, par sa capacité de penser des formes qui ont une implication d'usage, de scénarios, d'imaginaire, ne pourrait pas permettre de se confronter aux enjeux de la recherche actuelle, en termes d'imaginaire et d'éthique. D'un point de vue tout à fait heuristique, de voir ce que devient le design quand il est pensé dans ce contexte particulier : quelles formes fait-il exister, quels sont ses objets, ses préoccupations ? Nous pourrions appeler cette typologie de design, « un design des formats⁴⁰ de la recherche en science de l'ingénierie », bien que cette expression soit trop longue pour être fonctionnelle. Ainsi, nous avons tiré de nos observations, interviews, etc. des pistes de projets, que nous comprenons comme des hypothèses pour une recherche-création en design. Il nous a semblé qu'au fond, sur un sujet tel que les nanotechnologies (qui en réalité ne sont pas un champ homogène, mais une étendue de techniques et de pratiques hétérogènes) impliquant les technosciences, qui ont la particularité d'être conjuguées au futur⁴¹, il nous faudrait revenir aux pratiques des sciences telles qu'elles se font et non plus aux discours portés à leur endroit. En effet, une des particularités des publications scientifiques en science de l'ingénierie, dans le cas de la citation qui suit des nanotechnologues, est « qu'elles exhibent les créatures de laboratoire produites au présent comme des ambassadeurs débarquant du futur » écrit le chercheur en philosophie des techniques Sacha Loeve⁴². Il propose d'évacuer l'attitude consistant à évoquer en cascades les promesses, notamment biomédicales, des nanotechnologies pour s'intéresser en profondeur à ce que sont au présent les nano-objets produits en laboratoire. Nous avons suivi une démarche similaire en nous intéressant aux objets techniques produits au sein de l'équipe ELiA, les sujets de « concernement » et d'« attention⁴³ » de l'équipe, et en partant des pratiques et des réflexions de l'équipe. Se faisant, nous avons quitté le champ premier des nanotechnologies. En effet, si cette échelle de dimension fait toujours partie des pratiques de l'équipe, notamment à travers des équipe-

39 Ainsi qu'en atteste le cahier d'images en introduction de ce chapitre.

40 L'expression design des formats est utilisée également par Robin de Mourat dans sa thèse de doctorat MOURAT, Robin De, 2020. *Le vacillement des formats: matérialité, écriture et enquête: le design des publications en Sciences Humaines et Sociales*. Thèse de doctorat. Rennes 2.

41 Sacha LOEVE, *Le concept de technologie à l'échelle des molécules-machines. Philosophie des techniques à l'usage des citoyens du nanomonde*.

42 Sacha LOEVE, *Le concept de technologie à l'échelle des molécules-machines. Philosophie des techniques à l'usage des citoyens du nanomonde*.

43 Nous utilisons volontairement ce vocabulaire qui vient de Latour, Stengers, Hache, Haraway, Morizot et se nourrit actuellement d'autres penseurs, ces termes pointent bien la charge de valeur au cœur des projets technoscientifiques.

ments de fabrication tels que le *nanoscribe*⁴⁴ ou des technologies de visualisation telles que le Microscope électronique à balayage (MEB) ou le Microscope à Force Atomique (AFM), les nano-objets ne sont plus le cœur des recherches de cette équipe. La dimension nano toujours présente est désormais partie-prenante des projets technologiques en interface avec la biologie. Par contre, il est clair que la manière de faire technique avec les nanotechnologies et notamment cette dimension spéculative, futuriste, est un élément qui marque encore les pratiques des sciences de l'ingénierie aujourd'hui. Si les nanotechnologies ne sont plus le sujet des pratiques de l'équipe, elles constituent malgré tout une forme d'héritage intellectuel. Les héritages sont multiples. L'idée est de pouvoir s'approcher de la résolution la plus petite, pour pouvoir tirer des résultats les plus fins et précis possibles. Dans le cas des sciences de l'ingénierie, au-delà de l'observation, l'objectif est la fabrication de dispositifs et objets techniques avec des résolutions proches des interactions qui se produisent dans le vivant. Pour donner un ordre d'idée, une cellule, par exemple, fait entre 1 et 100 microns. Ainsi, pour comprendre comment interagit une cellule dans un certain contexte, il faut être en capacité de concevoir des dispositifs expérimentaux à cette échelle-là permettant de tester des hypothèses. En revanche, les mécanismes internes à ces cellules se situent à l'échelle nanométrique. Le cytosquelette est par exemple constitué de fibres moléculaires nanométriques en perpétuel assemblage et désassemblage. Aussi, faire acte de technique pour influencer l'évolution d'une cellule, passe par des pratiques nanotechnologiques, à savoir la conception d'objets techniques ayant cette dimension d'interaction. Les chercheurs de l'équipe ELiA résument ce constat par « les cellules parlent le langage des nanotechnologies ». Il nous a fallu saisir ces échelles de grandeur, qui ne sont pas celles du design qui manipule des objets de grandeurs très hétérogènes (implications sociales, cadre matériel, technique de fabrication, cadre économique, etc.). Aussi, il me semble important de ne pas tomber dans le risque d'une forme de prescription des manières de faire à destination des scientifiques. Les approches hybrides entre science et design ou art et science peuvent entraîner une forme d'instrumentalisation mutuelle qui peut être vécue comme une forme de violence. Ainsi, il n'est pas rare de lire des arguments scientifiques pour légitimer une pratique artistique ou bien qu'une représentation qualifiée comme étant esthétiquement plaisante soit utilisée pour illustrer et légitimer un résultat scientifique. Il faut rapidement dépasser ce stade instrumental que peut impliquer un cadre pluridisciplinaire sous peine de passer à côté des réelles retombées de ces rencontres ; l'enjeu est de passer de cet accollement des disciplines (pluridisciplinarité), à un réel assemblage et mélange des disciplines (interdisciplinarité), voire à la disparition de ces frontières disciplinaires (transdisciplinarité).

Le travail de terrain exige d'accepter de travailler avec le moins d'*a priori* possibles, sans savoir à l'avance ce qu'il faut chercher. L'écoute m'a semblé une qualité indispensable en ce début de thèse. L'intégration auprès de chercheurs (se demandant parfois la légitimité de ma venue dans un espace de fabrique du savoir qui est le leur) a nécessité la mise en place des manières de dialoguer et l'invention d'espaces de discussion communs. Ma méthodologie de départ a été d'utiliser des outils d'anthropologie, sans pour autant avoir une visée descriptive. En effet, en tant que designer, je me suis évertuée à travers ces observations, entretiens, dessins, photographies à trouver des terrains et des pistes fécondes pour « faire projet ». J'ai également tenu à comprendre les motivations et en-

44 Technologie d'impression 3D très résolue, permettant la fabrication rapide de pièces à l'échelle du micron. La technologie convertit des modèles 3D virtuels en pièces physiques.

jeux des recherches effectuées dans l'équipe ELiA. Une autre méthode que nous avons mise en place est d'utiliser les formats « traditionnels » de la recherche scientifique tels que : poster, communication dans les séminaires d'équipe, participation à des workshops thématiques, communication orale dans des congrès et rédaction d'articles scientifiques. Au-delà de la reconnaissance de participation à une activité de recherche académique, il s'agissait de comprendre les codes et les formes de la recherche scientifique où nous nous situons. Aussi, nous souhaitons mesurer la pertinence de la création de formats de la recherche scientifique à dessein. Les formats sur lesquels nous avons travaillé sont principalement des formats que l'on pourrait dire de « diffusion » de la recherche scientifique. Pour autant, je n'ai pas pensé ces formats comme la mise en forme *des résultats*, mais plutôt comme des formats de mise en forme *de la recherche*. Ainsi, il m'a semblé que les formes à travers lesquelles était discutée l'élaboration des projets et des sujets scientifiques importaient et ce pour plusieurs raisons. Une des zones d'importance concerne l'ouverture au public de ces recherches et leur accessibilité. Il y a plusieurs sens à ce terme ici. Il y a une accessibilité technique : est-ce que l'information est accessible ? Il y a une accessibilité scientifique : est-ce que l'information est appropriable ? Cette accessibilité est également politique : comment faire des recherches techno-scientifiques des objets de parole ? Ces enjeux d'accessibilité impliquent, je le pense, des formats dédiés. L'autre importance concerne une forme de « normalisation » des formats de la recherche qui participe à une unification des manières de savoir⁴⁵. S'il semble indispensable d'avoir certaines normes d'écriture, comme les normes de citation de cette thèse qui permettent de remonter aux sources et de confirmer la véracité d'une information par exemple ; pour autant, le manque d'invention à l'endroit des formats de la recherche scientifique pose question à un moment où il y a une nécessité de trouver des formes pour permettre des collaborations, des partages de connaissances entre communautés scientifiques et une meilleure compréhension de la recherche pour un public élargi. Nous verrons à travers le chapitre 2 et le chapitre 3 en quoi la création de formats spécifiques de collaboration pour la recherche scientifique peut se révéler pertinente.

Il existe de nombreuses approches de design qui s'emparent des inventions techniques dans le champ de technologies pour le vivant (nous en verrons des exemples plus loin). Ces tentatives cherchent à légitimer des approches de design et à trouver de nouveaux terrains pour les designers. Il semble en effet intéressant de trouver des endroits où le design n'est pas présent pour voir « ce qu'il peut » dans de tel espaces c'est-à-dire évaluer son impact transformateur. Il s'agit de révéler les questions de design qui sont déjà à l'œuvre dans les pratiques et de proposer des expériences, dispositifs et objets permettant de tester différentes hypothèses. Ainsi, nous ne voyons pas les sciences de l'ingénierie comme un terrain à conquérir⁴⁶ de la part des designers et ne voyons pas non plus le design comme une manière de résoudre les maux de la recherche. Nous voyons cet espace comme un terrain de recherche, qui pose de multiples questions et que le design par sa capacité de projection et de proposition, peut investir. Ces propositions, nous les pensons comme des hypothèses-projets qui permettent de mesurer si les nouveaux formats proposés ont

45 Bernadette Bensaude Vincent souligne par ailleurs que, s'il n'y a jamais eu, au cours de l'histoire des sciences autant de chercheurs qu'aujourd'hui, il n'y a jamais eu également aussi peu de nouvelles découvertes scientifiques dans BENSAUDE-VINCENT, Bernadette, 2009. *Les Vertiges de la technoscience*. Paris : La Découverte.

46 Le terme même de « conquête » utilisé fréquemment en recherche à de quoi faire frémir, en tant qu'emprunt de langage aux stratégies guerrière, militaire ou coloniale.

un impact et de quelle nature sont ces derniers. Le grand enjeu du design dans ce contexte est la création de possibles, autrement dit l'enjeu est qu'il puisse exister autre chose que du programmé.

Avant de revenir sur notre positionnement par rapport aux pratiques de design contemporaines s'emparant des enjeux soulevés par notre contexte d'étude, nous avons fait figurer un récit à propos d'un objet technique à même de nous plonger dans les objets de notre enquête.

Histoire d'un objet technique

Dans le laboratoire où j'effectue ma thèse, le LAAS-CNRS, il y a une histoire qui concerne un objet technique similaire qui porte deux noms différents. Cette histoire concerne «la tigette» également appelée «*sliding wall*». Le principe de cet objet technique (que les chercheurs de mon laboratoire qualifient de technologie) a été initialement développé par Bastien Venzac (actuellement chargé de recherche dans l'équipe ELiA) lors de sa thèse à l'Institut Curie (co-dirigé par Laurent Malaquin) où il cherchait à créer une sorte de «mur coulissant» au sein d'un système microfluidique. Le chercheur avait mis au point diverses méthodes de fabrication permettant de réaliser ce qu'il nomme en anglais «*sliding walls*» et qu'il définit comme une «*elongated microfabricated structure*⁴⁷» visible figure 3. L'objet technique permet de recombinaison une puce ou un système microfluidique depuis l'extérieur.

⁴⁷ VENZAC, Bastien, 2016. *Development of an integrated, portable DNA amplification and detection system based on electrohydrodynamic aggregation*. Thèse de doctorat. Paris 6.

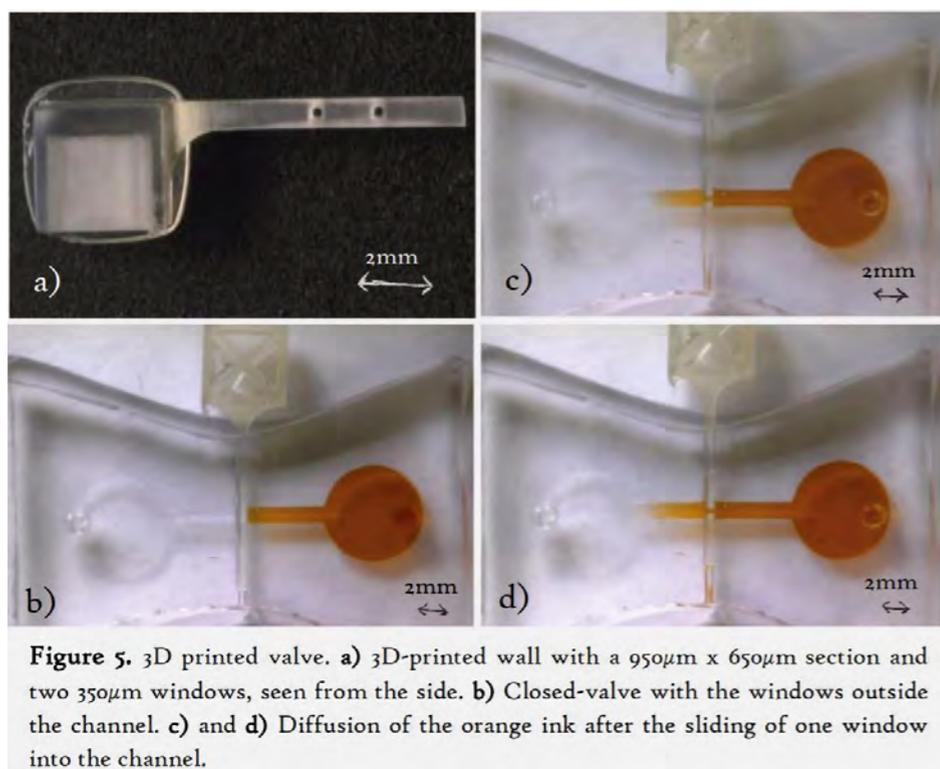


Figure 3 — : Preuve de concept du «sliding wall» imprimé en 3D et démonstration de la diffusion du fluide entre deux chambres microfluidiques. Crédits : Bastien Venzac

Ce besoin d'évolution dans le temps et de recombinaison de la puce est partagé par d'autres chercheurs travaillant dans le domaine de la microfluidique. Des passerelles ont été faites entre l'Institut Curie et le LAAS-CNRS à travers les parcours de différents chercheurs qui ont travaillé dans les deux laboratoires et qui partagent des collaborations tels que Bastien Venzac, Laurent Malaquin, Pierre Joseph et Morgan Delarue. Au sein du LAAS-CNRS, un objet similaire (dans la fonction) au «*sliding wall*» a été nommé «tigette», en raison de sa forme allongée, semblable à une «tige» au sein d'une autre équipe (MILE). Plusieurs générations de doctorants, d'ingénieurs, de chercheurs et de postdoctorants ont travaillé à l'élaboration de nouvelles techniques autour des «tigettes», pour en nommer quelques-uns : Rémi Courson, Zacchari Ben-Meriem, Marianne Elias, Tiphaine Matéo, Sylvain Landiech. La chercheuse Marianne Elias utilise ainsi ce second terme dans sa thèse : «*the sliding element, which I will call from now*

on the *tigette*⁴⁸». Les tigettes, sont devenues «electrotigettes», puis «TGVettes» quand ces dernières se sont équipées d'électrodes ou bien qu'elles pouvaient servir à transporter⁴⁹ des sphéroïdes (tel que visible figure 4) à l'intérieur des cavités des puces microfluidiques.

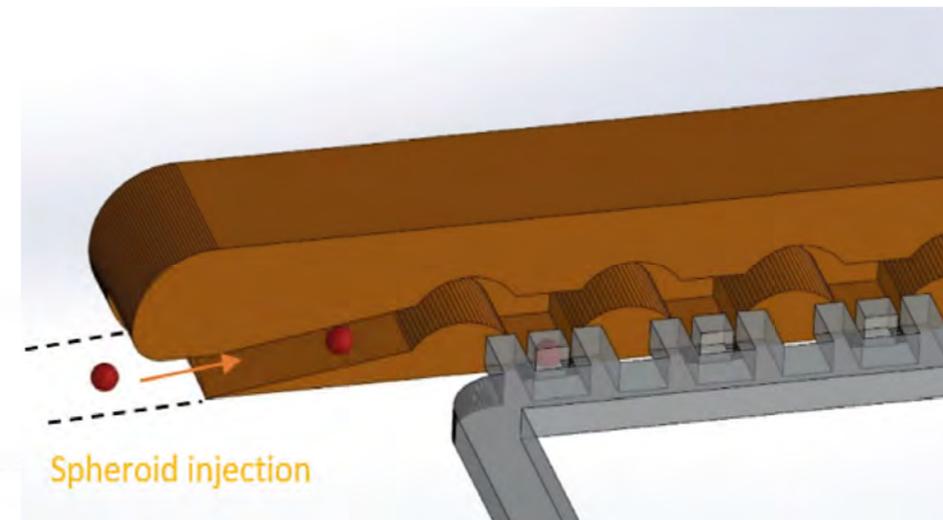


Figure 4 — : Schéma de la «tgvette» représentant l'injection des sphéroïdes dans la tigette. Crédits : Tiphaine Matéo

Ainsi, les noms des objets techniques créés en laboratoire évoluent selon l'imaginaire des chercheurs et la manière dont ils créent des métaphores entre des systèmes à l'échelle micro et leur environnement matériel. Ainsi TGV, mur coulissant et autres éléments de la vie matérielle humaine (de l'échelle macro) se retrouvent dans les termes utilisés par les chercheurs pour nommer leurs inventions microrésolues. Ces termes peuvent trivialement se rapporter à l'allure générale de l'objet, comme dans le cas de la «tigette» ou indifféremment à sa fonction comme dans le cas du «*sliding wall*» (qui matérialise un mur coulissant) et le la «TGVette» (qui transporte des sphéroïdes). Il nous semble que dans les pratiques de recherche, dans le processus de transmission et d'appropriation d'un savoir, nommer et renommer l'objet

48 ELIAS, Marianne, 2021. Microfluidique pour manipuler et étudier des membranes biomimétiques. These de doctorat. Toulouse 3.

49 La fonction de transport de la tigette a été souligné en perspective des travaux préliminaires de Bastien Venzac dont il suggère comme potentielle fonction « Trapping and concentration of biomolecules like DNA or objects like cells, with the integration of hydrogel membrane inside sliding walls. » Bastien Venzac, *Development of an integrated, portable DNA amplification and detection system based on electrohydrodynamic aggregation.*

technique, qui est l'objet de la pratique expérimentale, permet de se réapproprier ce savoir. Le nom permet de construire la future existence de l'objet technique. Ce n'est plus un objet déjà défini, c'est un objet *redéfini* dans le cadre d'une nouvelle recherche, il peut ainsi prendre une nouvelle existence. Ce que le nom dit de l'objet a sans doute moins d'importance que la personne qui l'aura nommé et sa situation sociale au sein d'une équipe, d'un équipement technique ou d'un laboratoire. Le «*sliding wall*» appartenait à l'histoire de Curie, la «*tigette*» appartient à celle du LAAS-CNRS. Deux lieux, deux situations, deux équipes, deux manières de raconter cet objet. L'utilisation du terme *tigette* dépend également des formats de publication et espaces de diffusion de la recherche. Ainsi, «*tigette*» est devenu le nom de l'objet technique en pratique, dans la science en train de se faire, tandis que «*sliding element*» est utilisé dans les publications et communications orales (en langue anglaise). On peut noter, en regard de cette histoire, que l'existence de ces objets de recherche est intrinsèquement mouvante et en constante évolution. Leur devenir est lié à ce destin commun de la recherche scientifique qui publie, et donc rend public, les inventions techniques, qui seront reprises, amendées, améliorées, détournées dans d'autres cadres, dans d'autres lieux, pour des applications différentes : l'évolution de leurs noms raconte parfois ces histoires.

Ce récit qui concerne un objet technique mis au point par un chercheur de l'équipe et dont les implications ont par la suite été développées par une autre équipe du laboratoire, me permet de dresser un rapide tableau des couches de sens à travers lesquelles il nous faudra naviguer entre les parcours des chercheurs qui embarquent avec eux savoirs, savoir-faire, objets techniques, le sens précis de certaines techniques, le mélange des disciplines, l'imaginaire des chercheurs, les valeurs intrinsèques des chercheurs et les questions de leurs recherches. En effet, les mots utilisés par les chercheurs en science de l'ingénierie sont situés. Ils prennent place au sein «d'un tissu d'histoires, de vécus, de réalités, de pratiques. [...]

Mots, récits, figures ne se valent pas tout.e.s et en tout lieu⁵⁰.»

50 DE LA BELLACASA, María Puig, 2014. *Les savoirs situés de Sandra Harding et Donna Haraway: science et épistémologies féministes*. Editions L'Harmattan. p. 144

2. Du design fiction au design des sciences⁵¹

Limites du design

Pourquoi chercher de nouvelles formes de design ? Si de nombreux pans de l'activité humaine connaissent aujourd'hui des troubles et des remises en question, l'activité du design a soulevé au sein de ses penseurs et praticiens de nombreux débats ces dernières années quant à sa direction, son utilité et ses modèles. Ainsi, nous sommes bien d'accord avec l'historienne du design Alexandra Midal quand elle qualifie de « crise⁵² » la période contemporaine dans laquelle se trouvent les productions du design et les pratiques des designers. Cette crise se manifeste entre autres par un rejet de la production de la part des designers qui voient le dé-projet (Mendini), l'élimination (Fry), un retour au réel (Papanek), la nécessité de faire place (Huyghe) ou bien la production de fictions (Dunne & Raby) comme de nouvelles manières d'exprimer les enjeux du design actuel⁵³. Au sein de cette crise, il y a la remise en question, saine, de la part des acteurs du design des formes de leurs productions quand il est révélé qu'ils participent aux dérèglements climatiques et aux désastres écocides en « jouant le jeu » d'un design au service de la demande⁵⁴.

Ce préambule rapidement posé nous permet de voir que les formats avec lesquels les designers s'emparent des grands enjeux de leur temps ne sont pas stabilisés et dépendent grandement des conditions techniques, sociales et scientifiques où prennent place les démarches des designers.

Design fiction

Rapide historique

De nombreuses approches du design spéculatif existent en lien avec l'intrication entre science, technologie et design. Prenant pour héritage les mouvements de l'architecture radicale italienne des années 1970, le design spéculatif, *critical design* ou encore design fiction (les trois appellations sont utilisées pour qualifier cette approche) utilisent la fiction pour repenser le réel. Dans ces projets, la fiction, la narration et la poésie sont assumées

51 Nous reprenons l'expression à Anthony Masure et Alexandre Saint-Jevin. voir : MASURE Anthony, SAINT-JEVIN Alexandre, « Formes, formats, formatage : vers un design des sciences », article à paraître dans : Collectif, *Les devenirs numériques des patrimoines numérisés*, Paris, UDPN.

52 Alexandra MIDAL, *Design : introduction à l'histoire d'une discipline*. p. 177

53 voir RIGOT, Elise et STRAYER, Jonathan Justin, 2020. Retour vers 1972: rouvrir les possibles pour le design et l'économie face aux effondrements. *Sciences du Design*. N° 11, p. 32-41.

54 Dans un texte révélateur de l'état des questions des années 1970, le designer italien Ettore Sottsass revient sur les liens entre design et capitalisme dans le texte « Tout le monde dit que je suis très méchant » en 1973 in DESIGN, Haute école d'art et de et MIDAL, Alexandra, 2013. *Design, l'anthologie: [1841-2007]*. HEAD - Genève; Saint-Etienne: Cité du design.

pour leurs rôles « contre-productif⁵⁵ ». C'est-à-dire littéralement, contre la production industrielle et de masse. Le *critical design*, ne souhaite pas travailler avec les instruments des technosciences, mais incarne une position critique où ces dernières sont mises en débat par les designers à travers des objets fictionnels aux « fictions fonctionnelles⁵⁶ ». À la fin des années 1990, le chercheur en design Anthony Dunne travaille chez Sony Design à Tokyo où il s'intéresse aux objets électroniques. Cette expérience sera à l'origine de sa thèse *Herzian tales : an investigation into the critical potential of the electronic product as a post-optimal object*⁵⁷. dont il publiera les réflexions au sein de l'ouvrage *Hertzian Tales : Electronic Products, Aesthetic Experience, and Critical Design*. Pour Dunne, il est urgent que le design s'empare du design des objets électroniques. Il écrit dans la préface de l'édition de 2005 : « Bien que ce livre soit axé sur l'électronique, j'espère que son principal argument, à savoir que le design peut être utilisé comme un moyen critique de réfléchir à l'impact culturel, social et éthique de la technologie, est encore plus pertinent aujourd'hui⁵⁸. » Le pari de Dunne est d'utiliser le design comme une manière de mettre en débat les technologies au sein des expositions de design. Par exemple le projet *United Micro Kingdom*⁵⁹ permet de mettre en débat les technologies de transport en les liant à des spéculations politiques. Nous devons à Anthony Dunne la parenté du terme design critique⁶⁰. Cette forme de design, en continuité avec le design radical italien des années 1970, revendique un refus de la production afin de garder le projet à l'état d'idée : celui des maquettes et des prototypes. Les recherches d'Anthony Dunne et de Fiona Raby (avec laquelle il fonde le duo Dunne & Raby⁶¹) sont pionnières dans le champ des technologies émergentes dont il ne s'agit plus de saisir les applications, mais les implications éthiques et sociales. Ils mettent au point une méthode de projet et de pédagogie en « *What if?* » permettant de spéculer sur la réalité et qui rejoue la figure de l'hypothèse scientifique. Pour Anthony Dunne, là est la spécificité du design : « sa capacité à importer les nouvelles évolutions technologiques dans des situations quotidiennes fictives, mais crédibles, permet [tant] de débattre des conséquences sociales, culturelles, voire éthiques, de ces nouvelles technologies, avant qu'elles ne s'implantent et ne prétendent qu'est advenu le meilleur des futurs⁶². » Si l'on prend le cas des nanotechnologies par exemple, pour Anthony Dunne, les designers peuvent envisager cette technologie invisible comme « matérielle ». Ainsi, le designer légitime la formation de nouveaux rôles, méthodes et contextes dans le design voyant dans les technologies émergentes de nouveaux terrains et paysages⁶³ à investir par

55 Alexandra MIDAL, *Design : introduction à l'histoire d'une discipline*. p. 161

56 DAUTREY, Jehanne et QUINZ, Emanuele, 2014. *Strange design: du design des objets au design des comportements*. it: éditions.

57 DUNNE, Anthony, 1997. *Herzian tales : an investigation into the critical potential of the electronic product as a post-optimal object*. Ph.D. Royal College of Art.

58 DUNNE, Anthony, 2008. *Hertzian Tales: Electronic Products, Aesthetic Experience, and Critical Design*. MIT Press. p. 12 traduction personnelle : « *Although the technological focus of this book is electronics, I hope that its main argument, that design can be used as a critical medium for reflecting on the cultural, social, and ethical impact of technology, is even more relevant today.* »

59 Nous détaillons et analysons le projet chapitre 2 partie 6.

60 GEEL, Catherine, 2019. *Les grands textes du design*. Institut Francais De La Mode. Essentiels En Poche. p. 93

61 Dunne & Raby, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 23 mai 2022]. Disponible à l'adresse : <http://dunneandraby.co.uk/content/projects>

62 Catherine GEEL, *Les grands textes du design*. p. 98

63 LEHANNEUR, Mathieu, 2011. Un paysage inexploré, Entretien avec Dunne & Raby. *Azimuts* 24

les designers. L'influence de Dunne & Raby est importante, notamment en Angleterre et aux États-Unis où ils enseignent au Royal College of Art (RCA) de Londres (2005-2015) avant de poursuivre leurs carrières à New York au sein de la New School où ils enseignent le design et les technologies émergentes à la Parsons School of Design. Pour continuer sur l'exemple des nanotechnologies, Anthony Dunne soulève la difficulté pour les designers d'aboutir à de véritables produits. Bien qu'« il ne faut pas renoncer à s'impliquer. Le design peut permettre des prises de conscience, engendrer des discussions, provoquer des débats, et aider ainsi à pointer vers un avenir technologique à l'image de nos personnalités complexes et tourmentées, plutôt qu'à celle des consommateurs et utilisateurs vite satisfaits que nous sommes supposés être⁶⁴ ». Ainsi, Anthony Dunne a ouvert un champ d'investigation et de liberté formelle pour les designers à l'image des travaux d'Alexandra Daisy Ginsberg, de Marguerite Humeau, ou encore de James Auger, largement reconnus internationalement. Cependant, suite au départ d'Anthony Dunne de la direction du département *Interactive Design* (design d'interaction) du RCA, un certain nombre de critiques envers le design spéculatif ont été formulées.

Écueils du design fiction

Les critiques principales ont concerné le point de vue des designers, souvent occidentaux, aisés et masculins, depuis lequel les fictions fonctionnelles étaient formulées. Une autre critique concerne le lieu de réception d'objets de design fiction au sein de galeries et de musées ne permettant pas un accès démocratique à ces recherches. La non-analyse des débats et des discussions générées par un tel design a également été pointée comme une forme de non achèvement de la démarche. Ainsi, la chercheuse en design brésilienne (installée à Berlin) Luiza Prado propose de chercher dans l'épistémologie, les théories féministes et *queer* des moyens pour dépasser les valeurs conservatrices qui animent selon elle la production du design fiction de Dunne & Raby. Ainsi, « le design spéculatif féministe pourrait se concentrer sur la remise en question de la nature déjà dystopique du présent pour les minorités, et interroger à quoi ressemblerait leur avenir ; grâce aux dimensions poétiques, subjectives et abstraites des objets de design, mettant les observateurs au défi de remettre en question leur propre rôle dans le maintien de l'injustice sociale. »⁶⁵ Le chercheur en design Max Mollon, quant à lui, réfléchit à la dimension de débat dans le *critical design*, sans pour autant en reprendre les formes, à travers cinq projets de terrain dans sa thèse, *Design pour débattre : comment créer des artefacts dissonants, et leurs situations de communication, afin d'ouvrir des espaces de contestation mutuelle (agonisme) et d'expression des voix marginales (dissensus)*⁶⁶. D'autres recherches, sur l'engagement du public (*public engagement*) avec les recherches des technosciences ont été menées par Tobie Kerridge dans sa thèse de doctorat intitulée *Designing Debate : The entanglement of speculative design and*

64 Catherine GEEL, *Les grands textes du design*. p. 101

65 traduction personnelle : « *feminist speculative design could focus on questioning the already dystopian nature of the present for minorities, and ask how their futures would be like; through the poetic, subjective and abstract dimensions of the designed artefact, it would challenge observers to question their own roles in maintaining social injustice.* » MARTINS, Luiza Prado de O., 2014. *Privilege and Oppression: Towards a Feminist Speculative Design. DRS Biennial Conference Series.*

66 Maxime Mollon. *Design pour débattre : comment créer des artefacts dissonants, et leurs situations de communication, afin d'ouvrir des espaces de contestation mutuelle (agonisme) et d'expression des voix marginales (dissensus).*

*upstream engagement*⁶⁷. Dans ces travaux impliquant de multiples workshops et actions de groupes⁶⁸, le chercheur en design, propose de voir comment le design spéculatif permet l'engagement du public au sein des laboratoires de biotechnologies. L'idée est de renverser la *doxa*, qui consiste à voir la vulgarisation scientifique comme une activité où les scientifiques vont à la rencontre des citoyens pour partager leur recherche de manière descendante, pour proposer une autre modalité où ce sont les citoyens qui viennent à l'intérieur des pratiques laborantines. Nous voyons que de nombreuses recherches en design utilisent la pratique du design fiction pour spéculer, mettre en débat, critiquer les nouvelles technologies sorties des laboratoires. Si les questionnements et les approches que nous avons cités ici nous semblent toutes s'engager avec justesse dans le sujet que nous traitons, ce n'est pas par la pratique du *critical design* ou du design spéculatif que nous avons finalement choisi de nous engager. Ceci pour plusieurs raisons. Une des raisons a été contextuelle. Notre inscription de terrain au sein du laboratoire techno-scientifique nous a poussés à nous demander ce que pourrait être le design au sein d'un tel espace et quelles seraient ses formes. Le second point est une question de posture. Premièrement, il nous semble que le fait de spéculer *a posteriori* des recherches ne permet pas une réelle prise de recul sur ce que les pratiques scientifiques sont réellement (discours versus pratiques). Deuxièmement, combien même le design spéculatif s'intéresse aux pratiques, cette typologie de design n'aborde pas les questions de design qui se posent à l'intérieur même des pratiques scientifiques.

Si nous souhaitons nous éloigner des pratiques du design spéculatif, la pratique d'un design critique qui s'ancre sur les territoires de l'imaginaire est celle qui nous intéresse. Comme l'exprime l'architecte et designer Andrea Branzi, « le designer est un inventeur de scénarios et stratégies. Ainsi, le projet doit s'exercer sur les territoires de l'imaginaire, créer de nouveaux récits, de nouvelles fictions, qui viendront augmenter l'épaisseur du réel⁶⁹. » Dans sa thèse de doctorat, la chercheuse, designer et artiste Alexandra Daisy-Ginsberg énonce par ailleurs une particularité de sa pratique qui invente un design d'imaginaires critiques. Pour Daisy Ginsberg, si l'imaginaire est une « fiction que l'on peut concevoir, l'imaginaire peut aussi être un objet d'un design critique⁷⁰ ». Ainsi compris, l'imaginaire n'est pas quelque chose qui serait sans consistance, appartenant au monde abstrait des idées. Son étymologie latine, *imaginarius*, qui signifie « qui n'existe qu'en imagination⁷¹ » dérive du latin *imago* (image). Nous verrons que ce qui n'existe qu'en imagination a en réalité une matérialité très concrète et des implications importantes pour notre sujet.

67 KERRIDGE, Tobie, 2015. *Designing Debate: The entanglement of speculative design and upstream engagement*. Thèse de doctorat. Thèse de doctorat. Goldsmiths, University of London.

68 Les résultats de ces workshops sont en partis publiés dans GOLDSMITHS' COLLEGE, INTERACTION RESEARCH STUDIO, BEAVER, Jacob, KERRIDGE, Tobie, PENNINGTON, Sarah et ENGINEERING AND PHYSICAL SCIENCES RESEARCH COUNCIL, 2009. *Material beliefs*. London : Goldsmith's, University of London.

69 BRANZI, Andrea, ISOZAKI, Arata et BRUN, Françoise, 1985. *Le design italien:» La casa calda*. L'Equerre.

70 ma traduction : « Since the imaginary is a designable fiction, it can also be a critical design object. » GINSBERG, Alexandra Daisy, 2018. *Better: navigating imaginaries in design and synthetic biology to question'better'*. Royal College of Art (United Kingdom). p. 155

71 Définition CNTRL.

Design et sciences

Comme le souligne la chercheuse en design et en épistémologie Anne-Lyse Renon, « le rapport entre design et science est souvent envisagé selon le projet de fonder une science du design⁷² ». Renon rappelle que la relation entre science et design se pose bien avant que le design ne se forme en tant que discipline académique en atteste la large tradition de communication visuelle et de vulgarisation scientifique. Renon ouvre selon nous une autre voie, qui concerne le design des objets techniques de la recherche expérimentale. Renon souligne en effet la matérialité du processus de recherche et son rôle dans les pratiques scientifiques. Elle écrit : « la matérialité des productions scientifiques participe de l'expérience esthétique des chercheurs⁷³. » Il nous semble que cette matérialité est une clef conceptuelle importante pour définir ce que serait un design des sciences.

Le design comme interscience

Le philosophe des technique Xavier Guchet, dans l'épisode numéro 3⁷⁴ du podcast de recherche que j'ai produit dans le cadre de cette thèse, propose une hypothèse intéressante, qui consiste moins à voir le design comme une science ou en faire une discipline académique à part entière, mais de considérer son caractère d'interface en tant qu'interscience. Il élabore ainsi cette proposition :

« Au COSTECH, à l'UTC en général, effectivement, il y a une tradition de développement du design autour notamment du design industriel, qui recoupe des travaux datant des années 1970-1980. L'enjeu est plutôt d'aborder le design comme recherche technologique plutôt que comme science — c'est-à-dire, aborder le design dans une approche interdisciplinaire, bien évidemment, mais synthétique et par les objets, et attentive à la façon dont les objets configurent l'expérience humaine, les formes de connaissance, etc. Le design est précisément la discipline aux prises avec cette question de savoir comment les objets nous façonnent en même temps que nous les façonnons. On n'est donc pas sur une volonté de faire science, mais beaucoup plus sur une volonté d'agréger des sciences, d'être une interscience, aux carrefours des sciences pour reprendre la vision que Georges Canguilhem, par exemple, avait de la médecine, et donc de faire de ce design beaucoup plus une discipline aux prises avec la question de la technique qu'avec la question de la production de savoirs à caractère scientifique. »

Ainsi, nous nous poserons la question du rôle du design à l'intérieur même des pratiques de la science.

72 RENON, Anne-Lyse, 2020. *Design & sciences*. Presses universitaires de Vincennes. p. 153

73 Anne-Lyse, RENON, *Design & sciences*. p. 165

74 RIGOT, Élise, 2020. « Bio Is The New Black #3 - dialogue entre Anthony Masure & Xavier Guchet - des designers passeur.se.s », radio FMR, CPU.

Le design comme pratique matérielle

Dans l'article « *Doing Research: Design Research in the Context of the 'Practice Turn'* »⁷⁵, la théoricienne du design Claudia Mareis revient sur le « tournant pratique ». Particulièrement visible dans les *Science and Technology Studies*, ce tournant a permis de voir à quel point la production de la connaissance était matérielle. Pour Mareis, la matérialité du savoir intéresse les chercheurs en design, en atteste l'article « *Designerly ways of knowing: Design discipline versus design science* »⁷⁶. Mareis cite également le sociologue John Law, pour qui la connaissance prend toujours des formes matérielles que ce soit celle d'une conversation, d'un poster, etc. Mareis soulève l'intérêt de la prise en compte des possibilités de mise en forme de la connaissance. « Les possibilités de design et de mise en forme d'une telle production de connaissances matérielles et pratiques qui relient les acteurs humains et non humains semblent donc avoir une portée et des conséquences considérables⁷⁷. » Plus loin, Mareis évoque la structuration de la discipline du design dans les débats de la recherche en design. Mareis souligne une dimension différenciante par rapport aux autres disciplines et qui s'incarne dans sa relation à la pratique. Il me semble que les récentes publications sur les manières de faire de la recherche font écho à ces questionnements et reviennent également sur le rapport entre théorie et pratique.⁷⁸

Sans rentrer dans le détail de ces publications, nous faisons également le constat que ces dernières mettent la pratique du design comme un enjeu pour la recherche en design, sans pour autant que cette dernière soit clairement établie, en attestent les publications qui chacune à leur manière tentent d'encadrer des manières de faire recherche en design. Mareis rappelle que ce fondement pratique, marqué parfois par un rejet du monde académique de la part des designers ou encore une volonté que le design soit perçu parce que les designers font et produisent (et non pas écrivent), n'est pas exclusif au design et que la plupart des productions de connaissance s'appuient sur un environnement matériel. Claudia Mareis écrit que « toute recherche et production de connaissances s'appuie sur un ensemble plus ou moins systématique de pratiques matérielles, techniques, esthétiques et sociales⁷⁹ ».

75 MAREIS, Claudia, 2016. *Doing Research: Design Research in the Context of the 'Practice Turn'*. In : *Design as Research*. Birkhäuser. p. 35-41.

76 Nigel CROSS, *Designerly ways of knowing: Design discipline versus design science*. *Design issues*.

77 Claudia MAREIS, *Doing Research: Design Research in the Context of the 'Practice Turn'*, traduction personnelle : « *The possibilities of design and shaping of such material and practice-based knowledge production that connects human and non-human actors hence seem correspondingly far-reaching and consequential.* »

78 Nous pouvons citer différentes publications qui reviennent sur ces enjeux méthodologiques, l'ouvrage de Pierre-Damien Huyghe voir : HUYGHE, Pierre-Damien, 2017. *Contre-temps. De la recherche et de ses enjeux: arts, architecture, design*. B42. L'ouvrage d'Erin Manning et Brian Massumi, voir : MANNING, Erin et MASSUMI, Brian, 2018. *Pensée en acte, vingt propositions pour la recherche-crédation*. les presses du réels. Artec. L'ouvrage collectif dirigé par Samuel Bianchini, voir : BIANCHINI, Samuel, 2009. *Recherche & Création. Art, technologie, pédagogie, innovation*. Montrouge, éd. Burozoïque et École nationale supérieure d'art de Nancy. Le manifeste de Nicolas Nova, voir : NOVA, Nicolas, 2021. *Enquête/Crédation en design*. HEAD. Genève. et l'ouvrage de Lysianne Lehot Hirt : LÉCHOT-HIRT, Lysianne, 2010. *Recherche-crédation en design: modèles pour une pratique expérimentale*. MétisPresses. VuesDensembles.

79 Claudia MAREIS, *Doing Research: Design Research in the Context of the 'Practice Turn'*, ma traduction : « any research and knowledge production is based on a more or less systematic set of material, technical, aesthetic and social practices. »

Ainsi Renon et Mareis permettent de tirer un pont direct entre les conditions matérielles de la recherche et la recherche en design. Ce lien nous intéresse particulièrement en ce que nous traiterons dans cette thèse de pratiques de design consistant à interroger la matérialité des sciences, et notamment les formats de la recherche scientifique.

Les pratiques au sein de la technoscience : des espaces de fabrique

Il me semble qu'un point particulièrement important pour le design est relevé dans l'ouvrage *Research objects in their technological setting*⁸⁰ quand les auteurs écrivent : « Les activités de compréhension et de fabrication, de connaissance et de production deviennent indissociables les unes des autres⁸¹. » C'est particulièrement intéressant pour le design, car il n'y a pas de connaissance extraite de son environnement matériel. Plus loin dans l'introduction de l'ouvrage les auteurs utilisent l'expression « *Technoscientific designers are not dealing with matter in general* »⁸². Les designers « technoscientifiques » ici cités sont les chercheurs, scientifiques et ingénieurs, travaillant au sein des laboratoires techno-scientifiques assumant ainsi le fait qu'il y a aussi du design au sein des technosciences. Une des particularités de ces objets designés, c'est qu'ils sont toujours en devenir. « *They are designed to become.* » Cet état transitoire nous avait premièrement poussés à proposer une approche de design fiction pour traiter de ces objets en devenir. À la suite de notre expérience de terrain, comme nous l'avons déjà mentionné, nous avons plutôt compris cette situation du design des technosciences comme un impensé : un endroit où se posent de multiples questions de design, mais où, en quelque sorte, les designers seraient comme absents. Ainsi, si dans la terminologie des technosciences et leurs publications en langue anglaise, il y a de multiples occurrences du mot design signifiant « concevoir », cela ne signifie pas pour autant que le design y soit présent en tant que pratique. Rares sont les endroits où se trouvent intégrés des designers-chercheurs au sein des laboratoires techno-scientifiques, nous pouvons néanmoins citer Néri Oxman au MIT ou, plus proche de nous, la création du *Y.SPOT Labs* au sein du CEA⁸³ et le cluster d'excellence de recherche *Matters of Activity* (Berlin) dans lequel est rattaché le designer-chercheur Emile de Visscher. Ce que nous voulons souligner par là, c'est que le design des technosciences, le design des objets techno-scientifiques est un design sans designers, c'est un design sans question de design. Nous soutenons qu'avec la pratique des technosciences, que nous prenons ici pour un contexte et non pas comme une critique, les sciences ne peuvent se passer d'une réflexion sur leur pratiques, leurs objets et les valeurs avec lesquelles elles proposent des dispositifs. La complexité de ces milieux n'exige pas selon nous que les designers soient à la fois ingénieurs, chimistes, physiciens, biologistes, etc., mais plutôt que leurs compétences et réflexions puissent intégrer de tels espaces.

Dans l'ouvrage collectif *Research objects in their technological setting*, les auteurs soulignent la dimension de fabrique et de production, le tournant proprement objectal que

80 Bernadette BENSUADE-VINCENT, Sacha LOEVE, Alfred NORDMANN et Astrid SCHWARZ, *Research objects in their technological setting*.

81 Bernadette BENSUADE-VINCENT, Sacha LOEVE, Alfred NORDMANN et Astrid SCHWARZ, *Research objects in their technological setting*. p 5 traduction personnelle : « *The activities of understanding and making, knowing and producing are becoming indistinguishable from one another.* »

82 Nous laissons volontairement l'expression en anglais.

83 Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives.

prend la recherche scientifique. La particularité des objets produits en laboratoire est qu'ils sont conçus en dehors de toute considération du monde, ils sont en dehors de la vie, des valeurs et des intérêts. Ce sont des objets de salle blanche qui n'existent que pour une application expérimentale. Ainsi, ils écrivent : « à mesure que le savoir et la fabrication s'entremêlent, l'attention des chercheurs passe de la caractérisation des choses à leur fonctionnement, des structures aux fonctions, des propriétés aux processus. Les objets produits en laboratoire sont préparés intellectuellement et techniquement de telle manière qu'ils cessent d'être des choses du monde ; ils sont purifiés de tout type d'intérêts et de valeurs⁸⁴. » De manière opposée, les objets de la recherche techno-scientifique sont chargés de valeurs. Ils circulent à travers des discours médiatiques et portent en eux, non pas des usages, mais des images qui cristallisent des imaginaires sur leur devenir. Pour les auteurs, « les objets de la recherche techno-scientifique sont attrayants de manière banale et familière⁸⁵ ». Ainsi, ils ne sont plus coupés de l'expérience du réel et font partie de la vie quotidienne. Ils apparaissent par exemple dans les fictions filmées des séries de science-fiction, ce sont les objets de la série *Black Mirror*⁸⁶ et ils existent avec nous dans nos microprocesseurs, nos calculateurs, nos algorithmes, nos capteurs. C'est pourquoi on peut dire que les objets des technosciences peuplent notre imaginaire avant même qu'ils ne façonnent notre environnement. Il semblerait que les valeurs sous-tendues dans les objets techniques ne soient pas prises en considération par les concepteurs (les scientifiques) de ces objets. C'est comme si les technosciences continuaient à faire de la science sans que l'existence de ces objets ne soit prise en considération. Cette existence intéresse selon nous le design.

Les formes matérielles des disciplines et de leur mise en visibilité⁸⁷

Où se posent les questions de design dans le contexte qui nous occupe ? Comme nous l'avons vu, la chercheuse en design et en épistémologie Anne-Lyse Renon ancre le design dans une culture matérielle. Elle écrit : « l'histoire du design est ancrée dans une histoire de la culture matérielle, et celle-ci s'est progressivement établie comme champ de recherche et de publications spécifique depuis la fin des années 1970⁸⁸. » Ce que l'on peut nommer culture matérielle de manière très large est la manière dont le design s'occupe des formes, matières, dimensions, proportions des objets et espaces qui sont habités. Anne-Lyse Renon s'appuie notamment sur les recherches de Michael Lynch, venant d'un courant d'ethnométhodologie des sciences. En effet, pour Michael Lynch, les disciplines

84 Bernadette BENSUADE-VINCENT, Sacha LOEVE, Alfred NORDMANN et Astrid SCHWARZ, *Research objects in their technological setting*. p. 2 traduction personnelle : « as knowing and making become ever more entangled, researchers' attention shifts from the characterization of things to how they perform, from the structures to functions, from properties to processes. Objects of scientific research are prepared intellectually and technically in such a way that they cease to be mundane things; they are purified of all kinds of interests and values. »

85 Bernadette BENSUADE-VINCENT, Sacha LOEVE, Alfred NORDMANN et Astrid SCHWARZ, *Research objects in their technological setting*. p.2 traduction personnelle : « objects of technoscientific research are attractive in a mundane and familiar way »

86 *Black Mirror* [TV] 2011 - 2019. créé par Charlie Brooker. Diffusé sur Channel 4 (2011-2014) puis en streaming sur Netflix 2016 - 2019.

87 Voir RIGOT, Élise, 2020 « Bio Is The New Black #6 - Entretien avec Anne-Lyse Renon, Design graphique dans les pratiques de la science », radio FMR, CPU.

88 RENON, Anne-Lyse, 2016. *Design et esthétique dans les pratiques de la science*. Thèse de doctorat. Paris, EHESS. p. 221

se définissent en partie par les instruments et la culture matérielle qui les unissent. Ainsi, « les regroupements disciplinaires au sein du vaste domaine de la biologie computationnelle se définissent souvent en fonction des instruments et des méthodes qu'ils utilisent⁸⁹. » Au-delà même d'une discipline, ces regroupements peuvent prendre la forme de communautés bien établies avec des conférences scientifiques dédiées. Dans le champ de la mécanobiologie, certains chercheurs se rassemblent par exemple autour de l'outil de l'AFM (Microscope à Force Atomique) et dédient leur carrière à chercher de nouveaux résultats à partir de cette technologie fonctionnant par une pointe entrant en contact avec la matière vivante et pouvant mesurer les propriétés mécaniques des cellules et des tissus. Ces manières de faire science par la culture matérielle créent un pont avec le design.

Anne-Lyse Renon rapproche cette culture matérielle de la mise en visibilité des sciences. Pour Anne-Lyse Renon, il y a une circularité visuelle, technologique et gestuelle, qui implique des manières de voir et des formes sensibles d'observation. Ainsi, les mises en forme de la science, sont pour Anne-Lyse Renon à rapprocher de ce que peut être le design⁹⁰. Ces formes de représentation scientifique ne sont pas à proprement parler objectives, car elles impliquent une modification de la donnée première pour donner à voir une chose en particulier. Renon rappelle que la manière de regarder est toujours informée culturellement, disciplinairement et historiquement. Ainsi, on peut légitimement se demander ce que peut apporter le design, dans un contexte où la place des images, de la fabrication et des applications sociales est omniprésente.

À ce point de notre développement, je résume mon propos en cette question de recherche : *En quoi le design peut-il participer d'une culture matérielle de la recherche scientifique ? Comment peut-il dès lors l'influencer et quels enjeux cette situation soulève-t-elle ?*

Si les recherches scientifiques ont une culture matérielle et visuelle, à la fois disciplinaire, technologique, historique et scientifique, alors le design qui est inscrit dans la dimension matérielle semble avoir toute sa place dans la pratique des sciences. Ce faisant, le rapprochement du design avec la science n'est pas de l'ordre d'une science du design ou un enjeu de scientificité du design⁹¹, c'est plutôt dans les manières de faire science ce que la recherche en design peut apporter à la recherche scientifique. Il nous semble que c'est d'ailleurs un double mouvement : les pratiques scientifiques ouvrent des terrains et des enjeux pour le design ; et le design ouvre des possibilités pour les pratiques scientifiques. Les liens qui unissent sciences et design ne sont pas nouveaux, ni évidents. L'historienne du design, Alexandra Midal souligne une potentielle dérive d'une neutralité du design au sein des pratiques scientifiques « aux dépens de la complexité et des ambiguïtés qui le caractérisent⁹². » Ainsi tout l'enjeu pour les designers qui souhaitent participer d'une culture matérielle des sciences et de trouver une position qui leur permette d'exprimer

89 COOPMANS, Catelijne, VERTESI, Janet, LYNCH, Michael E. et WOOLGAR, Steve (éd.), 2014. *Representation in Scientific Practice Revisited*. Cambridge, MA, USA : MIT Press. Inside Technology. p. 201. ma traduction : « Disciplinary groupings within the broad domain of computational biology often define themselves according to the instruments and methods they use ».

90 Élise RIGOT, « Bio Is The New Black #6 - Entretien avec Anne-Lyse Renon, Design graphique dans les pratiques de la science »

91 Ces questions ont été posées dans RIGOT, Élise, 2020 « Bio Is The New Black #3 - dialogue entre Anthony Masure & Xavier Guchet - des designers passeur.se.s », radio FMR, CPU.

92 Alexandra MIDAL, *Design : introduction à l'histoire d'une discipline*, p. 197

une recherche en design singulière, non instrumentalisée par des disciplines externes. C'est tout l'enjeu des cadres interdisciplinaires qui visent non pas à une instrumentalisation des compétences et disciplines mais à de réelles collaborations entre des pratiques hétérogènes.

Il me semble que si l'on définit le design comme ce qui met en forme notre environnement matériel, des questions dans la culture matérielle des sciences de design se posent à trois niveaux différents :

- Le premier niveau, le plus visible est celui des inventions techno-scientifiques qui ont des implications sociales et des applications spécifiques.
- Le second niveau est celui de la forme et des formats des résultats techno-scientifiques (publications, ouvrages, site web, etc.).
- Le troisième niveau concerne les pratiques techno-scientifiques et fait intervenir des dimensions matérielles hétérogènes (instruments, objets d'étude, objets de maintenance, outils de communication, etc.). Il implique que le design se saisisse des formats pratiqués dans la recherche entrain de se faire.

Ces trois niveaux sont interpénétrables, et des objets techno-scientifiques peuvent faire l'objet d'une discussion interpersonnelle menant à une nouvelle pratique, comme un résultat peut mener à de nouvelles pratiques et retombées sociales. A l'heure actuelle, la présence du design dans ce contexte est principalement dû à l'utilisation massive de ce terme en langue anglaise dans les publications scientifiques, *to design*⁹³. Les chercheurs en ingénierie se disent en effet « designers » et proposent des « designs » de dispositifs techniques⁹⁴. La différence majeure avec l'approche de design que nous étudions dans cette thèse tient à la perspective que porte le design sur *ce qui pourrait être*, de manière questionnante, tandis que les sciences de l'ingénierie s'occupent de *ce qui est* afin de résoudre un problème. En somme, une partie de notre travail consiste à étudier le design dans un champ où des questions de design se posent, mais où le design est un impensé. A ce titre, le premier regard que j'ai posé sur le laboratoire techno-scientifique du LAAS-CNRS a été celui d'un lieu de production. La connaissance est aujourd'hui soumise à une forme d'économie qui fait entrer les universités et laboratoires de recherche dans les logiques de concurrence et organise un marché de la connaissance scientifique.⁹⁵ Au contraire, notre expérience de terrain nous a plutôt portés à l'endroit des pratiques et des instruments de fabrique.

Rappelons nous une histoire du design en rapport à la production industrielle et notamment celle qu'en rapporte Alexandra Midal, dans l'ouvrage *Design : introduction à l'histoire d'une discipline*⁹⁶. L'histoire du design débute par une déception. Nous sommes en 1851 à Londres, et Henry Cole, l'un des principaux organisateurs de l'Exposition universelle, va avoir un apport décisif pour le design⁹⁷ par sa volonté de concilier les arts avec les

93 Nous avons discuté de cette considération avec Marguerite Benony lors de l'épisode 7 de Bio Is The New Black cf : RIGOT Élise, 2020. « Bio Is The New Black #7 - Entretien avec Marguerite Benony, », radio FMR, CPU.

94 Sacha LOEVE, Design and Aesthetics in Nanotechnology, *French Philosophy of Technology*.

95 Bernadette BENSUAUDE-VINCENT, *Les Vertiges de la technoscience*.

96 Alexandra MIDAL, *Design : introduction à l'histoire d'une discipline*.

97 Il crée en 1849 *The Journal of Design*.

sciences et l'industrie. Pourquoi une déception ? Si le bâtiment de Joseph Paxton qui accueille les objets exposés est une prouesse à la fois technique et esthétique, la majorité des objets présentés ne sont que de pâles copies d'objets artisanaux de la bourgeoisie reproduits de manière grossière par les techniques manufacturières de l'époque. L'historienne du design Alexandra Midal relate ainsi « qu'une fois disposées au sein du Crystal Palace, les productions artisanales et industrielles ne servent nullement la production industrielle car en plus de substituer au style et à l'ornementation artisanale celui de la machine, tous les critères retenus se révèlent peu concluants et piètrement satisfaisants. Les produits standardisés européens hétéroclites favorisent surtout le passé, l'ostentatoire, le goût bourgeois et l'imitation⁹⁸ ». Ainsi les moyens de production ne sont pas réfléchis pour ce qu'ils peuvent offrir en propre, mais rejouent d'anciennes habitudes esthétiques factices⁹⁹. Nous verrons que des questions similaires se jouent dans les laboratoires techno-scientifiques et notamment à travers les pratiques de bio-impression 3D. Pour autant, une autre lecture du design peut tenter de le voir comme une activité humaine liée au développement technique et non pas à l'avènement de la société industrielle. Ainsi, pour le designer Ettore Sottsass : « Où bien le design n'existe pas, ou bien il a toujours existé¹⁰⁰. » Cette phrase en apparence simple déplace la question du design non pas avec son rapport à l'industrie, mais dans son rapport aux gestes techniques. Cette perspective du design nous amène à voir le laboratoire, non plus comme un espace de production, mais comme un lieu de gestes techniques. Cette existence inconditionnelle du design, dans le sens de non conditionné à l'industrie, permet de le lier à la technique. Le design est intimement lié à la technique et vice et versa. Si l'on suit le raisonnement du philosophe des techniques Gilbert Simondon, la technique fait partie de la culture et son enseignement devrait par conséquent être partagé par tout un chacun. Également, cette manière de comprendre le laboratoire nous semble plus juste, en ce qu'elle insiste sur le caractère construit de cet espace. Pour le sociologue des sciences Dominique Vinck « Le laboratoire est d'abord une construction. Il n'est pas donné a priori. Il résulte d'une mise en convergence de réseaux préexistants¹⁰¹. » Vinck poursuit en expliquant que ce dernier est le résultat de choix, à l'intérieur de ces choix, il peut y avoir des espaces pour une recherche en design.

Nous avons esquissé comment une acceptation d'une naissance historique du design avec l'avènement de la production industrielle revient à observer les laboratoires de recherche en ingénierie pour ce qu'ils produisent d'objets techniques et de champs d'applications (les voir comme potentielles marchandises qui auront un usage). Ainsi, comprendre le laboratoire de cette façon reviendrait potentiellement à prolonger la chaîne opératoire productive d'objet technique.

Dans un autre sens, prolonger le geste technique du design (avec Sottsass), c'est voir les laboratoires de la recherche en ingénierie comme des espaces de vie dans lesquels les

98 Alexandra MIDAL, *Design : introduction à l'histoire d'une discipline*. p. 37

99 Les produits industriels seront jugés de mauvaise facture, ainsi plusieurs intellectuels designers ou architectes prônent un retour au gothique tels que Pugin, Carlyle ou Ruskin.

100 Ettore Sottsass : « Tout est design, c'est une fatalité », 2005. *Le Monde.fr*. [en ligne]. [Consulté le 24 mai 2022]. Disponible à l'adresse : https://www.lemonde.fr/culture/article/2005/08/29/ettore-sottsass-tout-est-design-c-est-une-fatalite_683436_3246.html

101 VINCK, Dominique, 1992. *Du laboratoire aux réseaux: Le travail scientifique en mutation. Politique de la science et de la technologie, Rapport de recherche FAST*

pratiques et activités de la recherche transitent à travers des objets, dispositifs, des formats : il s'agit de mettre en lumière les gestes¹⁰² et les choses de ces espaces. Au sein de ce travail de recherche, nous sommes animés par cette intention car elle permet de s'extraire d'une vision programmatique de la recherche vue comme productrice d'inventions et d'innovations qui n'auraient plus, pour ainsi dire, qu'à « trouver leur marché ».

3. Problématiques

A l'issue de notre réflexion sur l'intérêt d'une prise en compte du design, dans sa matérialité et sa mise en visibilité pour les milieux de la recherche en technosciences, nous soulevons un certain nombre de questions que nous listons ici et qui ont alimentés les recherches-crétions de cette étude :

En quoi une pratique de recherche-en-design, ancrée dans un terrain de recherche mêlant des questions de biologie & technologie, peut-elle contribuer à de nouvelles formes de savoir ?

En quoi les outils, dispositifs ou artefacts conçus par un tel design peuvent-ils poser de nouvelles questions à la recherche scientifique et donc participer à de nouvelles découvertes ?

En quoi un tel contexte d'étude modifie la manière de faire du design ? Quels champs d'expérimentation cela ouvre-t-il pour les designers ?

Quels apports le design, dont la pratique est rattachée au domaine de la forme, peut-il fournir à l'endroit de la recherche scientifique en ingénierie et en particulier dans une équipe qui travaille aux micro et nano technologie pour le vivant ?

En quoi un travail sur les outils et la mise en visibilité de la science peut-il influencer les découvertes et les manières de faire de la recherche aujourd'hui ?

Que deviennent les sciences au sein de la technoscience si elles impliquent une dimension réflexive au sein de leurs pratiques ? En quoi des formats de recherche-crétion permettent de nouvelles découvertes scientifiques, de nouvelles questions ou bien de nouveaux imaginaires pour les sciences de l'ingénierie du vivant ?

102 FLUSSER, Vilém, 1999. *Les gestes*. D'ARTs éditeur et HC (Editions Hors Commerce).

4. Méthodologies

Une thèse basée sur la pratique

J'ai travaillé les hypothèses de cette recherche en les informant de ma pratique¹⁰³. Cette méthodologie de « faire » et de la mise en œuvre s'est trouvée en écho des pratiques de mon laboratoire de recherche d'accueil, où les sciences de l'ingénierie ont également pour vocation de réaliser des études scientifiques en fabricant des artefacts et systèmes.

Les premiers mois de la thèse ont été une période dédiée à l'étude de mon terrain à l'aide d'observations, de dessins, croquis, interviews et lectures (voir cahier d'images en amont du chapitre). Pour autant, ma perspective n'a pas été de décrire cet espace et les activités qui s'y trouvaient. En effet, la perspective du design n'est pas seulement de décrire ou d'interpréter, mais de transformer. L'anthropologue britannique Tim Ingold souligne bien le caractère transformateur du design. « Les observations, les descriptions et les propositions de l'anthropologie du design ne sont pas rétrospectives, mais prospectives : leur but n'est pas d'interpréter, mais de transformer¹⁰⁴. »

Recherche-création en design

Nous avons utilisé dans thèse une méthodologie de recherche-création en design telle que formulée et explicitée notamment par la chercheuse en design Lysianne Léchet-Hirt.

Comme le rappellent les auteurs de *Recherche-création en design : modèles pour une pratique expérimentale*, la recherche en design n'est pas homogène. La théoricienne du design Lysianne Léchet-Hirt donne une définition de la recherche-création comme une manière « de se servir de la compétence créative propre aux designers et aux artistes dans une démarche de recherche¹⁰⁵. » Pour Lysianne Léchet-Hirt, le caractère interdisciplinaire de la recherche-création en design est partagé. Un des intérêts qu'elle soulève se situe dans la génération de connaissances et de savoirs d'une typologie nouvelle. Si la recherche en design n'a aucune restriction ou limite concernant ses sujets, Lysianne Léchet-Hirt souligne que le domaine des nouvelles technologies constitue pour la recherche en design un champ d'investigation idéal, dans le sens où se jouent des rapports renouvelés et profonds entre technique et art, notamment parce que ce champ permet une investigation artistique sans fin « allant de la résolution de questions techniques à l'invention de nouveaux modes relationnels entre les personnes¹⁰⁶ ». Lysianne Léchet-Hirt insiste sur l'absence d'un consensus méthodologique de la recherche-création en design. En effet, il

103 J'ai une formation de design assez généraliste qui englobe une partie théorique (agrégation et master 2 de recherche), une partie pratique (DSAA objet) et une expérience de conseil en entreprise.

104 traduction personnelle : « The observations, descriptions and propositions of design anthropology are not retrospective but prospective: their purpose is not to interpret but to transform. » INGOLD, Tim, 2014. Design anthropology is not, and cannot be, ethnography. Conférence. University of Aberdeen. 2014. cité dans Nicolas NOVA, *Enquête/Création en design*, p. 24

105 LÉCHOT-HIRT, Lysianne, 2010. *Recherche-création en design : modèles pour une pratique expérimentale*. MétisPresses. VuesDensemble. p. 29

106 Lysianne LÉCHOT-HIRT, *Recherche-création en design : modèles pour une pratique expérimentale*. p. 43

n'y a pas à proprement parler de méthodologie pour la recherche en design et il n'y a pas de méthodologie type pour la recherche-crédation. En effet, comme l'expose le philosophe Pierre-Damien Huyghe, « la tradition de sa recherche [au design] à l'université commence à peine¹⁰⁷. » Anthony Masure voit là une opportunité : « l'absence de reconnaissance du design comme discipline universitaire serait alors une chance d'échapper à des méthodologies duplicables¹⁰⁸ » pour utiliser des méthodologies de champs différents afin de construire des projets plus efficaces, car interdisciplinaires. Ainsi, de multiples méthodologies nous ont semblé intéressantes à convoquer dans ce travail de recherche. S'il n'y a pas de normes pour la recherche-crédation en design, Lysianne Lécho-Hirt repère néanmoins une démarche commune. Ainsi, les recherches-crédations en design sont marquées par une approche conceptuelle où la création est vue comme heuristique (et non pas une fin en soi). Elles prennent place au sein d'une question de recherche documentée (avec le même niveau d'exigence que les états de l'art d'autres domaines de recherche). Aussi, elles nécessitent, selon Lysianne Lécho-Hirt, une publication des résultats à l'issue du processus de recherche création (publication, exposition, démonstration, etc.). Ainsi, ce qui sépare fondamentalement la recherche-crédation de la création est son inscription dans une question de recherche et sa future publication, remettant en question les thèses de recherche-crédation qui se passent de discours. Le caractère de création dans la recherche en design permet d'éviter l'écueil d'une proposition de design opératoire, qui consisterait à résoudre un problème ou bien à élaborer des propositions en vue d'un cahier des charges. Également, il évite une position prescriptive qui se baserait sur des hypothèses non vérifiées.

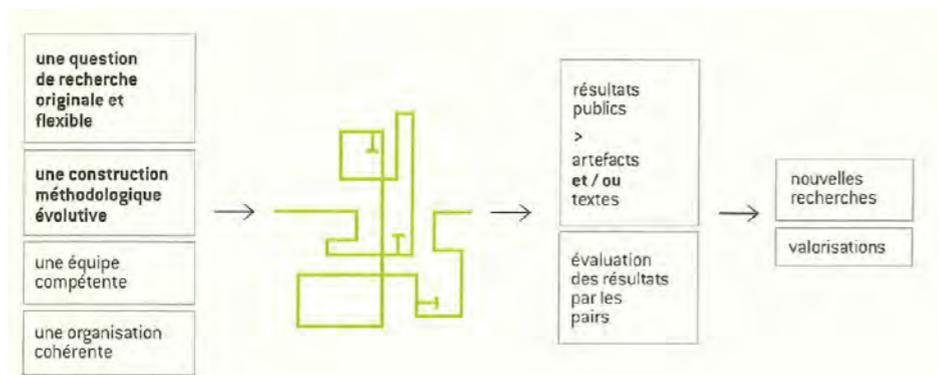


Figure 5 — : schématisation de la méthodologie de recherche-crédation en design : modèle « creasearch » au sein de l'ouvrage *Recherche-crédation en design : modèles pour une pratique expérimentale* dirigée par Lysianne Lécho-Hirt. (p. 76) Les parties en gras insistent sur le caractère itératif de la recherche-crédation en design.

Les auteurs de *Recherche-crédation en design : modèles pour une pratique expérimentale* résument ainsi leur modèle *creasearch* (Figure 5) :

« le modèle *creasearch* se différencie des conceptions conventionnelles de la recherche scientifique en ce qu'il admet l'expérience créative comme activité de recherche, et il se différencie d'une simple identifi-

107 HUYGHE, Pierre-Damien, 2017. *Contre-temps. De la recherche et de ses enjeux: arts, architecture, design*. B42. p. 99

108 MASURE, Anthony, 2014. *Le design des programmes : des façons de faire du numérique*. Thèse de doctorat. Paris 1.

cation de la création à la recherche en restreignant le cadre dans lequel une activité de création peut prétendre valoir comme activité de recherche¹⁰⁹. »

Ainsi, selon les espaces de projet et les questions de recherche, nous avons adapté cette forme de méthodologie de la recherche-crédation en design. Comme nous l'expliquons par la suite, le cœur de la thèse est constitué de trois espaces de projets qui sont trois modalités de recherche-crédation en design. Dans les différents cas, nous avons emprunté des méthodologies issues d'autres disciplines (sans nous former à ces disciplines donc il s'agit d'emprunt au sens d'inspiration). Un des projets nous a conduits à utiliser des méthodologies issues de l'anthropologie, d'autres de la recherche en archive et un autre contexte encore nous a poussés à utiliser dans une forme très restreinte des méthodologies de design participatives et de recherche en art. Ces formes nous aident à penser et nous pensons par les formes. Ainsi, les formes ne sont pas données à l'avance et le choix de l'investigation formelle est d'une importance capitale. Comme le souligne Nicolas Nova, « le choix de la forme influence la production du matériau d'enquête, la manière de l'analyser, au même titre qu'il précise la problématique abordée¹¹⁰. »

Lysianne Lécho-Hirt différencie bien la notion de projet, telle qu'elle est entendue dans le monde académique pour la recherche de financement par exemple, et dans la « jeune¹¹¹ » discipline de la recherche en design. Ainsi, elle écrit :

« En théorie du design (comme en théorie de l'architecture d'où le concept est issu), un projet désigne à la fois la séquence d'actions entreprises en vue de la production d'un nouvel artefact, et les moyens usuellement utilisés pour représenter les différents stades de développement de cet artefact (esquisses, dessins plans, maquettes, prototypes). [...] Dans une démarche de recherche, le projet désigne une séquence d'activités accomplies dans un cadre temporel défini en vue de découvrir des réponses ou de construire des solutions à une question ou à un problème précisément formulés. Le projet de recherche est l'unité à partir de laquelle la plupart des instances de financement de la recherche organisent la distribution de leurs fonds¹¹². »

Dans notre cas, le terme projet que nous utilisons dans la thèse définit un espace de propositions de design dans un certain contexte temporel.

109 Lysianne LÉCHOT-HIRT, *Recherche-crédation en design : modèles pour une pratique expérimentale*. p. 77

110 Nicolas NOVA, *Enquête/Création en design*. p. 49

111 La design research society est fondée à Londres en 1966. Lysianne LÉCHOT-HIRT, *Recherche-crédation en design : modèles pour une pratique expérimentale*. p. 29

112 Lysianne LÉCHOT-HIRT, *Recherche-crédation en design : modèles pour une pratique expérimentale*. p. 29

Lysianne Léchoth-Hirt revient sur les propositions du théoricien du design Alain Findeli pour la recherche-création¹¹³ en design en s'appuyant sur sa théorisation de la recherche-projet en design. Pour Léchoth-Hirt, « la recherche-projet relève de la théorisation située et se distingue donc d'une attitude purement spéculative (création) ou strictement déductive (empirisme scientifique)¹¹⁴. » Le regard porté par les designers est ainsi « un regard diagnostique dont la finalité est pratique — et non un regard analytique à visée descriptive¹¹⁵. »

L'anthropologue Nicolas Nova, a étudié le rapport entre les méthodologies de design et l'anthropologie à travers diverses études et ouvrages¹¹⁶. Lors d'un cours portant sur les enjeux de la recherche-création (novembre 2020) organisé par la HEAD — Genève, il souligne les particularités de la recherche-création en design, qui implique quatre relations spécifiques à la pensée et la connaissance :

- Une pensée en processus : avec un procédé itératif entre observations, descriptions, faire, réflexivité ;
- Une perspective généraliste qui implique une diversité des matériaux d'enquête ;
- Une pensée avec la matérialité : les formats utilisés dans l'enquête n'amènent pas les mêmes réflexions ;
- Une pensée par les formes : par des objets intermédiaires par exemple.

Nous avons mis en place au sein de cette thèse ces caractéristiques de la méthodologie de recherche-création en design. La dimension créative au sein de cette recherche s'éloigne de manière paradoxale avec l'objectivité nécessaire d'un travail de thèse. Nous verrons plus loin qu'il existe d'autres formes d'objectivité à même de laisser s'exprimer des dimensions situées et créatives.

113 Lysianne Léchoth-Hirt rappelle que (paradoxalement) Alain Findeli récuse la recherche-création, elle relève une définition trop étroite de l'acte créatif de sa part.

114 Lysianne LÉCHOT-HIRT, *Recherche-création en design : modèles pour une pratique expérimentale*, p 31

115 Lysianne LÉCHOT-HIRT, *Recherche-création en design : modèles pour une pratique expérimentale*, p. 31

116 voir : Nicolas NOVA, *Enquête/Création en design*. NOVA, Nicolas et BLOCH, Anaïs, 2020. *Dr. Smartphones: an ethnography of mobile phone repair shops*. IDP. NOVA, Nicolas et LÉCHOT HIRT, Lysianne, 2019. *Ethnographier avec le design. Techniques & Culture*. NOVA, Nicolas, 2014. *Beyond design ethnography*. SHS Publishing.

5. Structure de la thèse

Un plan par projet

Les chapitres de la thèse sont au nombre de quatre, complétés d'une conclusion générale. Trois chapitres forment le cœur de l'écriture. Chacun d'entre eux aborde une hypothèse-projet. C'est-à-dire, un projet que nous avons déployé dans le cadre de la thèse et qui incarne d'une certaine façon une hypothèse pour éclairer notre problématique. Cette thèse est une thèse en design et en ce sens, il n'y a pas de « réponses » possibles. Il y a plutôt des propositions qui ont des effets que nous avons analysés. Ainsi, il était intéressant ici de prendre pour point de départ chacun des projets menés et de les mettre au centre à la fois de la thèse générale, mais aussi de chacun des chapitres consacrés à ce que l'on pourrait nommer « pratique », mais qui en réalité est une forme de notre recherche que l'on ne peut séparer de la « théorie ». Les chapitres de projets (chapitre 2, 3, 4) reprennent à leur compte une méthodologie d'écriture des sciences de l'ingénierie. Cela peut surprendre étant donné que nous ne sommes ni de cette discipline, ni ne nous référons pas à cette pratique. Dans les sciences de l'ingénierie, il y a de la fabrication et également l'élaboration d'une proposition qui peut être instrumentale, expérimentale, objectale, technologique, etc. où les « objets » produits sont exposés, analysés et discutés. Ainsi, nous avons repris cette manière de faire pour notre thèse en design en organisant les chapitres de projets selon le plan général suivant : contexte, hypothèse, réalisations, résultats, discussion et perspectives. Les termes « contexte, hypothèse, réalisations, résultats, discussion et perspectives » n'ont pas exactement le même sens que dans les sciences dites « exactes ». Ainsi nous pouvons les définir comme ce qui suit :

- **Contexte** : Présentation des enjeux, constats et études connexes, appuyés sur des sources de disciplines variées.
- **Hypothèse** : Formulation d'une hypothèse de recherche-création qui prend une forme matérielle et visuelle et qui répond à des enjeux exposés dans le contexte de l'étude.
- **Réalisation** : Exposition des recherches-créations et explicitation des choix techniques et des difficultés de conception.
- **Résultats** : Effets des recherches-créations sur les parties prenantes et les récepteurs des recherches-créations, développements induits de nouvelles recherches-créations.
- **Discussion** : Paradoxes des recherches-créations et éléments de discussion.
- **Perspective** : Questions, développements, conceptions ouvertes par les recherches-créations à poursuivre par la communauté de recherche en design.

Ainsi, nous utilisons ces termes issus des sciences de l'ingénierie, mais sans pour autant en emprunter les méthodes associées. Il n'y a pas d'ordre dans les chapitres de projet, bien que l'enchaînement des chapitres 2, 3 et 4 me semble répondre à un prolongement logique et intellectuel. Le chapitre 2 part en effet du contexte (LAAS-CNRS, équipe ELiA) et se propose l'étude des objets techno-scientifiques produits en laboratoire à l'aide du *Codex*. Le chapitre 3 expose une hypothèse de projet interdisciplinaire mêlant technologies 3D et étude du corail via le projet *Corallum fabrica*. Le chapitre 4 s'éloigne quant à lui

du contexte de départ pour incarner des interrogations d'ordre épistémologique à travers un modèle d'altérité totale : le *Vampyroteuthis infernalis*. Deux autres chapitres forment le cœur de thèse, ce sont les chapitres consacrés aux recherches-créations du *Codex* et de *Corallum fabrica*, qui sont au centre du manuscrit. Le manuscrit est complété d'une conclusion et d'un chapitre introductif que vous êtes présentement en train de lire et qui expose le contexte, la problématique et la méthodologie de la thèse (chapitre 1). Si les recherches-créations en design sont volontairement séparées en chapitres, il n'y a pas de rupture temporelle entre les différents projets. Ainsi, si l'on fait une chronologie des différents projets en prenant comme point de départ et de fin des moments de publication (fig. 6), on voit qu'ils se superposent dans le temps et que les réflexions et propositions de l'un font avancer les expérimentations de l'autre. Il y a également une continuité entre les moments de recherche-création et ceux de la publication.

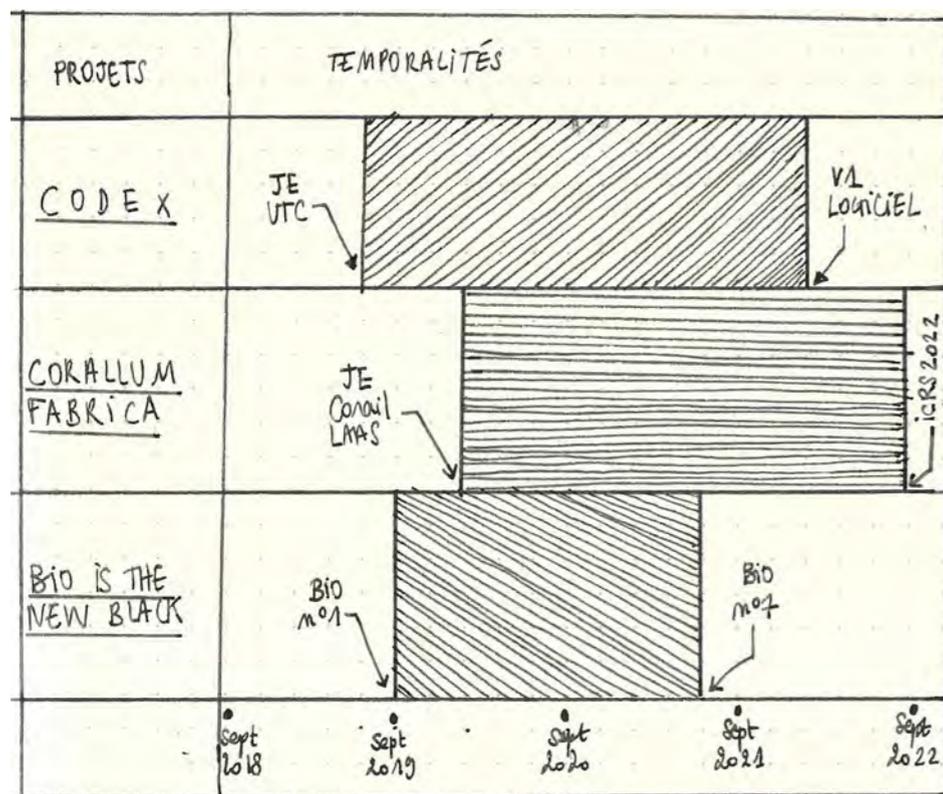


Figure 6 — : chronologie simplifiée des différents projets d'étude qui constituent cette thèse. Le début d'une phase correspond à un événement scientifique (journée d'étude, publication, conférence).

Si nous avons choisis de séparer les projets pour plus de clarté dans la lecture de la thèse et pour éviter de se faire chevaucher de multiples contextes d'étude hétérogènes, les chapitres se répondent les uns des autres et répondent tous à la même question de recherche.

Choix graphiques

Les chapitres de projets mélangent des technologies d'écriture et des registres d'images très différents. Si nous regardons les images (appelées figures) de cette thèse, nous pouvons définir deux grandes catégories. Premièrement, il y a des figures qui appuient le discours de la thèse ou bien à partir duquel ce discours se construit. Il nous semble également important d'insérer ce qui a le caractère d'objets transitionnels, à savoir des étapes de travail, qui peuvent être incarnées par des schémas, des photographies, des croquis, des maquettes, des prototypes, etc. Deuxièmement, il y a des images de réalisations et de projets : ce sont les images des cahiers d'images.

Les cahiers d'images sont insérés au fil de la lecture dans les chapitres-projets. Ces pauses iconographiques sont pensées comme des formes graphiques à part entière, qui peuvent se lire de manière indépendante¹¹⁷. Nous avons souhaité donner une place particulière à cette iconographie, car elle a un statut particulier en tant que forme de réalisation. Ces cahiers d'images ont leur identité graphique propre. Ils donnent notamment à percevoir les réalisations graphiques, plastiques et expérimentales de cette thèse, et sont volontairement dénués de texte afin que les images puissent s'exprimer d'elles-mêmes. Ils ne rejouent pas l'expérience sensible à laquelle font appel les trois projets *Codex*, *Corallum fabrica* et *Vampyroteuthis infernalis*, mais permettent d'incarner visuellement ces hypothèses de projets. Les images n'ont en effet pas le même statut si elles rendent visibles des propositions, des objets transitoires, des artefacts ou si elles rendent visible une anthropologie visuelle par la technique du croquis ou de la photographie. Ces différents régimes d'images se succèdent et nous avons tenté d'en expliciter le statut. L'explicitation des choix graphiques du présent travail est à mettre en perspective avec la prise de position relative aux formats des thèses de doctorat initiée par le philosophe Pierre-Damien Huyghe, pionnier de la recherche en design en France. Dirigeant de nombreuses thèses à l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, ce dernier a notamment mis en exergue l'importance des choix formels et du statut des images. La thèse de Anthony Masure (2014)¹¹⁸ contient par exemple des espaces d'exposition en tant que format à part entière de la recherche.

Irène Dunyach¹¹⁹ a réalisé la maquette éditoriale du manuscrit que vous avez sous les yeux. Nous avons discuté des choix graphiques en concertation ensemble. Les choix de couleurs des typographies et de différents éléments graphiques s'inspirent de certaines tonalités de paysages maritimes : océan, plancton, algues, sable, cendres, abysses, etc. (fig. 7).

117 Ces cahiers d'images sont davantage issus du registre des livres d'art.

118 Anthony MASURE, *Le design des programmes : des façons de faire du numérique*.

119 Irène Dunyach est autrice d'une thèse sur le design éditorial intitulée *Les espaces graphiques de la transition. Repenser le design éditorial pour concevoir de nouvelles expériences de lecture* (2017), enseignante en DNMADE et cofondatrice des Presses Fantômes.

Sable R=186 V=160 B=148 #baa094	Terre R=110 V=87 B=86 #6e5756	Argile R=64 V=37 B=32 #402520
Cendres R=41 V=42 B=49 #292b31	Homard R=233 V=76 B=40 #e94c28	Crevette R=241 V=138 B=158 #f18a9e
Écume R=138 V=175 B=184 #8aafb8	Plancton R=0 V=168 B=190 #00a8bc	Plongée R=0 V=66 B=91 #00425b
Océan R=0 V=25 B=144 #001990	Abysses / Abysses++ R=0 V=40 B=61 / R=0 V=26 B=62 #00283d / #001a3e	Algues R=0 V=72 B=66 #004842

Figure 7 — : palette des couleurs utilisées pour la mise en page de la thèse, Crédit Irène Dunyach

Ces couleurs nous engagent dans une plongée vers les abysses, en reprenant les thèmes et le plan de la thèse. La lecture volontairement verticale repose sur un principe de strates, accentué par l'utilisation de filets de formes différentes. Une large palette de polices de caractères est utilisée (figure 8). La police de caractère *Digestive*¹²⁰ (2016-2020) de titrage repose sur un choix de formes organiques et des animaux marins de la part de

120 Digestive, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 24 mai 2022]. Disponible à l'adresse : <https://studiotriple.fr/travaux/typefaces/digestive/>

son créateur Jérémy Landes (Studio Triple). La police du corps principal, la *NaN tragedy*¹²¹ (Jean-Baptiste Morizot, 2019-2021), quant à elle, repose sur la rencontre paradoxale entre l'écriture manuelle des scribes monacaux et des détails géométriques issus de l'accélérateur de particules du CERN. Elle incarne parfaitement la rencontre entre des strates temporelles différentes, qui ne s'opposent pas, mais s'additionnent dans cette thèse.



Figure 8 — : choix des polices de caractères et explicitation des différents niveaux de lecture proposés dans les choix de mise en page

121 NaN Tragedy, [sans date]. NaN. [en ligne]. [Consulté le 24 mai 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.nan.xyz/fonts/nan-tragedy/>

D'autres polices complètent la thèse telles que la *Roboto Serif* (Google Fonts, 2021-2022) pour les notes de bas de page et la police de caractère Équateur (Eugénie Bidaut, 2022, d'après la police de caractère *Latitude*¹²² — Ange Degheest, 1950 — distribuée en *open source* sur Velvetyne) pour les sous-titres. Pour la mise en forme des travaux littéraires de la thèse (microfictions, descriptions, création radiophonique, etc.), la typographie *Avara*¹²³ (Raphaël Bastide, Lucas Le Bihan, Wei Huang, Walid Bouchouchi, Jérémy Landes, 2011-2019, distribuée en *open source* sur Velvetyne) a été utilisée. Son dessin très marqué repose sur une grille carrée volontairement grossière. Elle marque un état de transition dans le propos de la thèse et une forme d'écriture dont le statut n'est pas celui du discours.

En effet, différentes typologies d'écriture s'enchaînent de la même manière dans le fil du discours. Le cœur de l'écriture est constitué par le discours de la thèse. D'autres parties sont traitées différemment graphiquement et incarnent différentes typologies d'écriture telles que : fiction, récit ethnographique, écriture à caractère littéraire, article publié. L'utilisation d'un fonds noir rejoue l'idée d'un fac-similé et insiste sur le caractère archivé, documentaire de la proposition d'écriture, qui fait partie de la thèse comme une étape de discussion ou comme résultat scientifique, mais n'intègre pas tout à fait son discours. Les écritures à caractère littéraire et créatif, quant à elles, sont marquées d'une trame en arrière-fond qui les détache visuellement du reste de la thèse. La dimension de création de la thèse est de cette manière visuellement détachée du fil du discours de recherche.

Ainsi le lecteur peut être tenté de prendre connaissance de la thèse par ces images et ces documents dans un premier temps pour s'imprégner des images et typologies d'écriture de la thèse, pour dans un second temps lire le fil du discours. Le lecteur peut être aussi tenté que de n'en lire qu'un morceau, ainsi s'il est plus intéressé par la bio-impression 3D, le chapitre 2 sera son cœur d'intérêt, s'il aime davantage lire au sujet des coraux, c'est au chapitre 3 qu'il lui faudra aller et s'il souhaite s'immerger dans les abysses, le lecteur pourra directement ouvrir le manuscrit au chapitre quatre. Les choix graphiques accompagnent ces diverses lectures et rythment cette étude.

122 Latitude, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 18 juin 2022]. Disponible à l'adresse : <https://velvetyne.fr/degheest/latitude.html>

123 Avara, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 24 mai 2022]. Disponible à l'adresse : <https://velvetyne.fr/fonts/avara/>



**VERS UN
CODEX
DE LA BIO
IMPRESSION
3D**

MANUFACTURED IN USA
CHIU TECHNICAL CORP. 252 INDIAN HEAD RD. KINGS PARK, NY 11754

«Voici un rein qui a été imprimé ici même¹²⁴, sur le plateau de TEDX¹²⁵!» s'exclame le chercheur devant les yeux ahuris du public. «Et je vous présente le patient que j'ai sauvé grâce à la même technologie avec une vessie artificielle.» - l'audience applaudie! Enfin de la science utile!

Cette histoire est racontée par un professeur en urologie, Anthony Atala, fondateur du *Wake Forest Institute for Regenerative Medicine*. Dans son discours, la bio-impression 3D est vue comme productrice d'organes fonctionnels en tout point identiques aux organes biologiques. La technologie promet de remplacer une partie dysfonctionnelle par un élément fonctionnel. Ainsi, les pratiques de communication relatives à la bio-impression, tel que cet extrait de TEDX, pose des questions éthiques dans le sens où elles s'inscrivent dans une logique économique qui met en avant des promesses qui bien souvent vont au-delà de ce qui est techniquement et socialement faisable. Comme le souligne l'historienne des sciences et philosophe américaine Donna Haraway¹²⁶ «il importe les histoires avec lesquelles nous racontons d'autres histoires¹²⁷.» Le discours et le vocabulaire autour de la «bio-impression» seront au cœur de notre étude de recherche-création en design.

Je souhaite poser dès l'introduction de ce chapitre la dimension langagière, spéculative et éthique de la bio-impression 3D. Il me semble qu'une bonne façon de montrer cette triple dimension est de se poser trois questions simples : «qu'est ce que c'est?», «à quoi cela pourrait servir?» et «qui cela sert?». Ces trois niveaux d'analyse serviront notre enquête.

«Qu'est-ce que c'est?»

La bio-impression 3D est apparue au début des années 2000¹²⁸, c'est une combinaison de technologies de fabrication additive avec un matériau biocompatible souvent baptisé biomatériau et des cellules biologiques vivantes. La technologie rend possible la création sur-mesure d'objets artificiels et vivants.

«À quoi cela pourrait servir?»

Cette question fait appel à notre imaginaire et à notre capacité de projection. Ainsi, si l'on imagine la réplique d'un «cœur» en vue de son implantation future, on imagine cette technologie comme une réplique du réel. Cette projection imaginative est liée, selon nous, au langage avec lequel nous décrivons les objets de cette technologie. Par exemple, un cœur bio-imprimé est compris comme le double du cœur organique.

124 Le rein, imprimé en sept heures, aurait permis une greffe d'organes urgente à un patient qui témoigne devant le public.

125 ATALA, Anthony, *Printing a human kidney*. [en ligne]. [Consulté le 4 mai 2022]. Disponible à l'adresse: https://www.ted.com/talks/anthony_atala_printing_a_human_kidney

126 Cette expression est utilisée par exemple par le chercheur en sociologie et STS Mathieu Noury, dans sa thèse de doctorat et exprime très bien cette nouvelle façon de faire de la science avec les nanotechnologies, où les promesses font partie intégrante de la manière de financer ces nouveaux champs de recherche. NOURY, Mathieu, 2014. *La nanosanté : perspective et enjeux sociologiques de l'application des nanotechnologies à la médecine*. Thèse de doctorat. Paris 10.

127 HARAWAY, Donna, 2020. *Vivre avec le Trouble*. Vaulx-en-Velin, Les Éditions des mondes à faire.

128 Thomas Boland (Université de Clemson) brevète l'utilisation de jet d'encre pour des cellules en 2003. MIRONOV, Vladimir, BOLAND, Thomas, TRUSK, Thomas, FORGACS, Gabor et MARKWALD, Roger R., 2003. Organ printing: computer-aided jet-based 3D tissue engineering. *Trends in Biotechnology*. Vol. 21, n° 4, pp. 157-161.

« Qui cela sert ? »

Cette question est à la fois morale et politique. Elle nous demande de réfléchir non pas pourquoi l'on décide de développer telle ou telle technologie ou objet technique, mais à qui elle rendra service. C'est une dimension morale, car la morale organise un certain vivre ensemble. Cette question nous engage à une responsabilité morale vis-à-vis d'un certain développement technique. La responsabilité peut se séparer en deux mots : réponse et habilité¹²⁹. Ce qu'Isabelle Stengers explique comme « une capacité de répondre d'une action ou d'une idée pour ceux pour qui elles auront des conséquences¹³⁰. »

Reprenons l'exemple de la réplique d'un organe en vue de sa transplantation chez un patient. Dans l'article « *3D Printing of Personalized Thick and Perfusable Cardiac Patches and Hearts*¹³¹ », une équipe de chercheurs israéliens travaillent à des pansements vasculaires fonctionnels personnalisés. Dans cet article, l'équipe de Nadav Noor propose une preuve de concept de bio-impression 3D d'un cœur miniature en utilisant la même méthode que celles utilisées pour leur pansement. Pour certains médias (spécialisés), « *First 3D Engineered Vascularized Human Heart Is Bioprinted*¹³² » (le premier cœur vient d'être bio-imprimé en 3D). Pourtant, les auteurs décrivent bien dans leur article qu'il s'agit d'une preuve de concept et expliquent bien la taille miniature de l'objet. Malgré l'ingéniosité de leur méthodologie, consistant à reprogrammer des cellules prélevées sur le patient — en des cellules souches pluripotentes qui seront différenciées par la suite en cellules cardiaques — et à utiliser la matrice extra-cellulaire du patient en guise d'hydrogel, le bio-objet produit n'est pas un cœur. Pourtant, une des légendes d'une des figures de l'article prête à confusion, le bio-objet y est décrit comme un « cœur imprimé avec un bain support »¹³³.

Si l'on applique nos trois questions à cet exemple, nous pouvons exprimer qu'il ne s'agit pas d'un cœur, que ce bio-objet technique ne s'appliquera pas à la remédiation médicale, et qu'il ne servira pas non plus pour de potentiels patients. Ainsi, ce bio-objet reste un mystère du point de vue de ces trois questions et c'est ce qui motive notre enquête. En effet, les questions de conception soulevées par la bio-impression 3D font tout autant appel à l'imaginaire, à l'éthique et au langage ; qu'elles ne font appel au développement technologique. Si le développement technologique bénéficie d'espace et de budget de recherche dédiés, ces développements ne s'accompagnent pas nécessairement d'une partie réflexive. Au sein de cette étude de recherche-création en design, nous souhaitons interroger la bio-impression 3D dans cette dimension réflexive. Nous incarnons notre propo-

129 Nous reprenons cette séparation à la philosophe Donna Haraway. En anglais, elle écrit le terme *response-ability* avec un trait d'union pour bien marquer le sens qu'elle lui donne. HARAWAY, Donna, 2016. *Staying with the Trouble Making Kin in the Chthulucene*. Duke University Press. Durham and London.

130 Didier, DEBAISE et Isabelle, STENGERS, 2016. L'insistance des possibles: pour un pragmatisme spéculatif. *Multitudes*. 2016. N° 65, pp. 82-85.

131 NOOR, Nadav, SHAPIRA, Assaf, EDRI, Reuven, GAL, Idan, WERTHEIM, Lior et DVIR, Tal, 2019. 3D Printing of Personalized Thick and Perfusable Cardiac Patches and Hearts. *Advanced Science*. Vol. 6, n° 11

132 VUKSANAJ, Kathy, 2019. First 3D Engineered Vascularized Human Heart Is Bioprinted. *GEN — Genetic Engineering and Biotechnology News*. [en ligne]. 16 avril 2019. [Consulté le 15 mai 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.genengnews.com/news/first-3d-engineered-vascularized-human-heart-is-bioprinted/>

133 ma traduction, « *printed heart within a support bath* », figure 6 dans Nadav NOOR, Assaf SHAPIRA, Reuven EDRI, Idan GAL, Lior WERTHEIM, Tal DVIR, 3D Printing of Personalized Thick and Perfusable Cardiac Patches and Hearts.

sition de *media design*. Le media design est une pratique du design qui concerne le design d'interaction avec différents media numériques (interfaces numériques, réalité virtuelle, réalité augmentée, etc.).

Après discussion avec le groupe de travail éthique du LAAS-CNRS¹³⁴ et afin de réfléchir aux termes et implications éthiques de cette technologie, nous avons proposé la réalisation d'une sorte de glossaire numérique et contributif. Nous présenterons cette hypothèse de travail en exposant la recherche-création en design contributive et numérique, appelé *Codex*. Le *Codex* développé ici a été pensé pour le domaine de la bio-impression 3D, il s'agit d'un medium de publication numérique et également d'un logiciel. Nous utilisons le terme de medium (singulier de media) et non pas d'« outil » à dessein. En effet, un outil est un « objet fabriqué, utilisé manuellement, doté d'une forme et de propriétés physiques adaptées à un processus de production déterminé et permettant de transformer l'objet de travail selon un but fixé. »¹³⁵ selon la définition qu'en donne le Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. Nous préférons le terme medium car la manière dont nous travaillons ce projet n'a pas de but déterminé par avance. En ce sens, nous pourrions également utiliser l'expression « d'outil non normatif ». En effet, le *Codex* n'a pas pour but de normaliser, c'est-à-dire d'imposer des règles et des normes d'écriture, mais, au contraire, de favoriser un état de conversation et de dialogue ouvert sur les pratiques de la bio-impression 3D. Au-delà de cette différence avec le terme outil, le terme medium convient mieux pour plusieurs raisons. Estelle Doudet et Yves Citton différencient « media » qui implique toute manière de communiquer (pluriel de médium) de « médias » qui fait référence au *mass-médias*. Estelle Doudet et Yves Citton précisent ces terminologies dans l'introduction de l'ouvrage collectif *Écologies de l'attention et archéologie des médias* :

On emploiera donc ici les graphies un medium, des media (avec pour adjectif médial et pour substantif médialité) pour désigner tout ce qui peut être utilisé par les humains pour enregistrer dans le temps, transmettre dans l'espace et, donc aussi nécessairement, traiter — puisqu'il ne saurait y avoir de transmission sans transformation — des données sensibles ou cognitives, des affections, des perceptions, des informations. On réservera les graphies un média, des médias, avec accent aigu et s au pluriel (relayés par médiatique et médiaticité), pour les media de masse, qui diffusent auprès d'un public anonyme des formes et des contenus envoyés de façon majoritairement unidirectionnelle.¹³⁶

Nous faisons plusieurs remarques contextuelles et méthodologiques. Notre projet a pris place au sein du LAAS-CNRS, plus particulièrement au sein des recherches de l'équipe ELiA entre 2018 et 2022, qui a été une période marquée par l'épidémie de Covid-19¹³⁷. Différentes disciplines, telles que, sociologie des sciences, anthropologie des

134 Le groupe de travail éthique du laboratoire LAAS-CNRS est composé de ces différents membres : L. Baudouin (CR), M. Ghallab (DR), P. Lacroix (Ingénieur), G. Landa (DR), F. Mesnilgrete (Ingénieur), Ph. Owezarski (DR), E. Rigot (Doctorante), D. Sidobre (MdC) et C. Vieu (Pr). C'est un groupe ouvert qui peut accueillir de nouveaux membres.

135 Définition CNTRL

136 CITTON, Yves et DOUDET, Estelle (dir.), 2019. *Écologies de l'attention et archéologie des media*. UGA Éditions. p. 19

137 Voir note au début du manuscrit.

sciences, philosophie des sciences et des techniques, *sciences et technologies studies* (STS), droit, histoires des techniques, esthétique, ont fait des études importantes sur des champs pouvant se rattacher aux nanotechnologies, aux technosciences et à la bio-impression 3D. Nous nous sommes appuyés sur les travaux de ces diverses disciplines sans hiérarchie et sans nous revendiquer de ces différentes traditions. Les références choisies ne sont pas réintégrées dans une histoire des idées générales qui permettrait sans doute de mieux mesurer la validité de tel ou tel concept. Nous faisons plutôt des emprunts méthodologiques et de concepts pour travailler l'hypothèse suivante : En quoi un médium dialogique dans sa dimension visuelle et matérielle peut-il inciter des formes de réflexivités dans les études en lien avec la bio-impression 3D ? La proposition de design prend place dans deux contextes qui se recoupent : le groupe de travail éthique du LAAS-CNRS et les recherches de l'équipe ELiA. Le groupe de travail éthique du LAAS-CNRS animé par la chercheuse en mathématiques Lucie Baudouin a en effet commencé un travail¹³⁸ consacré à la bio-impression 3D en collaboration avec le philosophe Xavier Guchet. L'objet de ce travail était de réfléchir aux questions éthiques soulevées par les pratiques scientifiques autour de cette technologie émergente. Laurent Malaquin, chercheur en physique, porteur d'un projet de plateforme de bio-impression 3D¹³⁹ est également présent dans ces réflexions.

138 À la date du 21 juin 2018, les activités concernant l'éthique au laboratoire font référence à une journée de travail s'intitulant « Discussion avec Xavier Guchet pour entamer une réflexion autour du thème du bio-printing. » voir : Ethique au LAAS | Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 28 avril 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.laas.fr/public/fr/ethique-au-laas>

139 Soutenu par le projet ERC Consolidator Grant 2016 « ARTisFACTa : A Bioprinting platform to investigate the role of cell microenvironment through Bio-Artifact models. »

1. Les objets techniques de la bio-impression 3D

La bio-impression 3D comme paradigme d'une science qui fabrique le réel

Certaines recherches dans le domaine des sciences humaines et sociales qui ont été menées sur les pratiques des nanotechnologies peuvent s'appliquer au domaine de la bio-impression 3D en ce que cette dernière prolonge d'une certaine manière le paradigme de fabrication ouvert par les nanotechnologies. En effet, les nanotechnologies ont exploré de nouvelles postures pour la recherche, à partir de la fabrication et de la dimension des choses et non plus seulement à leur observation et à leur étude. Là où les nanotechnologies se définissaient comme le contrôle de la matière, la bio-impression peut être appréhendée comme l'extension de ce contrôle aux trois dimensions de l'espace Euclidien, potentialisant ainsi les techniques « nano » majoritairement associées à de la fabrication planaire (2D). Dans l'ouvrage *Objectivité*¹⁴⁰, Lorraine Daston et Peter Galison exposent quatre siècles d'histoire de l'objectivité, « l'objectivité scientifique a une histoire. L'objectivité n'a pas toujours défini la science. » En en faisant l'histoire, ils permettent de voir comment l'objectivité a été une construction — ce qui implique un possible recul critique. Ils s'appuient pour ce faire sur toute la pratique de fabrication d'images scientifiques (les atlas en sont une forme privilégiée). Au terme de leur examen, ils tirent une histoire de l'objectivité concernant les modes de représentation en trois temps : « la vérité d'après nature » (avant l'objectivité), « l'objectivité mécanique » (qui naît au XIX^e siècle) et « le jugement exercé ». Ces régimes d'objectivité ou « vertus épistémiques » pour parler comme les auteurs, ne s'annulent pas les uns aux autres. Les auteurs expliquent qu'il faut plutôt les voir comme des naissances de nouvelles étoiles « qui modifient la géographie du ciel sans se substituer aux anciennes.¹⁴¹ » Les auteurs nous situent à un carrefour particulier de cette histoire où l'image scientifique n'est plus une représentation, mais une présentation qui s'accompagne d'une activité de fabrication dans les pratiques scientifiques. En effet, Lorraine Daston et Peter Galison écrivent qu'auparavant « le scientifique avait tendance à laisser à d'autres la fabrication d'engins en tant que telle. Si le physicien construisait des instruments, c'était pour révéler quelque chose d'autrement plus important : une galaxie, un supraconducteur, une particule élémentaire. L'ingénieur, de son côté, exigeait des outils plus puissants, efficaces et flexibles¹⁴² ». Ce passage de la représentation à la présentation est marqué par un nouveau régime d'images scientifiques opérant dans le domaine des nanotechnologies. La présentation s'accompagne d'une fabrique dans les pratiques de la science indissociable d'une dimension matérielle et donc de stratégie de design spéci-

140 Lorraine DASTON et Peter GALISON, *Objectivité*.

141 Lorraine DASTON et Peter GALISON, *Objectivité*, p. 27

142 Lorraine DASTON et Peter GALISON, *Objectivité*, p. 474

fique. Lorraine Daston et Peter Galison pensent qu'il est trop tôt¹⁴³ au stade de leur étude pour savoir comment peut évoluer sur la durée cette nouvelle forme de science entre science et ingénierie. Ils se demandent : « L'inquiétude a-t-elle changée d'objet ? Sommes-nous passés de la question de la bonne saisie du réel à celle de la fabrication du bon réel ? » Les pratiques de la bio-impression 3D, impliquent en effet des recherches en fabrication¹⁴⁴ d'objets à la fois biologiques, vivants, artificiels et de natures numériques. Nous verrons que les objets techniques ont différents statuts. Ils peuvent être des modèles permettant de tester différentes hypothèses scientifiques, des dispositifs thérapeutiques ou bien des dispositifs techniques. Il me semble qu'une quatrième catégorie d'objets rentrent « malgré eux » dans le cadre des productions de la bio-impression 3D, ce sont des objets imaginaires dont le caractère fictionnel a pourtant un impact bien réel sur les pratiques de la bio-impression 3D. Cette relation entre l'imaginaire d'un côté, et donc la fiction (les récits, le « *storytelling* ») et la réalité scientifique (les pratiques, les techniques) est inscrite dans l'histoire des sciences. Un exemple particulièrement riche est celui de la convergence NBIC¹⁴⁵ qui décrivait au début des années 2000 la convergence de quatre disciplines : les nanotechnologies, la biotechnologie, l'informatique et les sciences cognitives pour l'amélioration des performances humaines. Ce récit de la convergence a accompagné les fantasmes les plus divers d'une humanité augmentée. Il nous faudra garder en tête ces réflexions sur l'imaginaire et la fabrique dans les pratiques scientifiques pour la suite de notre propos.

Définir la bio-impression 3D

L'impression 3D est une technologie de fabrication additive, qui implique l'empilement et l'adhésion de couches de matières entre elles. Les manières de « solidifier » une matière (dans les techniques de fabrication additive) préalablement visqueuse se font à travers divers procédés qui peuvent impliquer le frittage de poudre, la stéréolithographie (SLA), la fabrication de filaments « fondus » (FFF) ou encore la superposition de couches gélifiées contenant des cellules (LDM). De nombreuses recherches actuelles s'attachent à la reproduction de tissus vivants fonctionnels dans la perspective d'études scientifiques. Des recherches en ingénierie sont menées pour créer ou améliorer les technologies de bio-impression 3D et les bioartefacts qui en découlent. Des topographies 3D sont générées avec précision à partir de biomatériaux chargés de cellules afin de construire des « tissus vivants » ou des « organes artificiels » fonctionnels. La bio-impression est une technologie de fabrication 3D qui a la particularité de mettre en forme des matériaux chargés de cellules afin de concevoir des tissus complexes potentiellement fonctionnels en 3D. Dans son acceptation la plus étendue, la bio-impression 3D concerne les techniques d'impression 3D appliquées à la biologie. On peut distinguer deux utilisations du terme bio-impression 3D. La première utilisation de ce terme est un sens strict, il signifie que l'impression 3D

143 Les premières réflexions de l'écriture de cet ouvrage datent du début des années 2000, la première édition (Urzone Inc.) de 2007 et sa traduction (par Sophie Renaut et Hélène Quiniou) en langue française date de 2012 (Les presses du réel).

144 Cette orientation de la science dans des applications est également marquée par les technosciences que nous avons discutées au chapitre 1.

145 ROCO, Mihail C. et BAINBRIDGE, William Sims, 2003. Overview converging technologies for improving human performance. In : *Converging technologies for improving human performance*. Springer. pp. 1-27.

à partir d'une « encre » biologique contenant des cellules. La seconde utilisation est un sens plus large, signifiant que l'on cherche à produire des artefacts ayant des fonctions biologiques. Dans cette typologie on peut par exemple imprimer un biomatériau à partir d'une encre qui ne contient pas de cellules, puis on ensemence la structure produite avec des cellules d'intérêt. Les tailles d'objets traités par cette technologie vont de 100 µm à quelques millimètres (jusqu'à quelques centimètres dans de rares cas) et les résolutions se font à l'échelle nano ou submicronique. Nous acceptons les deux sens de bio-impression 3D dans la présente étude.

Origines de la bio-impression 3D

Dans le domaine de la bio impression 3D, les premières pratiques technologiques concernent les technologies d'impression numérique à jet d'encre. En remplaçant les cartouches d'encre utilisées habituellement pour l'impression de document (bureautique) par une encre biologique contenant des cellules en suspension, l'addition de microgouttes, en couche par couche, va permettre de fabriquer les premiers biomatériaux multicouches ou les premières architectures cellulaires. Ensuite, d'autres techniques sont apparues telles que la technologie par extrusion qui consiste à utiliser une seringue remplie de cellule et d'un gel permettant son dépôt en colombin, la technologie assistée par laser ou encore les technologies de photo polymérisation. Ces quatre familles constituent aujourd'hui le paysage technologique de la bio-impression 3D. Étant un champ en plein développement, ce qui est intéressant pour nous à observer et ce à quoi nous pouvons prêter attention, ce sont les pratiques et les questions qu'elle implique pour les chercheurs. En effet, la bio impression 3D n'a pas encore un protocole ou un usage fermé, mais est un domaine de la pratique laborantine.

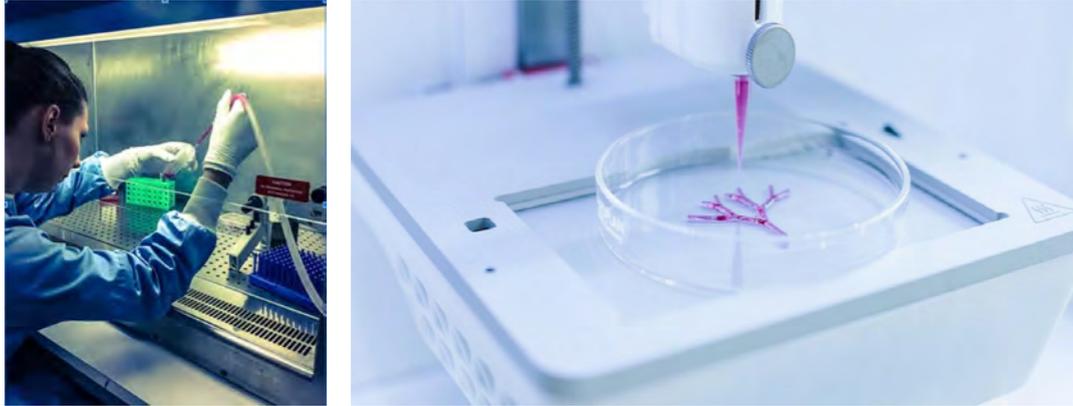
Le lien avec la culture cellulaire

Depuis 1951¹⁴⁶ avec la découverte des lignées cancéreuses permises par l'Afro-Américaine Henrietta Lacks¹⁴⁷, les biologistes ont mis au point des techniques de culture cellulaire pour diverses lignées cellulaires. La problématique actuelle rencontrée par les biologistes est que ces cultures cellulaires se font sur une surface plane et rigide, la boîte de pétri. Cette dernière n'est pas représentative de la géométrie réelle (3D) ainsi que la rigidité mécanique des tissus et organes étudiée par les biologistes. Ainsi la bio-impression 3D permet d'utiliser l'impression 3D pour des visées de culture tissulaire « améliorée ». Avant l'existence de machines de bio-impression 3D, certains scientifiques ont utilisé des techniques consistant à empiler plusieurs couches de cultures tissulaires afin de créer une topographie 3D (les chercheurs utilisent l'expression « 2,5 D » pour qualifier ce genre de volume qui utilise un empilement de quelques couches 2D, pour s'approcher d'un tissu 3D). Un des principaux changements au sein des pratiques scientifiques qu'implique la bio-impression 3D concerne l'utilisation et le maniement d'outils de fabrication assistée par ordinateur — là où la culture cellulaire fait quant à elle appel à un environnement

146 Alexis Carrel, chirurgien français réussit à maintenir en vie des cultures des cellules de cœur de poulet en 1912, mais on sait depuis que ces cellules n'ont pas survécu très longtemps.

147 À ce sujet, écouter le passage de l'épisode n°2 de *Bio Is The New Black*, [en ligne]. [Consulté le 24 mai 2022]. Disponible à l'adresse : <https://cpu.dascritch.net/post/2020/01/23/Standard-%3A-Henrietta-Lacks%2C-HeLa%2C-elle-l-a> extrait de *Danser parmi les fossiles*, « HeLa, Elle l'a » mémoire de fin d'étude à l'ENSCI Les Ateliers, 2017, Marie-Sarah Adenis

de geste à la précision quasi chirurgicale (notamment pour respecter les conditions de non-contamination des milieux de culture). La **figure 9** met en regard ces deux régimes de gestes, dont l'un est soumis à la précision du manipulateur et le second à la bonne pro-



grammation de la machine.

Figure 9 — : A/photographie des gestes de culture cellulaire sous poste de sécurité microbiologique auprès de Marina Le Lamer (2014) et B/bio-impression 3D via Cellink BioX 3 D Bioprinter Crédits image : Cellink

Pour autant, l'ensemble des paramètres régissant les pratiques de bio-impression 3D ne sont pas calculables et interchangeable de manière programmatique. Ce champ en plein essor est en train de se structurer et de maturer ses propres processus de fabrication. Il coexiste ainsi des usages de fabrication assistée par ordinateur et des pratiques. En effet, le caractère biologique des bioartefacts implique une évolution des tissus dans le temps et une logique similaire à la culture cellulaire, à savoir, le renouvellement des cellules et des milieux de cultures, des possibilités de croissance, de migration, de métamorphoses des tissus. Ainsi le temps et le drainage (apport de nutriments et évacuations des déchets) sont les paramètres communs à la bio-impression et à la culture cellulaire. Le caractère biologique, vivant, des objets produits par la bio-impression 3D, que l'on peut qualifier de « bio-objets techniques¹⁴⁸ » amène la création d'un environnement associé. Cet environnement associé peut être une puce microfluidique ou encore un « bio-rédacteur ». Ainsi, la bio-impression 3D ne se définit pas comme technologie, mais comme un réseau de relation entre les bio-objets techniques et leurs milieux associés. Ces bioartefacts ont plusieurs durées de vie : de quelques heures à quelques semaines pour les prototypes et objets d'étude, à quelques années pour les bio-implants. Ces évolutions de la culture cellulaire (traditionnellement monolignée) vers des objets tridimensionnels plus complexes avec des cellules provenant de différentes lignées cellulaires sont favorisées par les recherches concomitantes de microfluidique, qui permet de faire circuler un flux continu au sein d'un micro-environnement pouvant s'incarner dans une puce microfluidique. Ainsi le milieu de culture, habituellement renouvelé périodiquement par les biologistes peut s'opérer et s'automatiser en flux continu au sein de la puce. Ce flux provoquant

148 Holmberg T. et al (2011). Bio-objects and the Bio-objectification Process, *Croat Med J*, 52(6):740-742 ; Metzler I., Webster A. (2011). Bio-objects and their Boundaries : Governing Matter at the Intersection of Society, Politics and Science, *Croat Med J*, 52(5):648-650 dans GUCHET, Xavier, 2017. *Objet versus artefact. Pour une philosophie des techniques orientée-objet. Cahiers COSTECH*. Vol. 1.

des phénomènes biophysiques, tels que le cisaillement mécanique des cellules, permet en outre de s'approcher de conditions plus proches biologiquement de la vascularisation et de faire croître et vivre ces cultures multicellulaires.

Le lien avec les pratiques d'ingénierie tissulaire

La première évolution notable des techniques de culture cellulaire a été celle de l'ingénierie tissulaire, c'est-à-dire l'objectif de faire évoluer des cultures multicellulaires vers des assemblages auto-organisés présentant des structures et/ou des fonctions proches de celles observées dans certains tissus. Nous pouvons prendre ici l'exemple des peaux artificielles, cultivées en laboratoire pour tester un ensemble de drogues. À partir de ces considérations, l'ingénierie tissulaire en tant que domaine de recherche particulier a émergé. C'est un domaine où cellules vivantes et matériaux de supports sont combinés dans le but de fabriquer un tissu fonctionnel pour un organe humain (peau, cerveau, os, etc.) L'ingénierie tissulaire a plusieurs visées. Une première visée concerne l'établissement de modèles humains de tissus permettant de tester l'activité des tissus ou leur réponse à la toxicité de certains médicaments. Dans ce sens, l'argument d'une réduction de l'expérimentation animale dans la recherche médicale et pharmacologique est souvent employé par les chercheurs pour justifier ce champ d'activité. Une seconde visée concerne l'implantation de ces tissus, afin de permettre la régénération de fonctions lésées dans une zone particulière. Ainsi l'ingénierie tissulaire participe d'une forme de médecine régénératrice. Par exemple, les tentatives de régénération des tissus cérébraux, des os, des muscles cardiaques après un traumatisme ou un accident vasculaire cérébral ou de régénération des tissus adipeux bruns pour traiter l'obésité font l'objet de nombreux articles de recherche. On peut considérer ainsi que la bio-impression est une nouvelle pratique pour l'ingénierie tissulaire. Cependant, certains chercheurs estimant que les potentialités de la bio-impression sont bien au-delà de ce qui était imaginé en ingénierie tissulaire, préfèrent définir la bio-impression comme un nouveau champ de recherche per-se, distinct de l'ingénierie tissulaire.

L'écart avec la biologie synthétique

Nous souhaitons faire figurer un encart sur le projet de la bio-impression 3D et celui de la biologie synthétique qui sont métaphysiquement très différents. Cette différence se traduit dans l'acte de fabrication qui existe en relation avec le vivant. Si la biologie synthétique va jusqu'à la création d'entités biologiques nouvelles à travers une vision programmatique du vivant, la bio-impression 3D s'attache quant à elle, à créer des bio-objets pour le vivant par le vivant.

Une technologie interdisciplinaire¹⁴⁹

Nous avons posé rapidement le contexte d'une bio-impression 3D venant de pratiques de biologie (culture cellulaire), d'ingénierie (ingénierie tissulaire, fabrication additive, technique d'imprimerie). Nous reproduisons ici un extrait qui incarne bien la succession de couches de techniques et de savoir-faire différents induits dans les projets de bio-impression 3D. Nous verrons que cette archéologie de techniques est importante à prendre en considération. Dans la citation suivante, extraite d'une demande ERC (*European Research Council*) déposée par Laurent Malaquin, le chercheur présente et explicite son projet «ARTisFACTa : A Bioprinting platform to investigate the role of cell microenvironment through Bio-Artifact models.».

«This project aims at developing a novel bioprinting technology involving microfluidics and integrated optics concepts to control the 3D assembly of both cells and extracellular matrix. This technique will provide, for the first time, a resolution at the single cell level combined with the possibility to tune the biochemical and physical properties of the tissue by a continuous adjustment of the material composition during the printing process. Based on this technological breakthrough, we propose to address fundamental questions related to the influence of the microenvironment heterogeneity by printing 3D culture models, named bioartefacts, that will recapitulate, in a highly predictive and reproducible way, critical aspects of the microenvironment 3D organisation. More particularly, these bioartefacts will provide new standard models to investigate hypothesis related to the impact of the spatial distribution of rigidity, of the 3D morphology and cells distribution on the on tissues function, homeostasis and their subsequent influence on tumorigenesis. This project will focus on two distinctive biological models involving intestinal stem cells and bone marrows mesenchymal stem cells.»

Cet extrait montre bien l'intégration de nouveaux termes spécialisés correspondant à de multiples compétences exigées pour la fabrication et la conception des bio-objets. La bio-impression 3D exige *de facto* une interdisciplinarité pour réussir à se concrétiser. En effet, Laurent Malaquin fait référence à de multiples technologies : microfluidique, optique, assemblage 3D. Il fait également état de différents types de matériaux biologiques : cellules (lignée cancéreuse, primaire, cellules souches), matrice extracellulaire. Il revient également sur des considérations physiques avec résolution souhaitée, des considérations biochimiques, des considérations biophysiques, de rigidité notamment. Ces différents savoir-faire sont convoqués pour adresser des questions de cancérologie afin de formuler des modèles de tumeurs plus pertinents. Ainsi la bio-impression 3D n'est pas un champ unifié, mais agrège un ensemble de pratiques et de savoirs hétérogène (en constante évolution).

¹⁴⁹ Si on regarde les sections CNRS, pour des développements technologiques concernant la bio-impression 3D (un même domaine), différentes sections sont concernées (8, 9, 22, 28, 54 par exemple).

«Archéologie» de la bio-impression 3D

Si on retrace les différentes strates qui s'imbriquent dans la technologie de bio-impression 3D, on voit qu'il y a une imbrication de l'impression jet d'encre, qui elle-même vient des premières pratiques d'imprimerie (presse), de culture cellulaire, d'ingénierie tissulaire et de fabrication additive. L'objet de cette étude n'est pas de faire l'archéologie de cette technologie, mais nous pouvons néanmoins reconnaître ces différentes strates qui rendent compte des multiples activités, pratiques, connaissances et milieux qui gravitent autour de la bio-impression 3D tel que représenté dans le schéma **figure 10**.

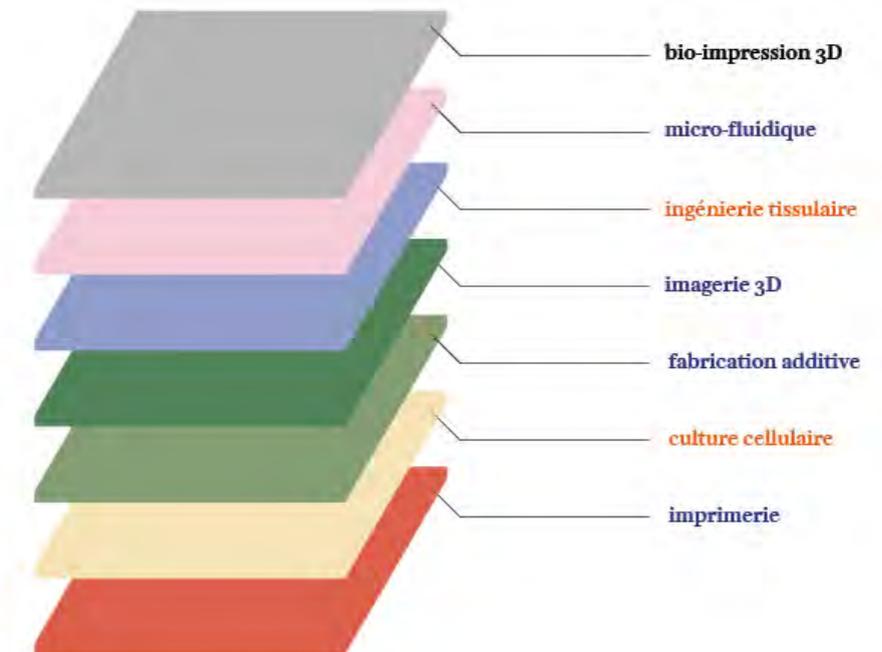


Figure 10 — : Différentes couches techniques impliquées dans la bio-impression 3D. Il faut noter que ces différentes couches sont elles-mêmes épaisses et ont également leur propre archéologie ainsi que l'illustre la figure suivante. En orange les domaines de la biologie, en bleu ceux de l'ingénierie.

Il ne faut pas comprendre ces couches comme nécessairement chronologiques et qui s'additionnent les unes aux autres, mais plutôt comme des couches de pratiques et de savoirs qui vont permettre des croisements, des hybridations dans le but de faire advenir des nouveaux bio-objets techniques. Il faut aussi voir que chacune de ces couches techniques est elle-même constituée d'une histoire technique bien spécifique et d'une épaisseur particulière — nous prenons l'exemple de la fabrication additive **figure 11**. Également, nous pourrions ajouter d'autres couches telles que les opérations de programmation ou bien l'accès à un savoir-faire particulier.

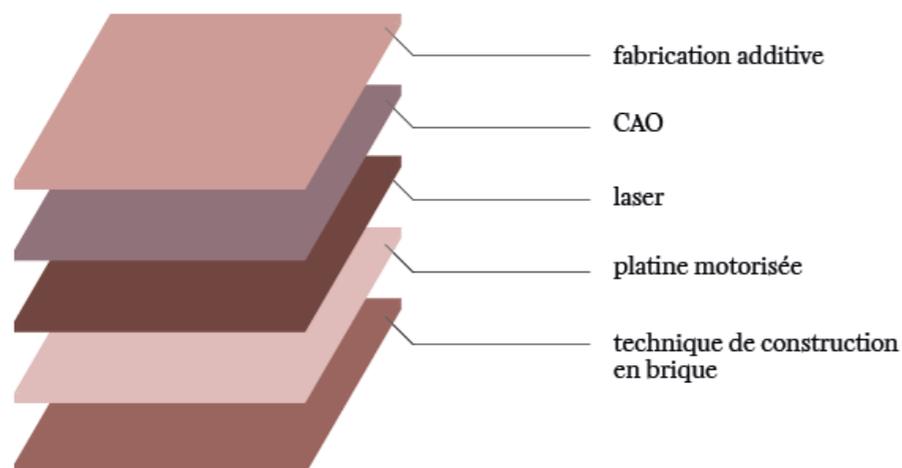


Figure 11 — : illustration (approximative) des couches contenues dans la fabrication additive.

L'image d'un mille-feuille¹⁵⁰ est bien celle qu'il faut garder en mémoire dès lors que l'on s'intéresse à la bio-impression 3D.

Un tournant 3D de la biologie

Pour Laurent Malaquin, physicien et spécialiste de l'impression 3D et de la microfluidique, « ce n'est pas un mot faible que de dire que les technologies d'impression 3D, et de bio-impression, ont été un changement de paradigme en biologie. Il y a vraiment un besoin important en biologie de disposer de modèles d'études 3D.¹⁵¹ » Pour le chercheur en effet, il y a « des biais et des différences de comportement assez flagrantes entre des cellules en 2D sur des surfaces rigides et des cellules dans un corps humain qui est un espace à trois dimensions, mou, plastique (dans le sens "modelable"). » Le chercheur date les débuts de la bio-impression 3D au début des années 2000 « l'utilisation de ces technologies et leur transposition à la biologie, date vraiment du début des années 2000, avec de premières expériences qui étaient faites sur la base des imprimantes jet d'encre, de bureau, dans lesquelles on a chargé des cellules et des matériaux biologiques. ». Les changements permis par le développement de technologies 3D semblent faire consensus dans la communauté scientifique, « avoir un modèle 3D qui représente mieux l'hétérogénéité des tissus et leur architecture est plus pertinent qu'un modèle à deux dimensions. » Le domaine principal d'application de la bio-impression 3D est la médecine et la santé humaine. Le chercheur pense cependant que des questions de pathologies animales et environnementales pourront également être adressées avec une telle technologie.

Ces modèles 3D sont également une forme de réponse aux objets les plus hybrides

¹⁵⁰ Cette mise en visibilité des strates de la bio-impression 3D mériterait d'être poursuivie.

¹⁵¹ J'ai interviewé Laurent Malaquin à plusieurs reprises durant ma thèse, cette interview est la plus récente et date du 11 octobre 2021 voir CODEX - Le tournant 3D de la biologie - Interview de Laurent Malaquin Directeur de la Plate-forme de Bio-Impression du LAAS-CNRS, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 12 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://codex.laas.fr/detailArticle/9/>.

de la technoscience, telle que l'« OncoMouse™ » que Donna Haraway qualifie de « machine-outil dans les ateliers de production de la connaissance »¹⁵². En effet, le développement de bioobjet technique par bio-impression permettrait d'éviter la manipulation animale. Nous pouvons légitimement questionner cette volonté si l'on met en perspective le fait que les différents développements techniques (dans le domaine énergétique par exemple) se superposent plus que ne se remplacent.

Pour Laurent Malaquin, un tournant pour la bio-impression 3D s'opère lorsque les objets produits par la bio-impression 3D ne sont plus seulement des modèles, mais deviennent des implants dans le passage de l'étude médicale à une médecine régénératrice. Dans ce passage à la fonctionnalisation thérapeutique de l'objet technique, les communautés travaillant à la bio impression 3D se sont de plus en plus intéressées au biomimétisme¹⁵³ des formes de ces objets. Ces implants sont également étudiés pour répondre à des questions fondamentales. Par exemple, la reproduction d'un os trabéculaire a permis aux chercheurs de voir comment la microporosité osseuse servait de niche pour les cellules de la moelle épinière. Ainsi, la bio-impression 3D, au-delà d'être une technologie dont on verra qu'elle prend des formes et des techniques de mise en forme très variées, incarne un « tournant 3D » dans les études biologiques où les chercheurs cherchent à se rapprocher le plus finement possible de la réalité physiologique. L'objectif principal des études dont les usages et pratiques font appel à la bio impression 3D est d'améliorer et affiner la pertinence des modèles d'étude en biologie et en médecine. Ainsi, pour tester leurs hypothèses, les chercheurs produisent des objets techniques à la fois artificiels et vivants. Ces objets tentent de répondre à deux applications majeures : la première est opérationnelle, il s'agit de voir en quoi la bio-impression 3D peut être utilisée dans les parcours de soin, pour des greffes d'organes par exemple. La seconde est plus heuristique, et concerne la fabrication de systèmes biologiques à même de répondre à une question biologique précise. Leur facteur de mérite et de pertinence est la représentativité c'est-à-dire leur faculté de se rapprocher le plus possible de toutes les interactions qui ont lieu *in vivo*.

La bio-impression 3D comme exemple de ce tournant 3D en biologie constitue un lieu d'enquête intéressant en ce que des objets imaginaires issus de la bio-impression existent (les organes imprimés en 3D par exemple) mais les réelles possibilités et stratégies de design à opérer avec la bio-impression 3D restent toujours à découvrir. En outre, les questions qu'elle pose ont des applications bien plus larges et concerne une manière de penser la biologie avec ces conditions d'expériences nouvelles, qui, nous en faisons l'hypothèse, ne substitue pas les anciennes pratiques, mais viennent s'ajouter aux pratiques déjà existantes.

¹⁵² dans son texte « La race : donneurs universels dans une culture vampirique. Tout est dans la famille : Les catégories biologiques de filiation dans les Etats-Unis du XX^e siècle » HARAWAY, Donna, ALLARD, Laurence, GARDEY, Delphine et MAGNAN, Nathalie, 2007. *Manifeste cyborg et autres essais: sciences, fictions, féminismes*. Exils. Paris. p. 278

¹⁵³ Le terme biomimétisme vient de *mimésis* qui signifie imiter et *bios* qui signifie la vie. Il existe plusieurs écueils sur le fonctionnalisme du vivant induit dans la vision la plus partagée du biomimétisme, qui est celle de Janine Benyus (BENYUS, Janine M., 2016. *Biomimétisme: Quand la nature inspire des innovations durables*. Rue de l'échiquier.) Il y a en effet un sous-entendu naturaliste, qui consiste à penser que « la nature est bien faite » ou que les formes naturelles parce qu'elles sont issues de millions d'années d'évolution seraient plus « optimales ». Je pense qu'il est totalement erroné de penser que ces formes soient optimales dans une approche d'ingénierie qui exige une adéquation avec des modes de production qui n'ont rien à voir avec des processus biologiques, quand bien même ces derniers utilisent des cellules vivantes dans leur matériau.

Les différentes approches de bio-impression 3D

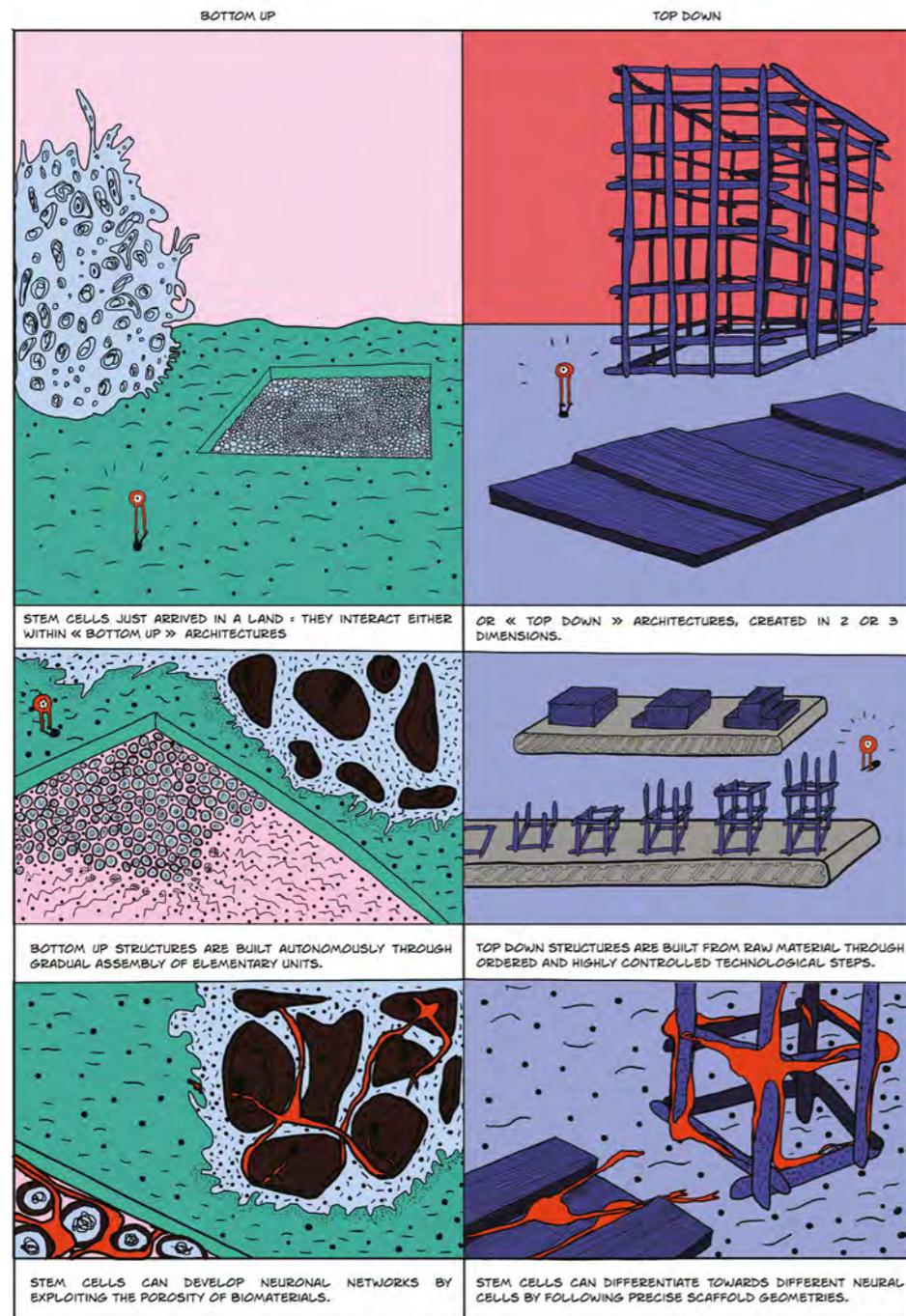


Figure 12 — : Illustration initialement proposée¹⁵⁴ pour l'article «Interfacing cells with microengineered scaffolds for neural tissue reconstruction» publié au journal Brain Research Bulletin (vol. 152) par Angelo Accardo, Carla Cirillo, Sarah Lionnet, Christophe Vieu et Isabelle Loubinoux, en 2019, p. 202 — 211

154 Finalement cette illustration n'a pas été unanimement appréciée par les auteurs de l'article en raison de son caractère narratif, interprétatif et métaphorique, qu'ils n'ont pas jugé conforme avec le format d'une publication scientifique.

Afin de fabriquer les bioobjets 3D, deux approches majeures coexistent. Je m'appuie ici sur une review « *Interfacing cells with microengineered scaffolds for neural tissue reconstruction* » écrite au sein de l'équipe au début de notre thèse¹⁵⁵ (fig. 12) et publiée dans le journal *Brain Research Bulletin*. On peut voir ici les premiers croquis de recherche figure 13.

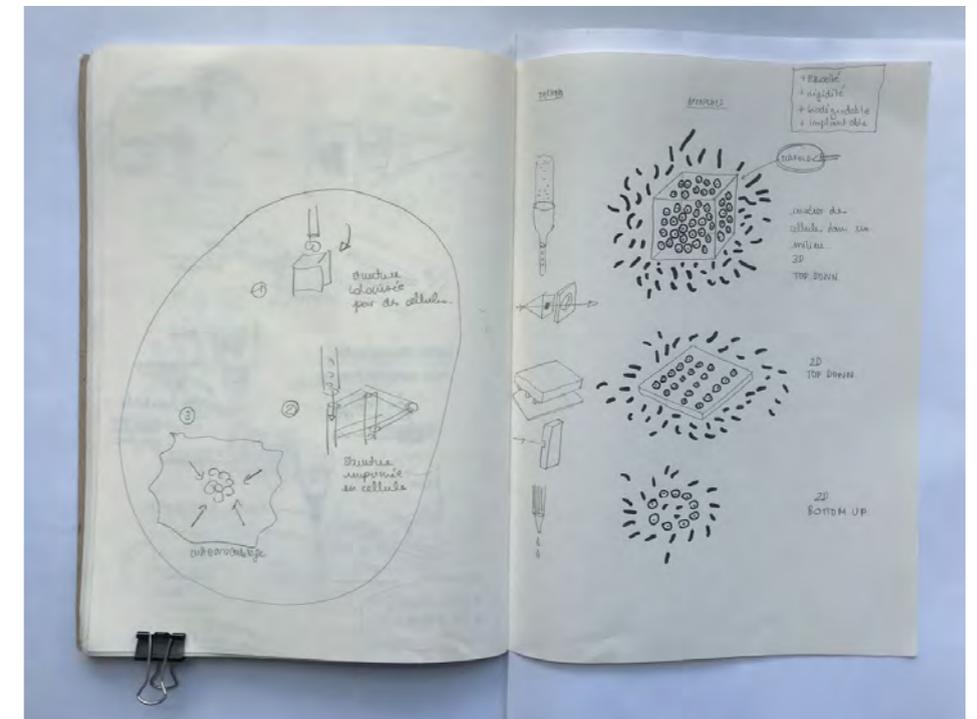


Figure 13 — : Croquis de recherche pour la review «Interfacing cells with microengineered scaffolds for neural tissue reconstruction» publié au journal Brain Research Bulletin (vol. 152) par Angelo Accardo, Carla Cirillo, Sarah Lionnet, Christophe Vieu et Isabelle Loubinoux, en 2019, p. 202 — 211

L'approche top-Down

L'une est dite « *top down* » (fig. 14) en raison de son principe de design qui consiste à fabriquer une structure 3D appelée en anglais (il n'existe pas de traduction française) *scaffold* (que l'on pourrait traduire littéralement par « échafaudage ») et à ensemercer des cellules d'un certain type sur la structure, qui peut être immergée dans une matrice extracellulaire ou encore dans un liquide de croissance nutritionnel. Dans cette approche, les chercheurs observent la réponse (le comportement et l'interaction) des cellules avec l'artefact produit en laboratoire (qu'on peut qualifier ici de milieu associé) et en déduisent des informations corroborant (ou pas) certaines de leurs hypothèses. Dans cette démarche, c'est la structure (le *scaffold*) qui prime, celui-ci est façonné dans la matière, par exemple par impression 3D. Les cellules ensemençées a posteriori doivent se « conformer » au *scaf-*

155 Nous avons travaillé à une série d'illustration afin d'illustrer cette review en incarnant d'un côté l'aspect *Bottom up* et de l'autre l'aspect *Top down* en travaillant sur une personification des cellules neuronales. ACCARDO, Angelo, CIRILLO, Carla, LIONNET, Sarah, VIEU, Christophe et LOUBINOUX, Isabelle, 2019. Interfacing cells with microengineered scaffolds for neural tissue reconstruction. *Brain research bulletin*. 2019. Vol. 152, pp. 202-211. Certains co-auteurs du papier ont jugé que l'illustration ne correspondait pas à leurs attentes en termes d'objectivité et ont n'ont pas souhaité faire apparaître la figure. Une discussion impliquait la soumission à une couverture qui n'a pas été poursuivie par la suite.

fold. La démarche d'ingénierie consiste ici à fabriquer un *scaffold* représentatif des interactions cellules-*scaffold* pour l'application visée ou la question posée.

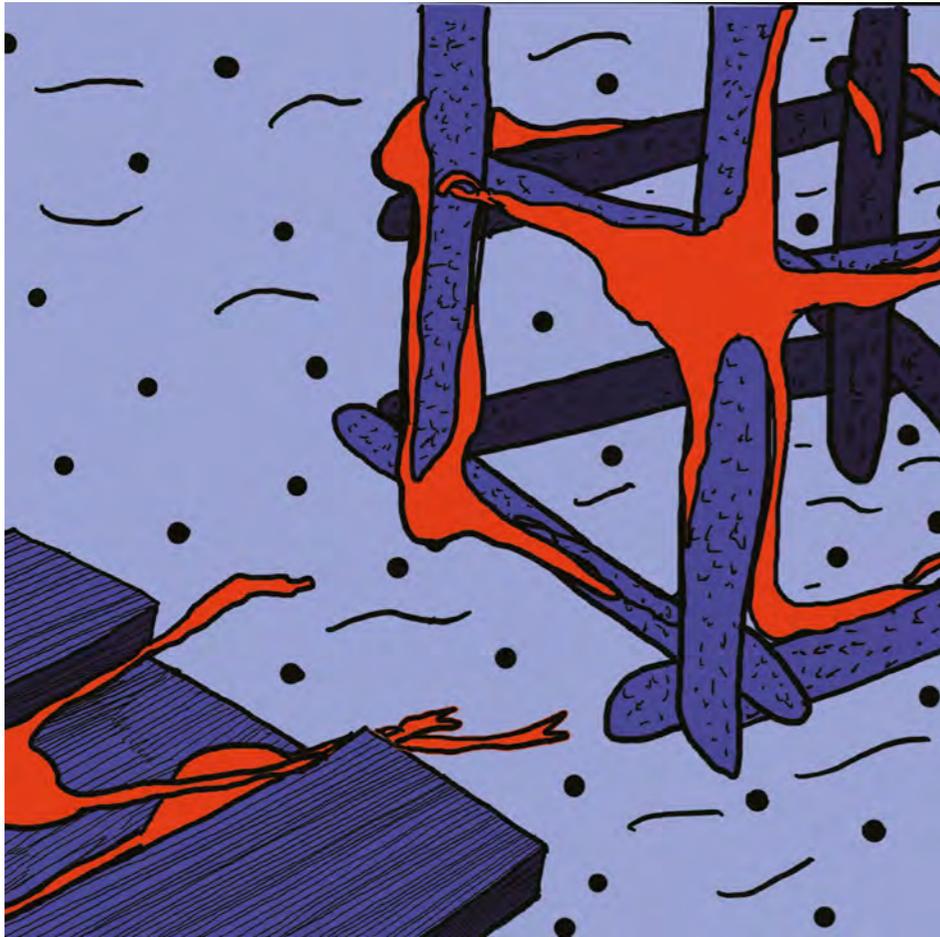


Figure 14 — : Illustration d'une approche bottom-up pour implant neuronal issu d'un travail de graphisme pour la review «Interfacing cells with microengineered scaffolds for neural tissue reconstruction» publié au journal *Brain Research Bulletin* (vol. 152) par Angelo Accardo, Carla Cirillo, Sarah Lionnet, Christophe Vieu et Isabelle Loubinoux, en 2019, p. 202 — 211

L'approche bottom-up

L'autre technique est qualifiée de «bottom up» (fig. 15). Dans cette disposition, il n'y a pas d'artefact produit sur lequel on vient ensemencer des cellules, on cherche plutôt à reconstruire un volume 3D par des procédés biologiques, par exemple via l'agrégation de cellules, ou de sphéroïdes. Dans cette approche, ce sont les cellules qui vont donner la forme à la structure finale. Les cellules ou les agrégats cellulaires, par leurs interactions, vont conduire à une architecture 3D. La démarche d'ingénierie consiste ici à sélectionner les meilleurs précurseurs possibles : cellules, agrégats cellulaires, et le meilleur environnement — biomatériau — pour l'application visée. Cette approche est très semblable à l'approche traditionnelle du *tissue engineering* (ou ingénierie cellulaire).

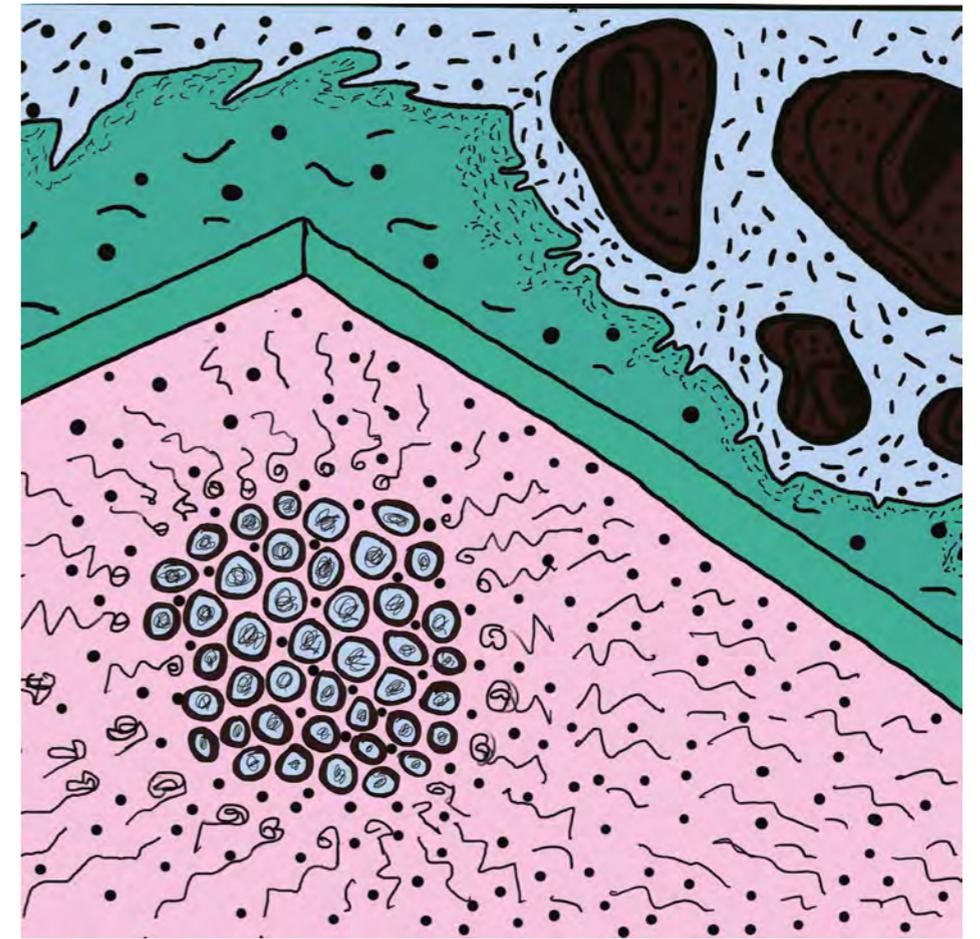


Figure 15 — : Illustration d'une colonisation de scaffold pour implant neuronal issu d'un travail de graphisme pour la review Angelo Accardo, Carla Cirillo, Sarah Lionnet, Christophe Vieu et Isabelle Loubinoux, «Interfacing cells with microengineered scaffolds for neural tissue reconstruction», *Brain Research Bulletin*, vol. 152, 2019, p. 202 — 211

Hylémorphisme et bio-impression 3D

Dans l'approche *top down* décrite plus haut, la forme et le matériau sont pensés séparément. Une lecture du philosophe Gilbert Simondon nous amène à qualifier cette approche d'hylémorphique. Ce concept, issu de la philosophie aristotélicienne, explique la genèse par l'addition d'une forme (*morphè*) avec une matière (*hylè*). Or, pour Simondon, dans la genèse, matière et forme préexistent, ce que le philosophe explique par l'exemple du moulage de la brique. Il n'y a pas d'un côté la forme et de l'autre la matière. La matière est toujours informée et l'argile de la brique a déjà une certaine forme, tout comme le moule de la brique a une certaine matière. Dans cet extrait d'un glossaire¹⁵⁶ consacré à l'œuvre de Simondon, il est écrit à l'entrée hylémorphisme :

«Le paradigme conscient d'Aristote est en effet la prise de forme technique, dont le moulage de la brique est l'exemple classique. Or cette

¹⁵⁶ BARTHÉLÉMY, Jean-Hugues, 2015. « Glossaire Simondon : les 50 grandes entrées dans l'œuvre », *Appareil*. N° 16.

prise de forme ne se réduit pas à l'union d'une matière et d'une forme : d'abord la matière introduite dans le moule est déjà préparée ou "pré-formée"; ensuite et réciproquement la forme du moule est déjà matérialisée; enfin, la prise de forme sera rendue possible par des conditions énergétiques spécifiques qui relèvent d'une métastabilité¹⁵⁷. »

En sorte, on peut dire que la matière est déjà informée et la forme déjà matérielle. Cette critique du dualisme entre la forme d'une part et la matière d'autre part nous est utile pour analyser la technologie de bio-impression 3D. En effet, dans l'approche *top down*, il y a selon nous une certaine naïveté à penser la forme 3D d'un bio-objet en dehors de la matérialité biologique et la manière propre qu'un biomatériau ou un matériau biosourcé. De plus, cette matérialité étant vivante, les interactions entre les cellules et la dimension temporelle jouent un rôle important. Ici, il serait faux d'affirmer que les chercheurs-ingénieurs du vivant ne pensent pas cette contrainte de conception. La preuve en est de multiples études¹⁵⁸ que le tournant 3D de la biologie leur permet de tester en milieu contrôlé. Nous pouvons également nuancer notre propos en disant que l'objectif de cette approche est précisément de voir comment les cellules se comportent ou « répondent » à cette architecture externe. L'hylémorphisme existe cependant dans la manière de créer les structures en trois dimensions où les artefacts de la technologie couche par couche sont rarement pris en considération comme paramètre de conception. L'attention des scientifiques se situe plutôt dans la maîtrise de la chimie de surface, la topographie à l'échelle micro et nanométrique, et la reproduction de la forme en 3D. Il semble donc important de ne pas séparer forme et matière dans les stratégies de conception en bio-impression 3D. Dans ce cas, cette « information » matérielle est d'autant plus importante que le matériau n'est pas inerte, mais contient des cellules qui peuvent proliférer, se diviser, se différencier, coloniser, vasculariser, etc.

Nous souhaitons illustrer l'héritage d'une pensée hylémorphique dans les pratiques de la bio-impression 3D à partir de deux exemples issus de l'approche *top-down* pour la biologie. Les deux exemples ne sont pas issus de la bio-impression 3D au sens strict, utilisant un matériau chargé de cellules vivantes. Il s'agit dans les deux cas, de structures qui servent de support pour la croissance neuronale pour l'un, et à l'étude de la migration des macrophages pour l'autre. Nous interrogeons à travers ces exemples le paradigme de fabrication dans lequel s'inscrivent ces études où la dimension matérielle permet de tester des hypothèses pour répondre à des questions de biologie et de biophysique.

157 Jean-Hugues BARTHÉLÉMY, « Glossaire Simondon : les 50 grandes entrées dans l'œuvre », *Appareil*.

158 Nous n'avons pas les connaissances nécessaires pour en faire la bibliographie, mais nous pensons ici à des études où le milieu 3D proposé par les chercheurs permet d'étudier des nouvelles interactions entre des cellules ou tissus. Nous pouvons citer à titre d'exemple une étude de l'équipe : CREFF, Justine, COURSON, Rémi, MANGEAT, Thomas, FONCY, Julie, SOULEILLE, Sandrine, THIBAUT, Christophe, BESSON, Arnaud et MALAQUIN, Laurent, 2019. Fabrication of 3D scaffolds reproducing intestinal epithelium topography by high-resolution 3D stereolithography. *Biomaterials*. 2019. Vol. 221

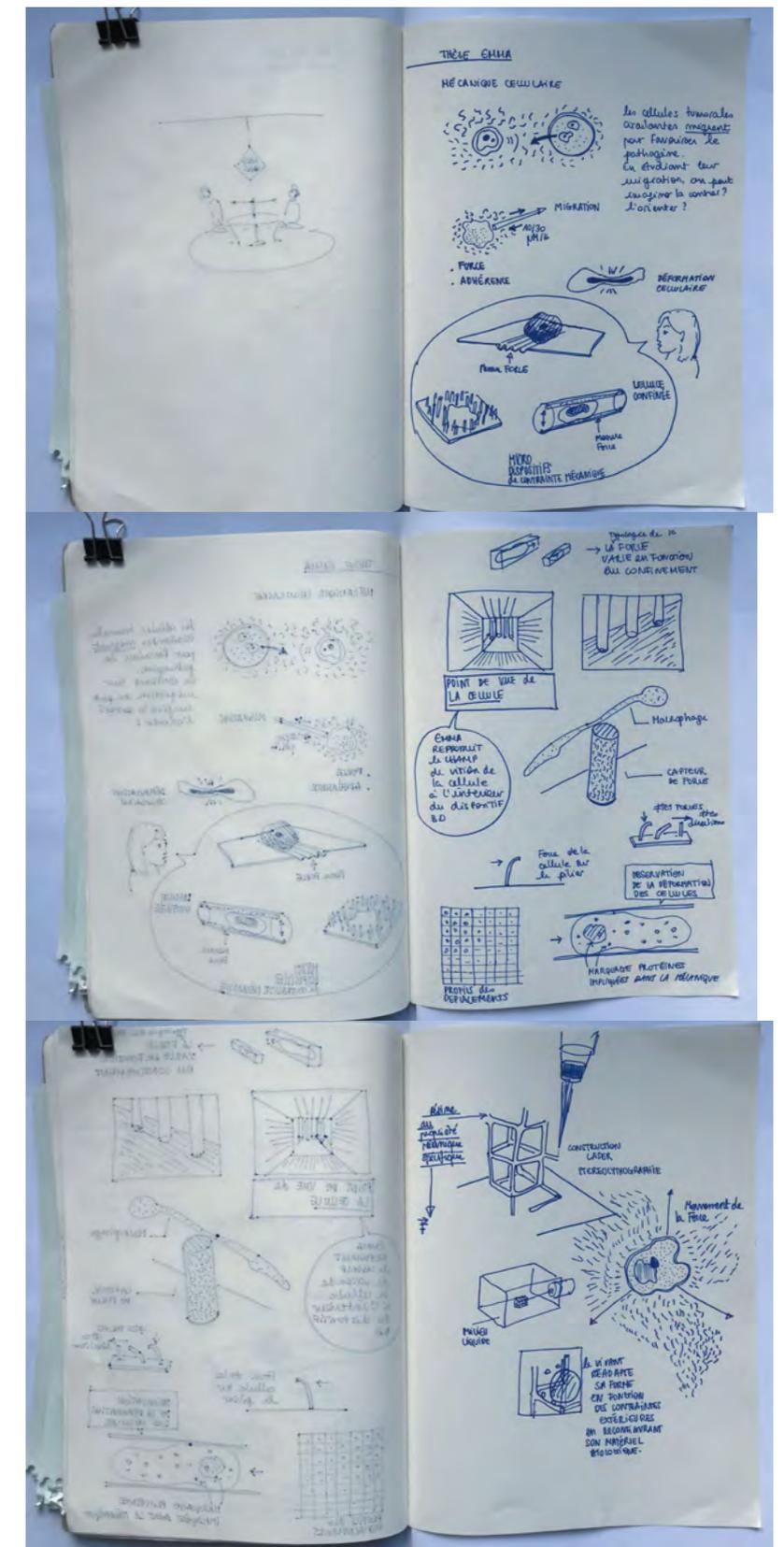


Figure 16 — : série de trois photographies des notes dessinées lors de la soutenance de thèse de DESVIGNES, Emma, 2018. Dispositifs fluidiques 3D pour l'étude de la migration cellulaire des macrophages. Thèse de doctorat. Toulouse, INSA.

La **figure 16** est une prise de note dessinée lors de la soutenance de thèse de Emma Desvignes « Dispositifs fluidiques 3D pour l'étude de la migration cellulaire des macrophages ». Dans cette dernière, la chercheuse dont la question était la suivante : « Comment migrent les macrophages ? ». Elle a proposé d'observer le phénomène de migration directement via un dispositif 3D particulier permettant de mesurer la pression mécanique que peut exercer le macrophage sur la structure qui lui sert de support à la migration.

La **figure 17** montre une structure imprimée au nanoscribe¹⁵⁹ colonisée par des macrophages. On voit des irrégularités sur la structure par rapport au modèle 3D qui était parfaitement orthogonal. L'image a été retravaillée par traitement graphique afin d'accentuer le contraste entre la structure imprimée en 3D et les cellules et leurs formes organiques (en vert).

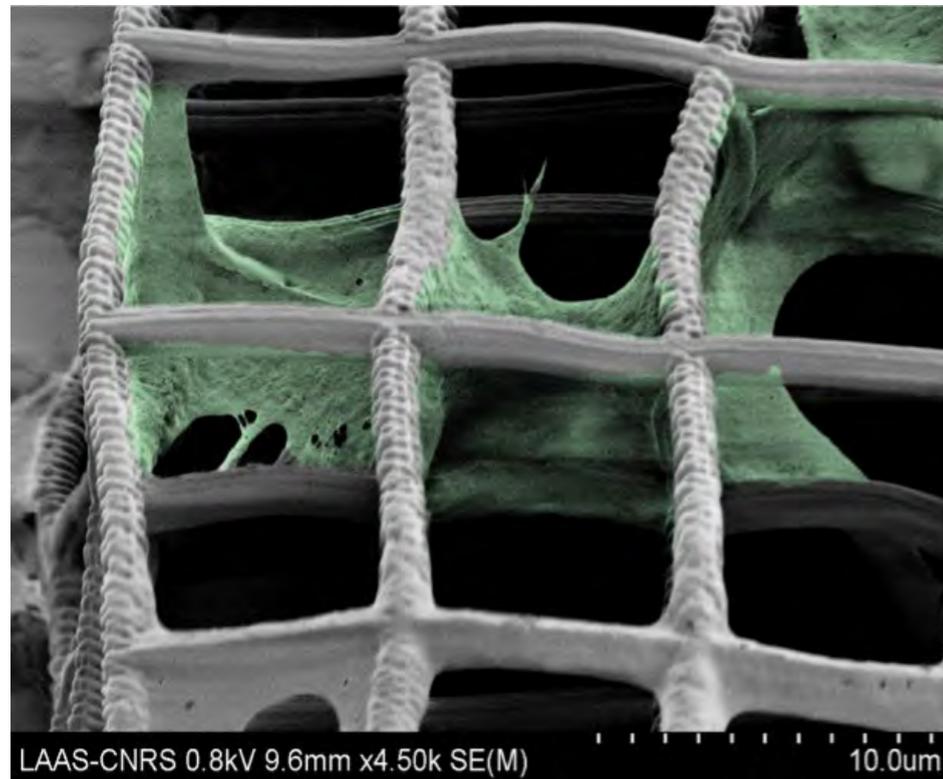


Figure 17 — : Imagerie d'une structure imprimée par nanoscribe colonisée par des macrophages obtenus par microscope électronique à balayage (l'écart entre chaque structure est d'environ 10 microns), les macrophages se trouvent entre les structures dont on peut percevoir des irrégularités par rapport au modèle 3D parfaitement orthogonal, LAAS-CNRS, 2018

159 Technique spécifique, utilisant deux faisceaux lumineux pour imprimer dans un espace 3D des voxels d'une dimension ellipsoïdale de 200*200*100 nm.

Nous voyons sur ces images que l'orientation du sens du balayage du faisceau laser par rapport à l'axe des poutres cylindriques influe sur la géométrie finale de l'objet. Si le faisceau laser est balayé parallèlement à l'axe de certaines poutres du réseau, il y a apparition d'une rugosité à la surface des poutres qui ont leur axe perpendiculaire à cette direction. Cette particularité illustre bien que la question biologique adressée doit se plier aux particularismes de la méthode de fabrication 3D sélectionnée rendant de fait inopérant toute séparation idéaliste entre la forme et la matière. Ceci est d'autant plus complexe à prendre en compte quand il y a plusieurs matériaux.

Dans un second exemple (**figure 18**), afin de concevoir un disque permettant la culture neuronale en vue de la création d'un implant neuronal régénératif, un chercheur de mon équipe, travaillait sur de petits disques. Observant des artefacts de fabrication 3D due à la technique de fabrication additive de stéréolithographie, le chercheur s'était demandé si ces artefacts dus à l'incrémentation couche par couche de l'impression 3D ne pourraient pas servir de guide pour les neurones et ainsi utiliser le sens d'impression comme une contrainte pour le design de ces dispositifs. À nouveau dans cet exemple, le sens d'impression est un paramètre important à prendre en considération dans la technologie d'impression 3D, car ce sens crée de fines couches qui peuvent à ces échelles être de véritables artefacts 3D.

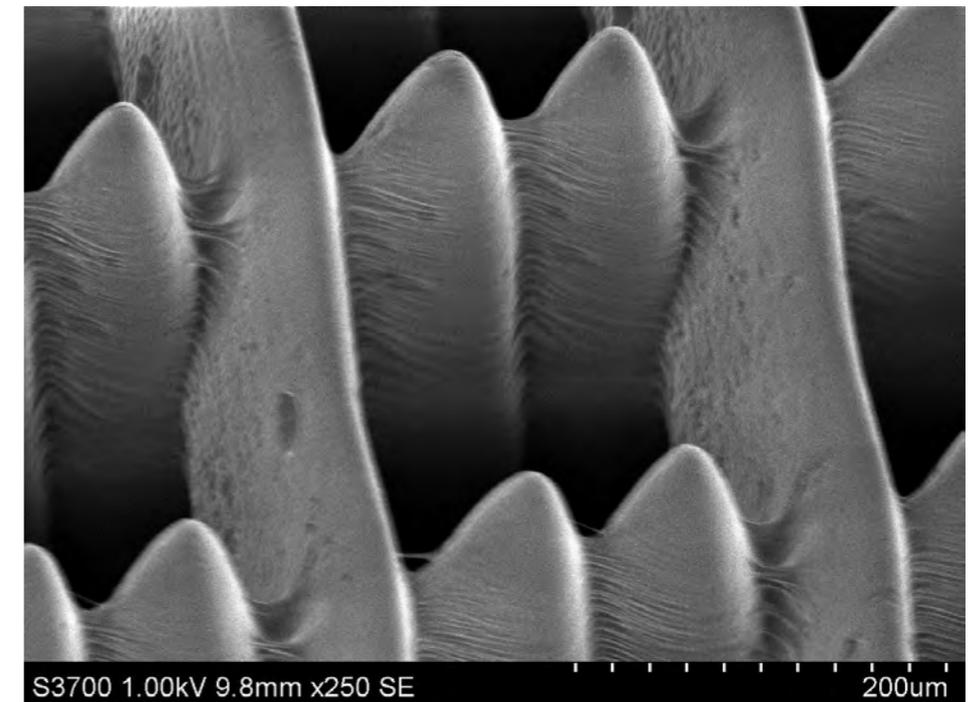


Figure 18 — : Détail d'une structure pour étude de guides neuronaux imprimée avec la Dilaze par Benjamin Pardo

Il y a un donc écart entre le fichier 3D et la matérialisation à travers une impression 3D. Cet écart est observé lors de la phase de caractérisation, qui consiste à imager l'artefact au microscope et à percevoir la fidélité réelle de l'objet créé par rapport à l'objet conçu (intellectuellement et en 3D par ordinateur).

Vers une conception de la bio-impression 3D comme « technologie symbiotique »

Dans un compte rendu de réunion¹⁶⁰, un chercheur parle de « technologie symbiotique » et d'une potentielle relation entre l'objet technique et son hôte. Ainsi il disait « dans cette idée d'un partenariat entre les deux entités : le bio-artefact et l'organisme vivant réceptacle, on essaye de tirer le meilleur de chaque protagoniste. J'aime alors employer le terme de technologies symbiotiques. Le terme de symbiose ne doit pas être compris au sens de sa définition biologique puisque l'une des deux entités impliquées est artificielle. Il s'agit plutôt d'un oxymore visant à bien faire prendre conscience de l'hybridation fine entre la technologie et le vivant. » Pour ce chercheur, c'est cette relation qui doit faire l'objet d'un questionnement de la part des médecins et technologues. En sorte qu'il s'agirait pour les ingénieurs du vivant de mettre à disposition du vivant un matériau qu'il puisse faire sien. Nous écrivons dans l'article « *Engineering Biomaterials for Regenerative Medicine: A time issue* » une conception allant dans le sens de cette « technologie symbiotique » :

« Il est donc crucial d'envisager ce projet d'ingénierie non pas comme l'invention d'un instrument précis (mais hors de portée) capable d'imprimer une réplique fidèle du tissu physiologique, mais comme la création d'un bioartefact initial capable de fournir des incitations à la génération dirigée d'une architecture fonctionnelle homéostatique dans des cellules modifiées¹⁶¹. »

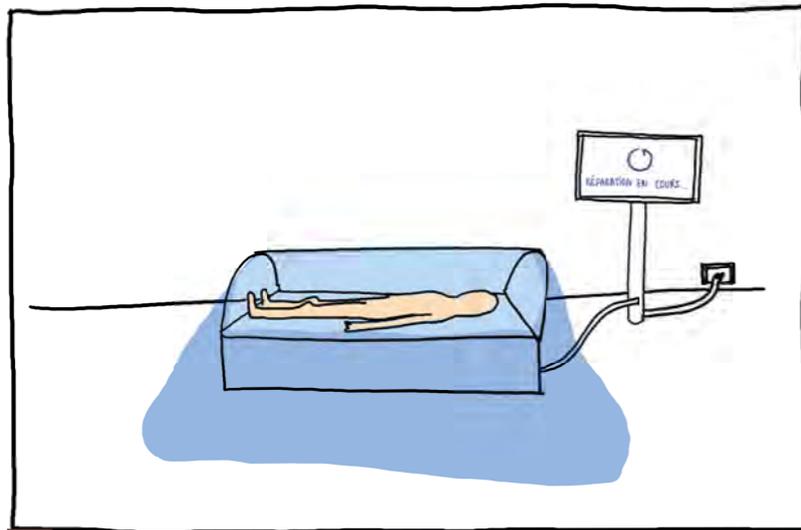
La compréhension de l'impression 3D en terme relationnel fait que l'ingénieur ne conçoit plus le bio-objet 3D comme une addition de différentes couches, mais comme un bio-objet et son milieu associé au sens de Simondon. Ces différentes approches nous montrent la nécessité d'une étude de l'objet technique (ici bio-objet) dans son contexte d'étude et en prenant en compte son milieu associé.

Cahier d'images

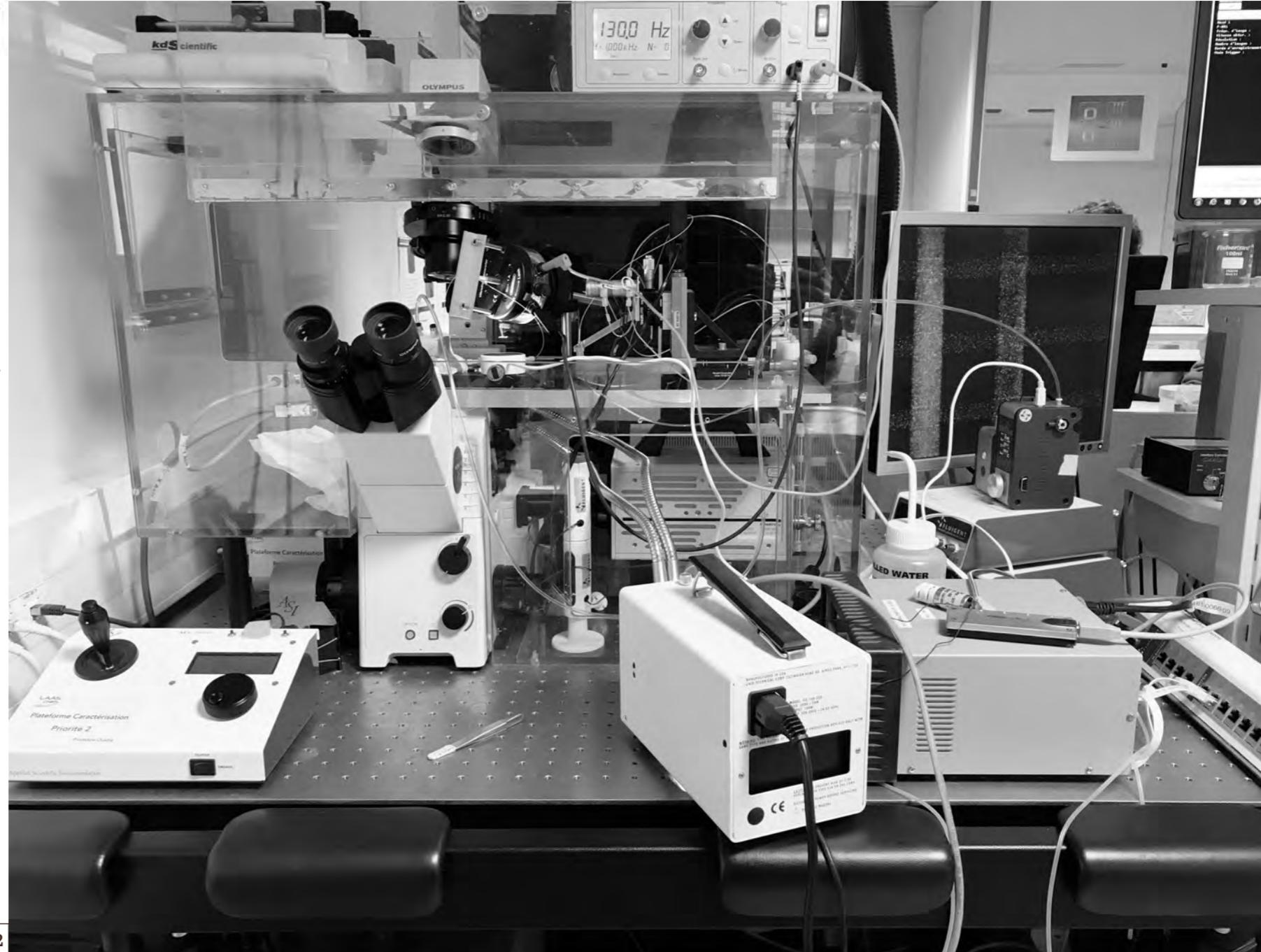
Ce cahier d'image revient sur l'enquête de terrain sur les pratiques de bio-impression 3D, utilisant la cartographie dessinée, le croquis, la facilitation graphique et des travaux d'illustrations réalisés dans le cadre de conférence. Le dessin me sert ici comme outil de médiation et comme introduction auprès des objets de l'étude.

160 La réunion s'est déroulée de 6 mars 2019 et portait sur les termes de la bio-impression 3D.

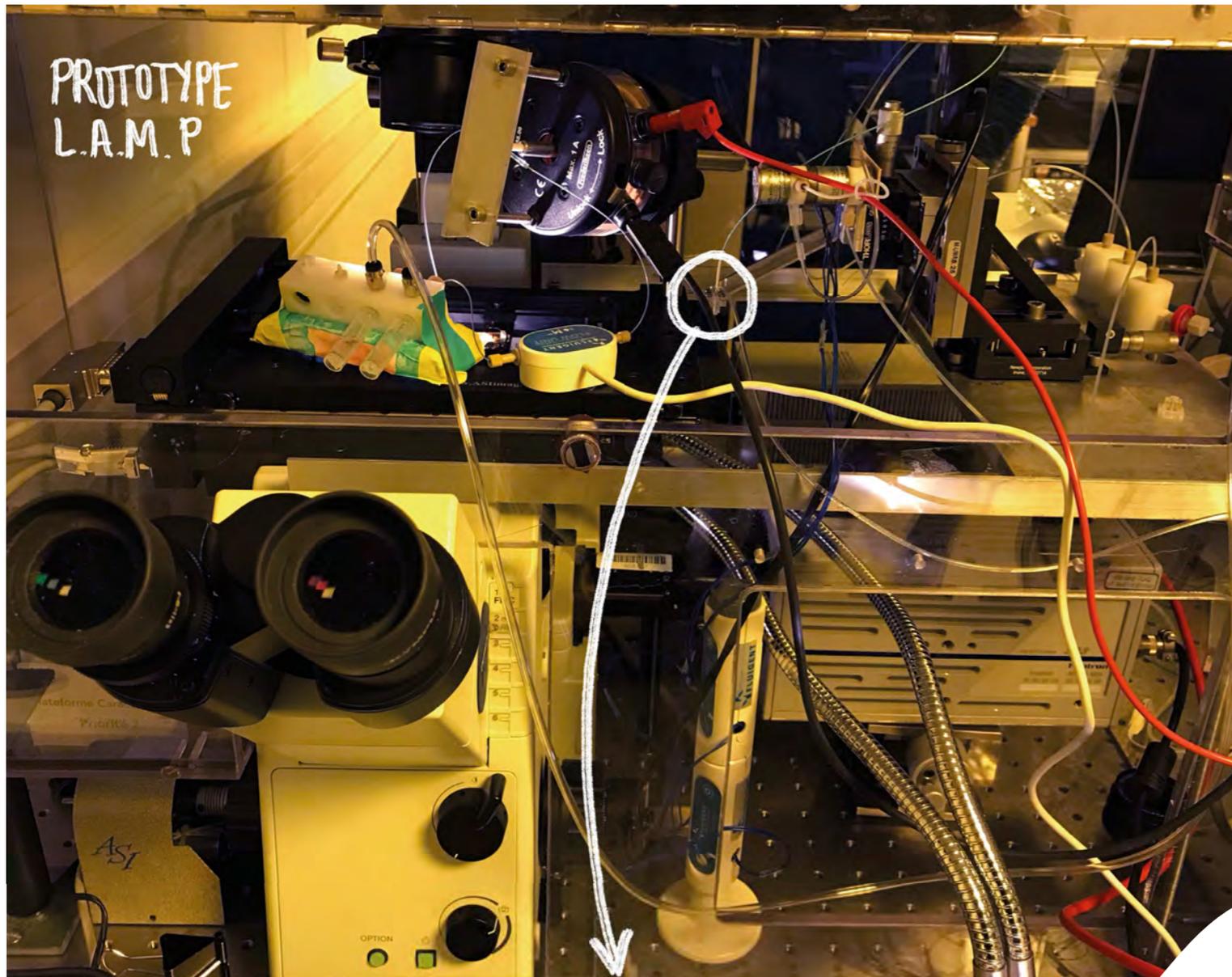
161 Ma traduction « It is therefore crucial to envision this engineering project not as inventing a precise (yet out of reach) instrument capable of printing a faithful replica of the physiological tissue, but as creating an initial bioartefact capable of providing incentives for the directed generation of homeostatic functional architecture in engineered cells. » *Engineering Materials for Regenerative Medicine: A time issue*, [sans date]. *Materials and Time*. [en ligne]. [Consulté le 2 mai 2022]. Disponible à l'adresse: <https://materials.hypotheses.org/engineering-materials-for-regenerative-medicine-a-time-issue>



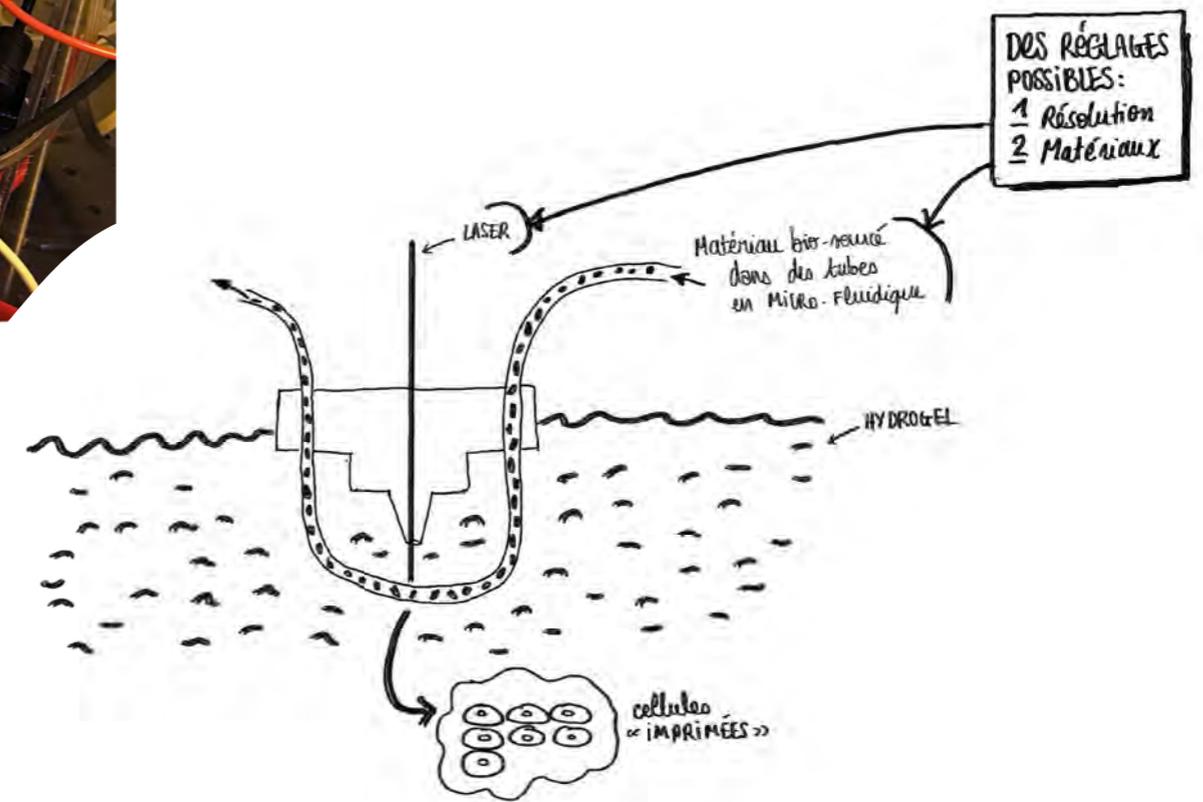
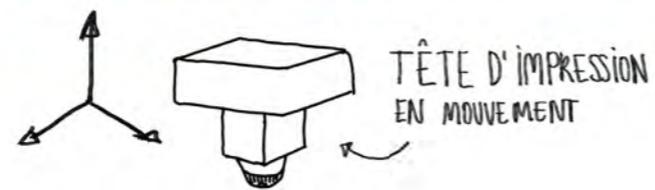
01



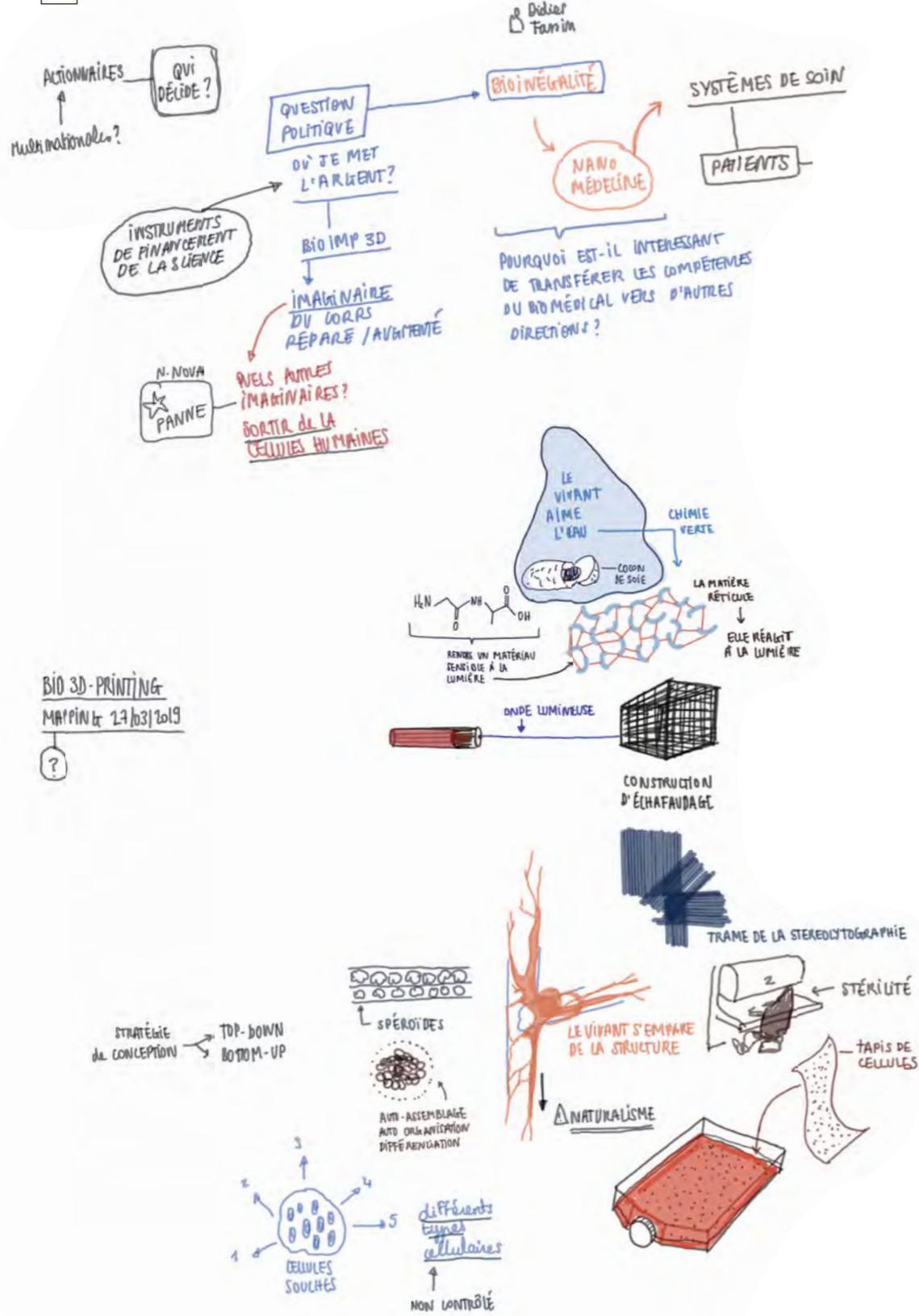
02



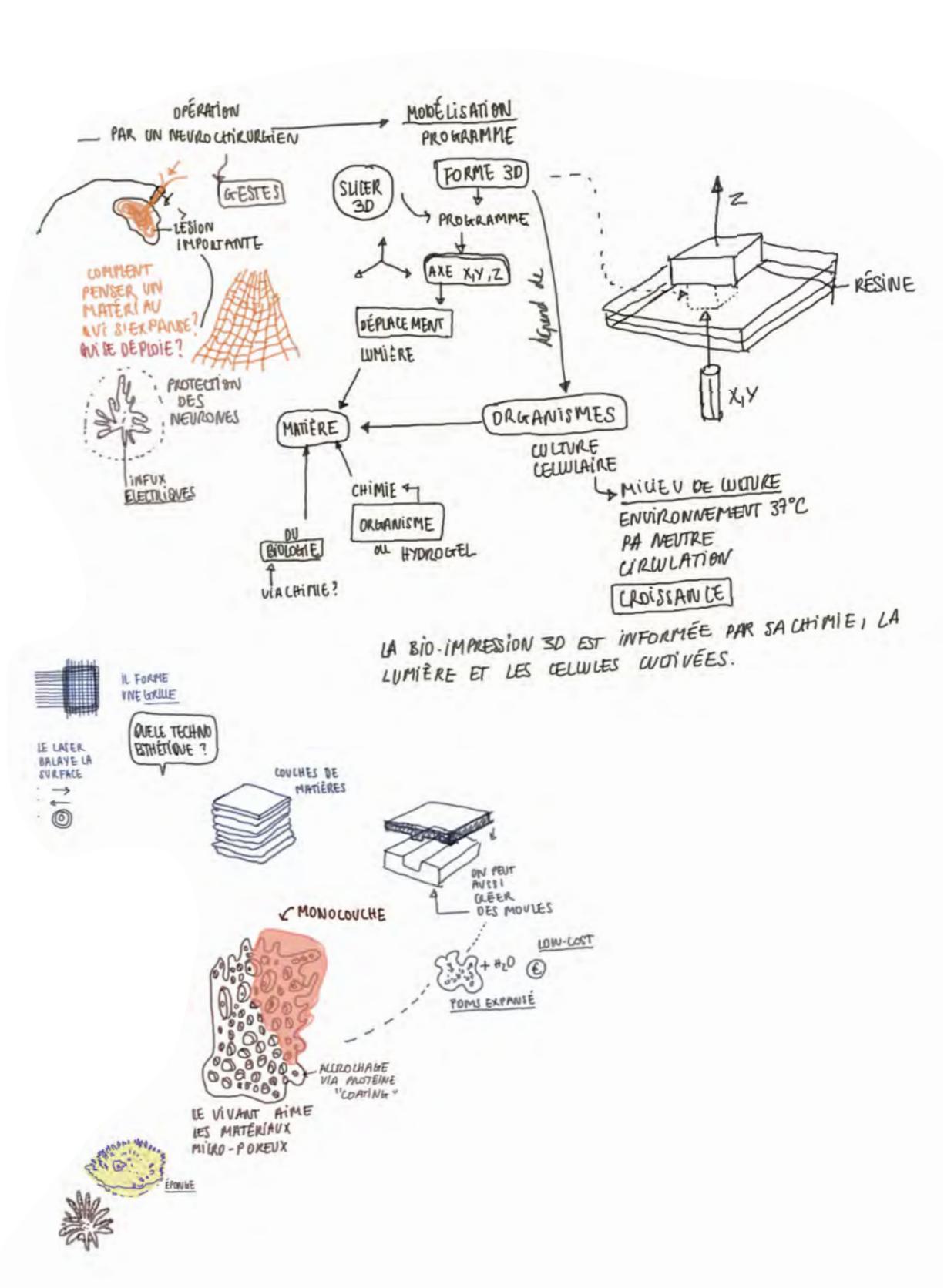
03

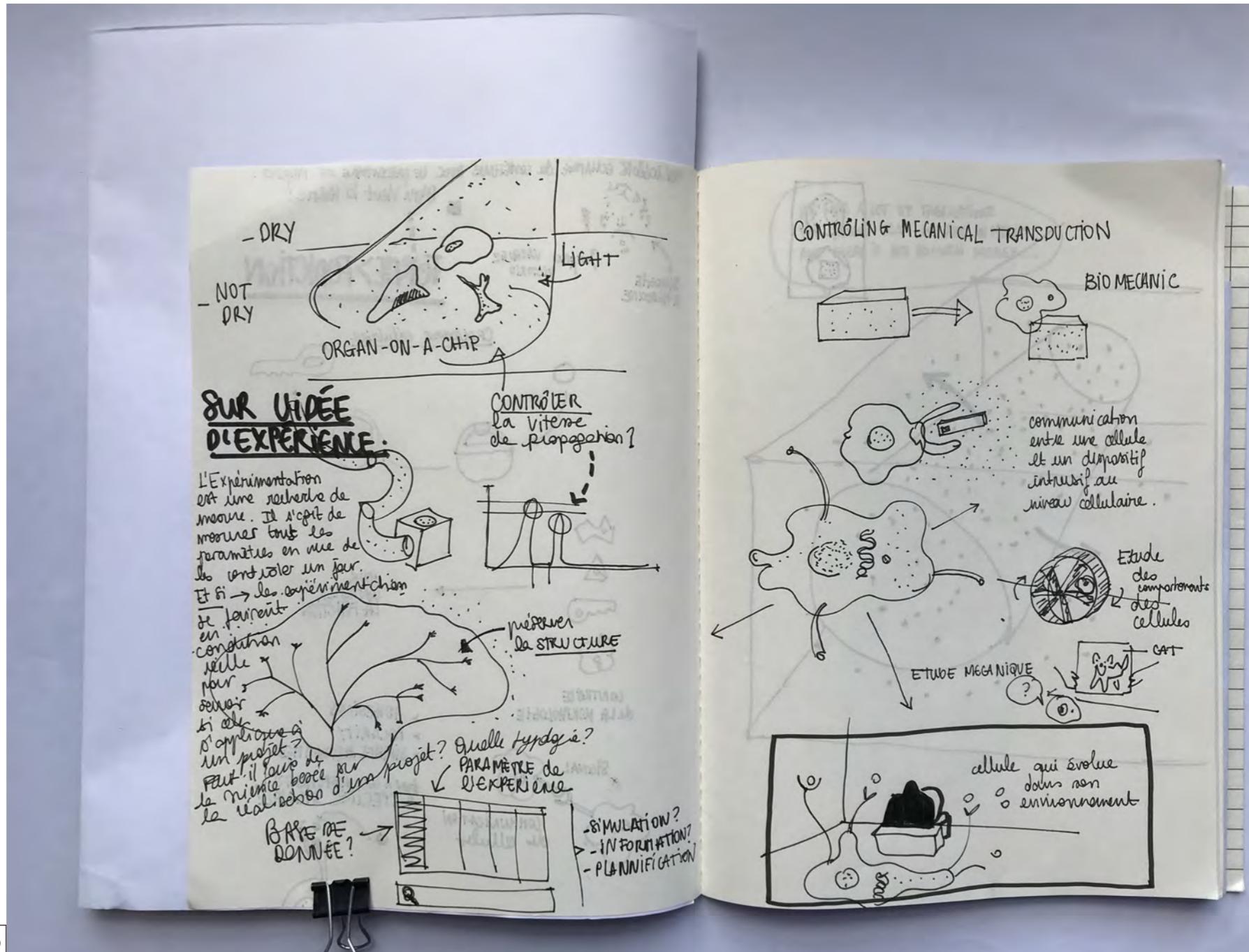


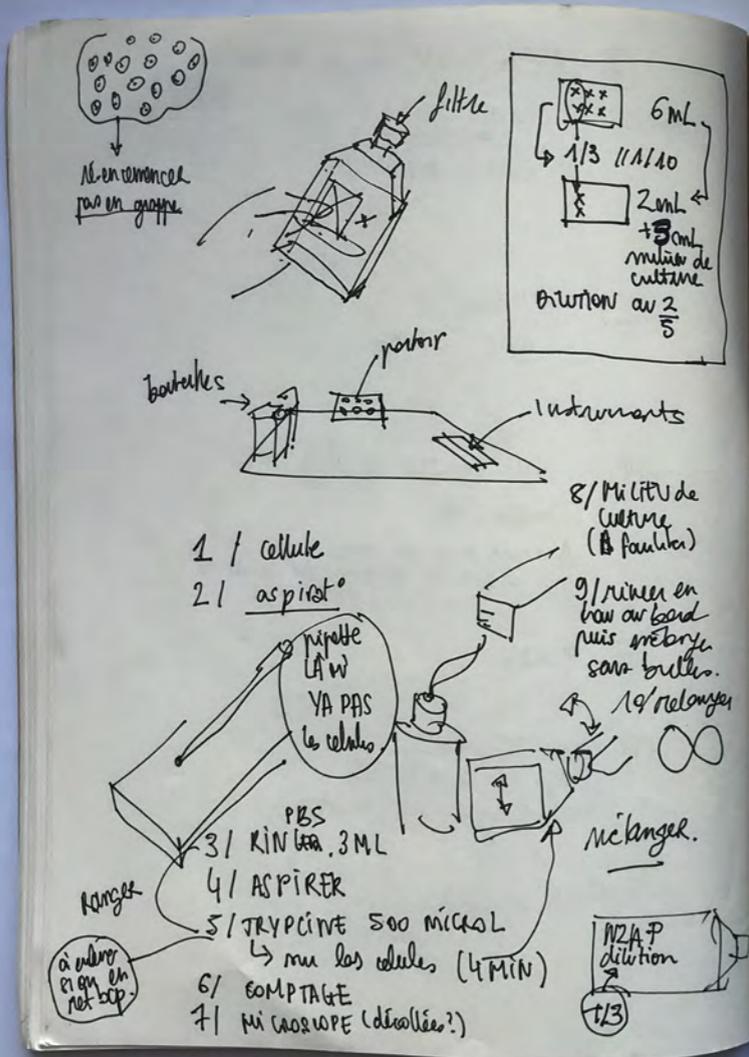
04



BIO 3D-PRINTING
MARPINET 27/03/2019
?







1
Culture des cellules animales

Plan du cours

1. Définitions
- Primoculture et culture secondaire
- Lignée cellulaire
- Adhérence
- Culture en monocouche
- Passage
- Transformation cellulaire

2. Composition des milieux de culture
2.1. Milieu synthétique de base
→ Nature des constituants
→ Rôles des constituants
2.2. Sérum de veau fœtal
→ Constituants et rôles
→ Avantages et inconvénients du SVF

1) regarder la tête des cellules

Passage de cellules adhérentes (hors PC12/THP1):

Chauffer à 37°C le milieu, le PBS et la trypsine une demi-heure avant manipuler.

- 1) Rincer les cellules du PBS 1X (attention sans cellules). Aspirer le PBS. [Élimine toutes les traces de milieu de culture qui inhiberaient l'action la trypsine].
- 2) Décoller les cellules avec de la trypsine à 37°C pendant 2min. [Rompt les liaisons peptidiques entre les protéines membranaires de cellules et le support]
- 3) Observer au microscope que toutes les cellules soient décollées.
- 4) Inactiver la trypsine avec du milieu complet. [Le sérum contient des inhibiteurs de protéase]. Homogénéiser et transférer le mélange dans un falcon. Centrifuger 4min à 1200 rpm.
- 5) Élimine le surnageant et reprendre les cellules dans du milieu complet. Attention bien homogénéiser la suspension pour casser les amas cellulaires. Prélever une petite quantité de suspension dans un eppendorf.
- 6) Comptage des cellules, prélever 7µL de la suspension et la déposer sur la cellule de comptage. Compter au moins 100cellules.
Nbre C/mL = (nombre de C comptées / nombre de carrés comptés) * 1.10⁴
- 7) Ensemencer une nouvelle flasque.

1. Définit
❖ Primoc
un orga
Une prim
peuvent
d'un mai

❖ Culture
autre cul

❖ Lignée
après d
in vitro
sur une
traiteme

Une lignée
→
no
→

❖ Adhén
L'adhé
issus
transfor

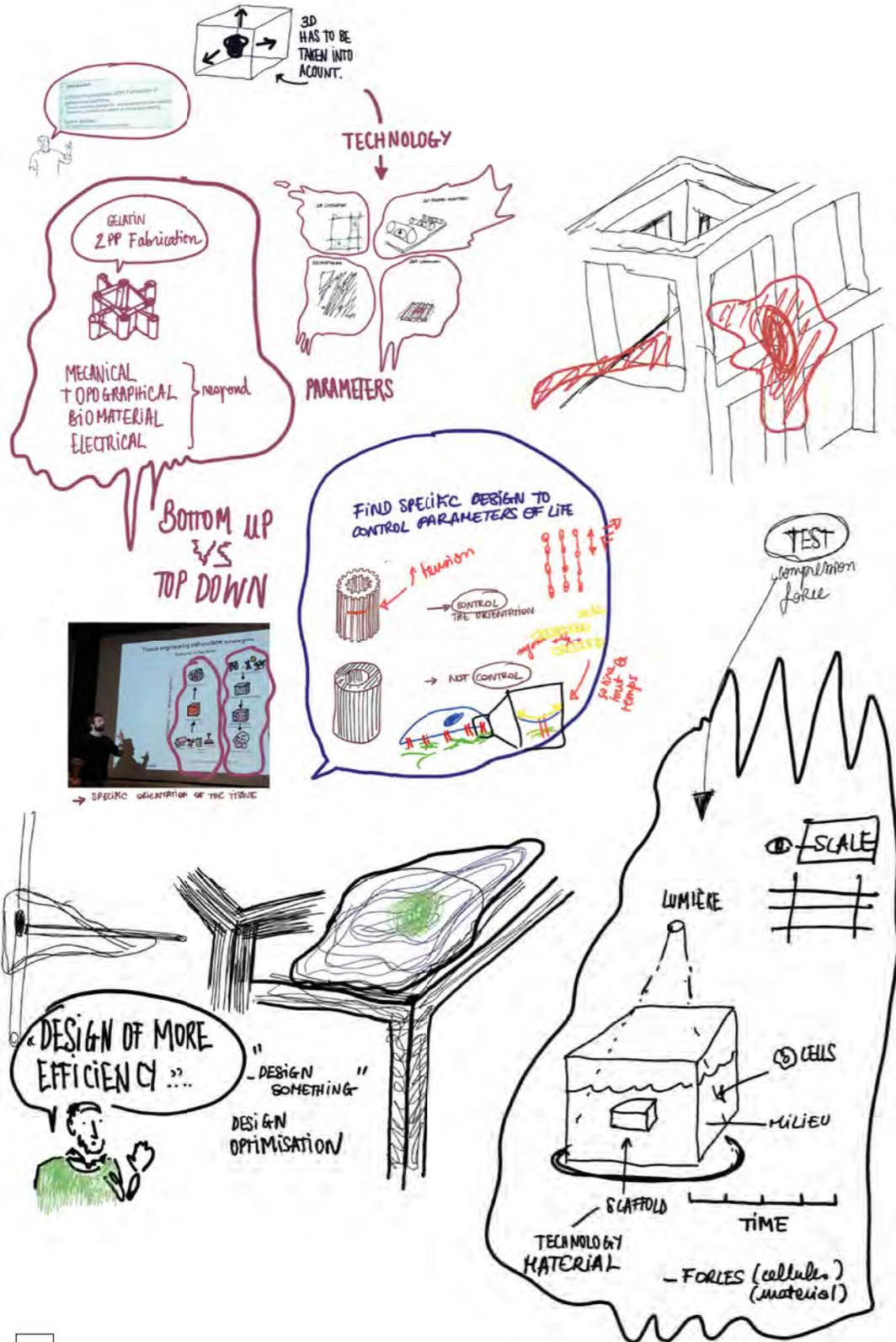
➢ Dans le
→ Des
extracel
→ Les

Volume de milieu par type de support :

Support	medium/ well
---------	--------------

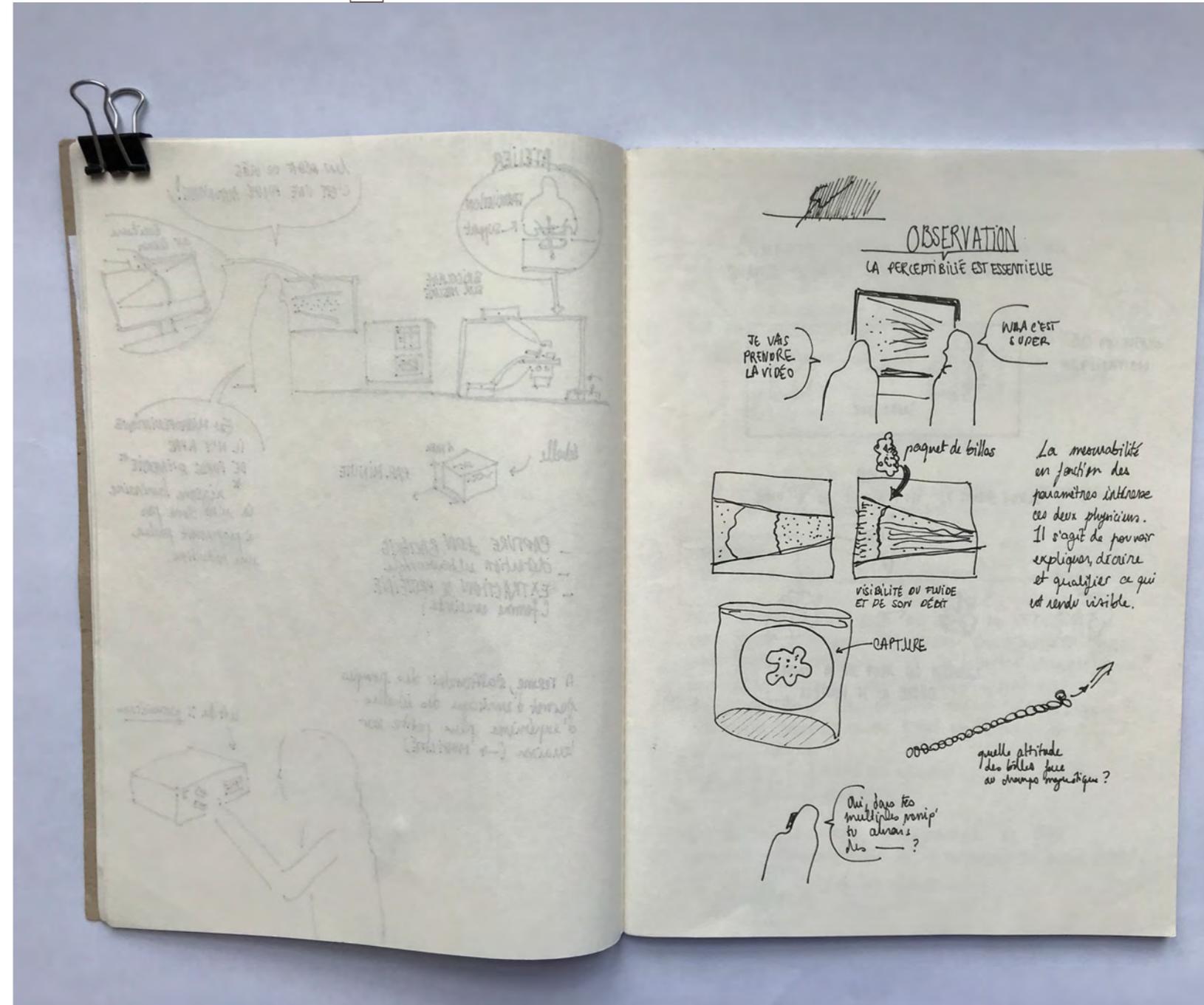
Mercredi 5 Décembre 2018

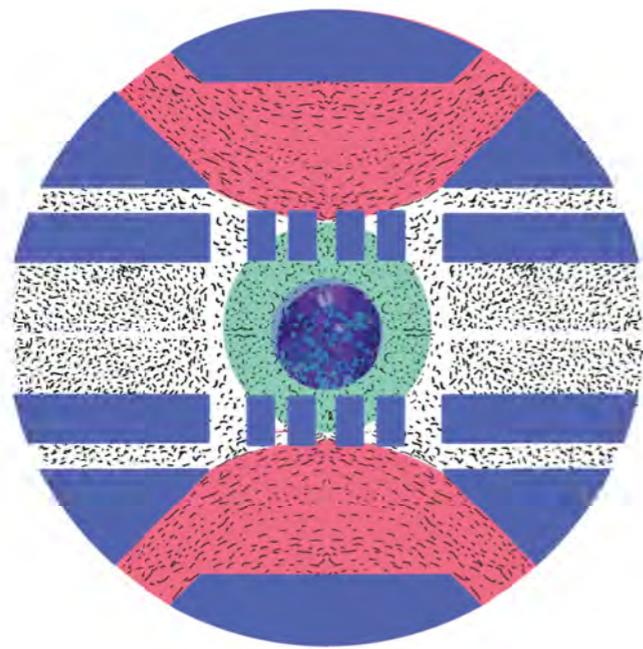
FABRIZIO ANDREA PENNACCHIO



08

09





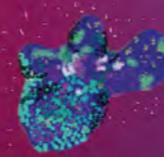
10

MICROPHYSIOLOGICAL SYSTEMS from organoids to organ-on-chip

Workshop

From April 27th to May 1st, 2020

Cargèse, Corsica, France

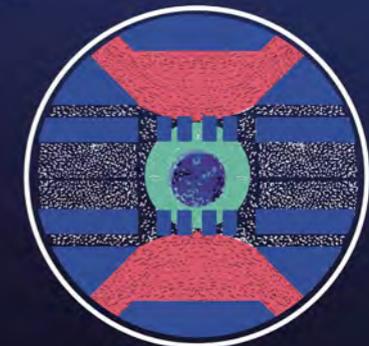


Invited speakers

Nancy Allbritton	<i>University of Washington, Seattle, USA</i>
Ana Sofia Carvalho	<i>Institute of Bioethics, Porto, Portugal</i>
Chris Chen	<i>Boston University, Boston, USA</i>
Miki Ebisuya	<i>EMBL, Barcelona, Spain</i>
Emmanuel Farge	<i>Institut Curie, Paris, France</i>
Nikolaj Gadegaard	<i>University of Glasgow, Glasgow, UK</i>
Edouard Hannezo	<i>IST, Vienna, Austria</i>
Pierre-François Lenne	<i>IBDM, Marseille, France</i>
Prisca Liberali	<i>FMI, Basel, Switzerland</i>
Matthias Lutolf	<i>EPFL, Lausanne, Switzerland</i>
Scott Magness	<i>University of North Carolina at Chapel Hill, USA</i>
Torsten Mayr	<i>Graz University of Technology, Austria</i>
Núria Montserrat	<i>IBEC, Barcelona, Spain</i>
Christine Mummery	<i>Leiden University Medical Center, The Netherlands</i>
Francesco Pampaloni	<i>Goethe University of Frankfurt, Germany</i>
Jean-François Rupprecht	<i>CPT, Marseille, France</i>
Guillaume Salbreux	<i>Francis Crick Institute, London, UK</i>
Xavier Trepast	<i>IBEC, Barcelona, Spain</i>
Valerie Weaver	<i>UCSF, San Francisco, USA</i>
Claire Wilhelm	<i>Universiy Paris-Diderot, Paris, France</i>

Organizing committee

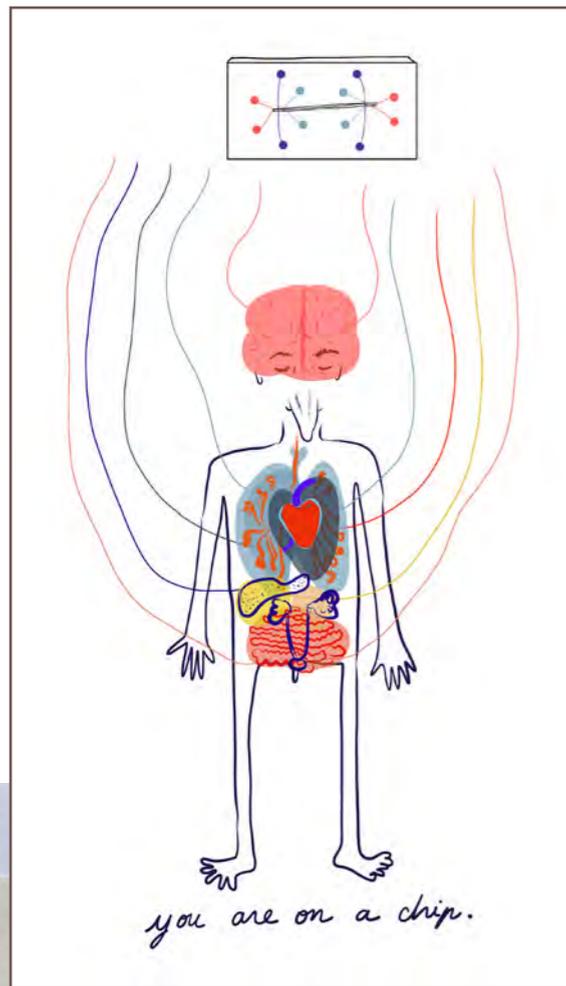
Morgan Delarue	<i>LAAS-CNRS, Toulouse, France</i>
Stéphanie Descroix	<i>IPGG, Paris, France</i>
Edouard Hannezo	<i>IST, Vienna, Austria</i>
Laurent Malaquin	<i>LAAS-CNRS, Toulouse, France</i>
Danijela Matic Vignjevic	<i>Insitut Curie, Paris, France</i>



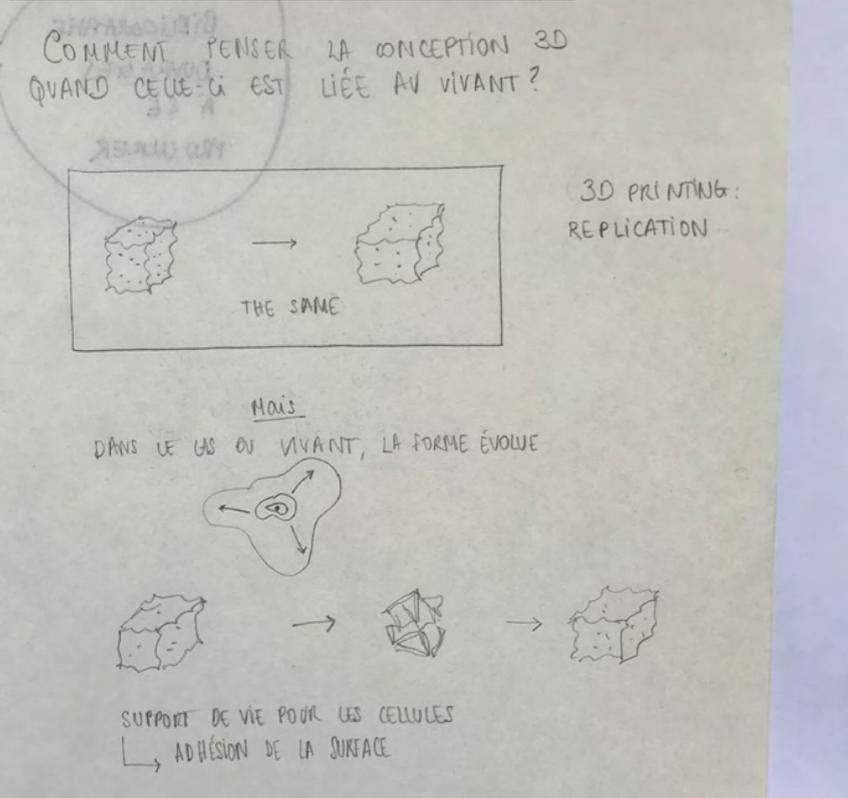
microphysio
2020



11



12



13

1. Illustration d'une idée de réparation machinique des humains.

2. Photographie du prototype LAMP (projet dirigé par Laurent Malaquin).

3. Photographie et schéma explicatif de la méthode de fonctionnement du prototype LAMP (impression 3D dans un gel à l'aide de laser optique)

4. Cartographie visuelle de divers éléments liés à la bio-impression 3D

5. couverture du journal ASC Applied Materials & Interfaces volume 14 numéro 18, correspondant à l'article : Evaluation of Proton-Induced DNA Damage in 3D-Engineered Glioblastoma Microenvironments. AKOLAWALA, Qais, ROVITUSO, Marta, VERSTEEG, Henri H., RONDON, Araci M. R. et ACCARDO, Angelo, 2022. Evaluation of Proton-Induced DNA Damage in 3D-Engineered Glioblastoma Microenvironments. ACS Applied Materials & Interfaces. Vol. 14, n° 18

6. 7. Photographie des carnets de terrain

8. Facilitation graphique d'une conférence scientifique

9. Photographie d'un carnet de terrain

10. illustration d'un organe sur puce d'après les recherches mené par Morgan Delarue, réalisé dans le cadre du graphisme du programme du workshop Microphysio 2020

11. Élément de communication réalisé pour le workshop scientifique «Microphysiological systems from organoids to organ-on-chip» où l'on peut voir la représentation dessinée d'un sphéroïde d'intestin (en haut à gauche) et un organe sur puce (en bas à droite). Ce travail de graphisme a été conduit auprès de Morgan Delarue et Laurent Malaquin co-organisateurs du Workshop.

12. Illustration métaphorique d'un humain sur puce

13. Photographie d'un carnet de terrain

Se confronter aux objets du tournant 3D de la biologie

L'« Organ-on-a-chip » ou organe-sur-puce comme objet culturel

Les organes -sur-puces sont comparés à des technologies de culture cellulaire *in vitro*, ou des systèmes microphysiologiques. Ce sont des objets de petite taille (de la taille d'une clef USB¹⁶²) conçus pour répliquer aussi fidèlement que possible le « micro-environnement » et les conditions « physiologiques » dans lesquelles les cellules évoluent habituellement afin de s'approcher de modèles plus proches de la réalité, et qui seraient de fait, hypothétiquement plus pertinents¹⁶³. Le chercheur Don Ingber nomme son approche de « *Biologically Inspired Engineering* » (Ingénierie inspirée par la biologie) qui est au cœur du *Wyss Institute* dont il est le fondateur (Université d'Harvard). Je pense que la polysémie du terme design en anglais permet des filiations directes entre les pratiques d'ingénierie et les sphères du design. Ceci facilite sans doute l'entrée de ces objets techniques dans la vie culturelle américaine et anglaise. En 2015, le Museum of Modern Art (MoMA) de New-York expose en effet un *Human Organs-on-Chips*. Cet organe sur puce (fig. 19) sera par la suite exposé dans de multiples musées¹⁶⁴ et récompensé par des prix de design (Design of the Year Award, 2015). L'exposition du MoMA, commissionnée par Paola Antonelli intitulée *This Is for Everyone : Design Experiments for the Common Good* (« C'est pour tout le monde : le design des expériences pour le bien commun ») présentait alors une série d'objets issus de la recherche qui ont un impact sur la société (fig. 20).

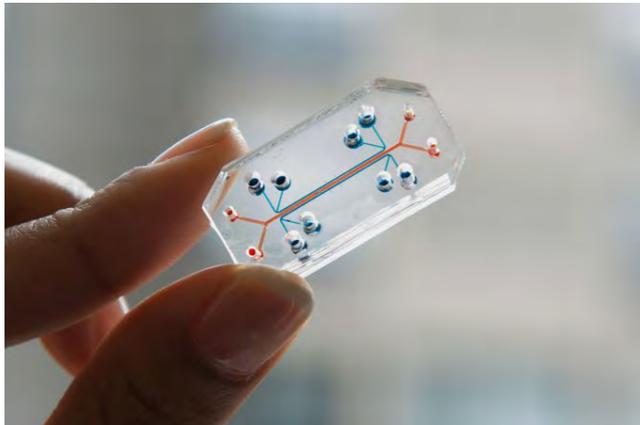


Figure 19 — : «organe sur puce» du Wyss Institute. Crédits : Wyss Institute at Harvard University

162 Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering at Harvard University, Donald Elliot Ingber, Dan Dongeun Huh, Boston Children's Hospital. *Human Organs-on-Chips*. 2008 | MoMA, [sans date]. *The Museum of Modern Art*. [en ligne]. [Consulté le 12 mai 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.moma.org/audio/playlist/12/359>

163 Selon Don Ingber, son équipe s'est inspirée « des principes de conception de la nature et des méthodes d'ingénierie développées par l'homme, et nous les avons combinés pour créer ce nouveau concept de design. » Ma traduction, « We took design principles from how nature builds and we took engineering approaches man has developed, and we combined them together to create this really novel design concept. »

164 L'objet a été exposé par exemple au *Laboratoire Cambridge* (2015), au *Holon Design Museum*, Israël (2016), au *Centre Barbican Londres* (2019), au *Centre Pompidou de Paris* (2019).



Figure 20 — : vue de l'exposition *This Is for Everyone: Design Experiments for the Common Good* (en bas à droite : on voit les puces du Wyss Institute)

L'« Human-on-a-chip » ou humain sur puce comme prolongement de l'organe sur puce

Pour continuer dans notre analyse des bio-objets techniques permis et développés par le tournant 3D de la biologie, nous souhaitons illustrer notre propos par un cas d'étude d'un objet particulier. Cet exemple, l'« humain sur puce » nous permet de montrer en quoi les métaphores et le langage ne sont pas neutres et font partie de la culture scientifique et technique d'une communauté de recherche pluridisciplinaire.

L'« humain sur puce » repose sur un procédé similaire à l'« organe sur puce ». Dans la figure 19, nous pouvons observer une puce microfluidique avec des canaux rendus visibles par des fluides colorés. Cet objet, présenté comme une avancée majeure pour le domaine de l'élaboration de médicament, permet des modèles plus pertinents pour la biologie humaine selon les chercheurs du *Wyss Institute* (Harvard). Ils définissent les organes sur puces comme des dispositifs de culture microfluidique qui reproduisent les structures et fonctions complexes des organes humains vivants.¹⁶⁵ Dans la partie centrale de la puce, il y a une membrane entourée de cellules de poumons, et de cellules capillaires, et sur le côté deux canaux, permettant de faire « respirer » la puce, tout en maintenant un flux sanguin, et en faisant circuler des potentiels agents pathogènes. Pour le Wyss Institute, différents « organes sur puces » connectés les uns aux autres permettent de répliquer les fonctions physiologiques du corps humain (fig. 21).

165 *Human Organs-on-Chips*, 2014. *Wyss Institute*. [en ligne]. [Consulté le 2 mai 2022]. Disponible à l'adresse: <https://wyss.harvard.edu/technology/human-organs-on-chips/>

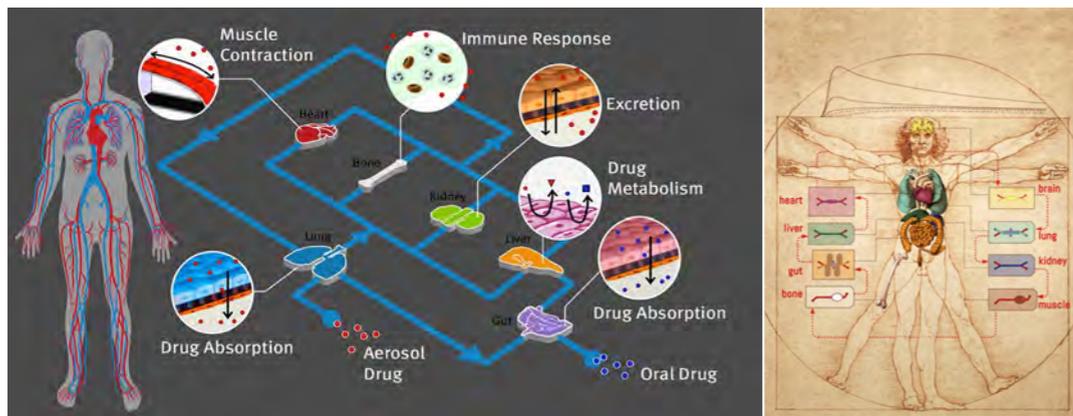


Figure 21 — : A/schéma explicatif d'un «humain sur puce» extrait d'une vidéo explicative *Human Organs-on-Chips*, 2014. Wyss Institute. [en ligne]. [Consulté le 2 mai 2022]. Disponible à l'adresse : <https://wyss.harvard.edu/technology/human-organs-on-chips/> B/Linked organ chips Vitruvian man illustration. Credit: Wyss Institute with adaptation by Daniel Power.

La **figure 21 A** montre la vision réductionniste du corps humain compris comme l'addition d'organes connectés les uns aux autres et vascularisés. L'objet technique de l'humain sur puce s'appuie sur un corps idéalisé tel que visible dans cette même **figure 21 B** où les auteurs reprennent à leur compte l'image de l'homme de Vitruve dessiné par Léonard de Vinci, corps masculin, valide, qui devient la mesure de toute chose. Nous voyons que le terme employé « humain sur puce » reflète directement cet imaginaire (normatif) biologique.

Les pratiques de bio-impression 3D s'intègrent dans de multiples bio-objets techniques à la vocation médicale, ces derniers devraient s'intégrer dans notre sens dans de multiples entendements de la médecine qui ne sauraient se contenter de répliquer des morceaux de corps, mais bien d'envisager les interconnexions auxquelles nous appartenons et qui ont été notamment été révélés par la crise sanitaire. Nous avons pu observer les manquements de cette prise en compte dans la pandémie de covid-19. Un article du *Lancet* titrait en effet, « COVID-19 n'est pas une pandémie »¹⁶⁶ pour expliciter à quel point la mortalité du virus était largement due à des terrains de maladie chronique, elle-même causé par un environnement de vie sociale et matérielle dégradée. Également, la perte de frontière entre monde sauvage et monde urbain avait été soulevée dans les médias, voyant dans le COVID-19 l'un des multiples effets des dérèglements écologiques. Il nous semblerait intéressant d'introduire ce concept de « One health » souligné par l'éditeur en chef du *Lancet* (journal médical), Richard Horton, dans les pratiques de bio-impression 3D.

Individuation des organes artificiels

Les objets induits dans le tournant 3D de la biologie contiennent, dans la manière même dont ils ont été pensés, des présupposés et des références chargées de symboles. Chaque organe y est pris dans son fonctionnement individuel et l'addition de ces différents organes constitue le corps, et par extension tacite, la personne. Il me semble, qu'il y a là, les travers soulignés par le philosophe des techniques Xavier Guchet dans son ouvrage

*La médecine personnalisée : un essai philosophique*¹⁶⁷. Dans cet essai, Xavier Guchet pose une différence entre une médecine de l'individu qui serait holistique et une médecine personnalisée qui devient quant à elle individualisée. Ainsi, les techniques d'individuation génétique et statistique (propre à la médecine personnalisée et moléculaire) sont paradoxalement opposées à la notion de personne humaine. Guchet propose la d'utiliser la notion d'individuation de Simondon. L'organe artificiel¹⁶⁸ individué permet ainsi d'ouvrir l'évolution des objets techniques biologiques dans un milieu et de se laisser surprendre par eux plutôt que de vouloir imposer une vision d'hybris, où l'humain est capable de recréer la vie et où l'organe est vu comme une brique remplaçable dans l'ensemble plus vaste du corps. En mettant en rapport le faire et le discours issu des technosciences, Xavier Guchet montre une inadéquation du projet scientifique (discours) par rapport aux réalités du terrain (pratiques) et les besoins véritables des patients. Il suggère en cela un chantier de redéfinitions des objectifs de la recherche scientifique contemporaine basé sur la pratique réelle de ses acteurs. Il montre aussi comment le milieu de la recherche a su s'émanciper du discours de la convergence NBIC pour trouver d'autres voies exploratoires, et en quoi la manipulation concrète rend si fragile une technologie dont la force est pourtant clamée si fort. Cette fragilité, cette difficulté à obtenir exactement la chose espérée de l'expérience, replace le scientifique dans une figure plus sage. Dans l'article, « Nanotechnologies et ingénierie du foie bioartificiel. Une autre idée de la « convergence technologique ». », Xavier Guchet et le médecin Cécile Legallais démythifient le discours de la convergence en s'appuyant sur les preuves des faits du terrain et le tâtonnement de la recherche au jour le jour. L'article fait également le lien entre l'ingénierie d'un foie bioartificiel et les concepts de Simondon. Avec Simondon, l'objet biotechnologique n'est plus déterminé par des fonctions à remplacer, mais peut être vu comme un élément évoluant avec son milieu, le corps. Cela implique que l'on peut également s'éloigner d'un rapport mimétique au foie bioartificiel et penser sa conception en termes de relation du foie avec le reste du corps. Cette réflexion s'étale dans le temps et indique une évolution temporelle importante pour les artefacts bioartificiel. Cette perspective est évidemment celle de la relation entre l'artefact et le corps du patient. La réflexion permet d'ouvrir des questions sur l'existence du bio-objet technique : comment penser ce dernier dans le système de soin auquel il appartient/appartiendra ? Si l'individuation et la concrétisation du foie bioartificiel permettent de contrer cette idée d'une convergence démiurgique de la technologie, comment néanmoins intégrer le dispositif de façon « appropriée » ? Comment l'inscrire en somme dans un mode relationnel qui ne va pas seulement du corps au dispositif, mais du dispositif aux structures de santé ? Il s'agit en somme de prendre de la hauteur, et d'intégrer l'objet dans un système relationnel plus vaste, et ce, dès le début des stratégies de conception. Cette manière d'envisager l'objet technique est abordée dans une « philosophie des objets orientée-objet ». Pour Xavier Guchet, « une philosophie des techniques orientée-objet invite justement à dépasser les prises de position générale et dogmatique, pour examiner *in concreto*, sur pièces, comment les techniques viennent mordre sur les vivants, pour pouvoir à partir de là se déterminer quant aux valeurs à l'aune desquelles ce "comment" peut être

167 GUCHET, Xavier, 2016. *La médecine personnalisée : un essai philosophique*. Les Belles Lettres.

168 GUCHET, Xavier et LEGALLAIS, Cécile, 2019. Nanotechnologies et ingénierie du foie bioartificiel. Une autre idée de la « convergence technologique ». *Philosophia Scientiae*. Vol. 23-1, n° 1, pp. 121-135.

166 HORTON, Richard, 2020. Offline: COVID-19 is not a pandemic. *The lancet*. Vol. 396, n° 10255, pp. 874.

jugé.»¹⁶⁹ Pour poursuivre nos réflexions sur les bio-objets qui peuplent la bio-impression 3D et les possibilités d'un tournant 3D de la biologie, citons certains bio-objets produits dans le laboratoire : *sphéroïdes*, *tissoïde*, *organoïde*. Les termes au suffixe « — id » soulignent la forme inachevée et incertaine des objets. Cette indétermination montre sans doute le caractère en train de se faire de ces pratiques. Pour autant, éviter la confrontation avec l'objet technique : son « existence » pour parler avec Simondon, peut également empêcher une pensée réflexive à son égard, car il se soustrait à la description et à la définition. On peut facilement comprendre que la réalité ontologique de l'objet produit ne soit pas nécessairement le problème du chercheur-ingénieur, en revanche on peut s'étonner que les scientifiques s'accordent sur des termes aussi vagues qu'« organoïde »¹⁷⁰, « assemblé », etc.

Nous avons dressé un rapide panorama des enjeux soulevés par la bio-impression 3D. Nous pouvons résumer que cette technologie est inscrite dans un tournant 3D de la biologie, qu'elle incarne un paradigme d'une science de la fabrique et qu'elle est grandement liée à des bio-objets dont l'existence reste encore bien mystérieuse. Nous avons souhaité ce préambule, pour tenter de montrer ce qui a pu guider nos choix de conception et de design pour la recherche-création qui suit. Nous verrons que l'hétérogénéité dans laquelle se situe la bio-impression 3D nous a poussés à laisser volontairement très ouverts les formats de publication du *Codex*. La partie suivante décrit les motivations principales de ce travail de recherche.

169 Xavier GUCHET. *Objet versus artefact. Pour une philosophie des techniques orientée-objet. Cahiers COS-TECH*. 2017. Vol. 1.

170 « Un organoïde est un assemblage multicellulaire tridimensionnel qui reproduit *in vitro* une partie des fonctions et/ou de l'anatomie d'un organe. » selon Laurent Malaquin CODEX — Organoïde, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 2 mai 2022]. Disponible à l'adresse: <https://codex.laas.fr/detailTerme/20> On retrouve une définition similaire ailleurs « *Organoids are 3D cell culture systems that mimic some of the structural and functional characteristics of an organ.* » KRATOCHVIL, Michael J., SEYMOUR, Alexis J., LI, Thomas L., PAŞCA, Sergiu P., KUO, Calvin J. et HEILSHORN, Sarah C., 2019. Engineered materials for organoid systems. *Nature Reviews Materials*. Vol. 4, n° 9, pp. 606-622.

2. Un médium dialogique et réflexif pour favoriser une mise en culture de la technique dans l'ingénierie du vivant

Dans cette partie, j'expose les hypothèses qui ont conduit à l'élaboration d'un médium dialogique numérique et contributif sur la bio-impression 3D. Nous avons pensé le *Codex de la bio-impression 3D* comme un médium de publication qui ne se base pas sur les résultats, mais explicite plutôt les termes d'un champ en pleine construction et dont les acteurs hétérogènes ne viennent pas des mêmes formations, milieux et disciplines.

Des espaces de publication sur les sciences en train de se faire

La bio-impression 3D en tant que technologie permet la fabrication en trois dimensions de matières organiques ou biologiques par addition de couches qui peuvent provenir de matières différentes. Si l'on prend un cas concret, en vue d'une greffe d'organe par exemple, de multiples spécialités, métiers et disciplines vont interagir ensemble pour étudier et mettre en place un hypothétique dispositif médical. Citons sans hiérarchie : ingénierie de modélisation et fabrication 3D, médecine, culture tissulaire, physiologie, métabolisme, sciences analytiques pour tester la toxicité, science des matériaux, biochimie, imagerie médicale, etc. Ainsi la bio-impression 3D en tant que domaine de recherche est interdisciplinaire et jouit tout autant des pratiques de la biologie, de la médecine, de l'ingénierie et des sciences expérimentales¹⁷¹. C'est sur les formes de publication de ce domaine et la circulation des savoirs scientifiques que nous nous sommes concentrés. Il nous a semblé qu'à cet endroit, nous pourrions réfléchir à des formats hybrides qui soient ouverts à la visibilité des citoyens. Cette manière de publier est rassemblée sous l'expression de « science ouverte ». Elle est pour majeure partie liée à l'ouverture des publications scientifiques. La science ouverte consiste à rendre « accessible autant que possible et fermé autant que nécessaire » les résultats de la recherche, issus en majorité des fonds publics comme le souligne le rapport 2016 de la Commission européenne et comme l'explique la page web¹⁷² du site du CNRS consacrée à ce sujet. Selon cette définition, il s'agit d'une science déjà faite et des résultats qu'elle a produit qu'il s'agit d'ouvrir et non pas des choix sur la science en train de se faire, ou d'une science à faire ou des choix techniques qui sont à l'intérieur des pratiques. Nous ne critiquons pas ces initiatives, mais pensons que cela ne répond qu'à une partie du problème de l'ouverture de la science. Cela permet aux savoirs de circuler dans la sphère scientifique. Mais qu'en est-il

171 Nous pouvons ajouter également les disciplines relevant des SHS : du droit, de la philosophie et des études esthétiques en ce que c'est un champ qui est encadré légalement et sur lequel la philosophie des techniques a par exemple contribué.

172 Science ouverte | CNRS, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 15 mai 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/science-ouverte>

de la position du citoyen éclairé? Quand bien même les publications sont en accès libre et ouvert, en quoi cela ferait de ces publications des savoirs et connaissances appropriables par les citoyens? En effet, le système de publication en double aveugle, dans des revues spécialisées dont les règles dépendent des communautés et des disciplines, ne me semble pas approprié à la lecture citoyenne. La recherche, ou du moins, une idée communément admise de la recherche scientifique, fonctionne sur l'addition et le croisement des connaissances sur un sujet précis pour permettre à d'autres chercheurs de s'approprier ce savoir pour l'emmener plus loin. Il nous semble que les pratiques de recherche concernant la bio-impression 3D parce qu'elles suscitent des imaginaires d'hybris et de contrôle sur le vivant, et sont connectées à des questions sociétales importantes devraient être plus ouvertes aux citoyens. Si le système actuel de publication de la science en train de se faire ne répond pas totalement à ce besoin, il y a donc une occasion de travailler cette question pour la recherche en design. Également, nous pensons que ces pratiques de recherche devraient être intégrées dans un mode réflexif, de manière à toujours mettre en parole, en dialogue et en réflexion les pratiques en train de se structurer. Il y a en effet, un biais à l'intégration de la réflexion éthique au sein des pratiques techno-scientifiques, qui arrive en quelque sorte « trop tard ». Ce point rejoint la problématique de l'éthique embarquée (dans le domaine connexe de la biologie synthétique) soulignée par Bernadette Bensaude-Vincent¹⁷³ qui s'occupe de l'acceptabilité sociale et de la réception des recherches plutôt que des pratiques qui mènent à de telles recherches.

Ainsi nous nous intéressons dans ce chapitre à des espaces de mise en visibilité de la bio-impression 3D, à travers des formats de publication contributif et numérique traitant des logiques de conceptions de la bio-impression 3D, au sein des pratiques scientifiques.

Les savoirs situés de Donna Haraway

Donna Haraway a proposé le terme d'« objectivité¹⁷⁴ féministe » des sciences pour décrire une science située capable de répondre de ses actes (une science responsable). Selon Haraway, le point de vue « objectif », lointain et qui serait vrai en toutes circonstances ne permet pas de répondre des conséquences des actions de la science. Cette objectivité féministe est présentée dans un texte fondateur de 1988¹⁷⁵, « *Situated Knowledges: The Science Question in Feminism and the Privilege of Partial Perspective* » que l'on peut traduire par « Les savoirs situés : La question scientifique dans le féminisme et le privilège de la perspective partielle » publié dans la revue *Feminist Studies*. Ce texte, souvent qualifié de « manifeste » occupe une place historique à la fin des années 1980, où les féministes se demandent ce qu'elles peuvent dire de spécifique sur les sciences naturelles et comment le féminisme pourrait être à l'origine d'une révolution épistémologique à même

173 BENSAUDE-VINCENT, Bernadette et BENOIT-BROWAEYS, Dorothée, 2011. *Fabriquer la vie: où va la biologie de synthèse?*. Seuil.

174 L'épistémologie est l'étude de la connaissance en général, du grec ἐπιστήμη epistēmē, signifiant « connaissance » et λόγος lógos, signifiant « discours ». (CNTRL et Wikipédia)

175 HARAWAY, Donna, 1988. « Situated Knowledges: The Science Question in Feminism and the Privilege of Partial Perspective », *Feminist Studies*, vol. 14, no 3, p. 575-599 traduit en français dans Donna HARAWAY, Laurence ALLARD, Delphine GARDEY et Nathalie MAGNAN, *Manifeste cyborg et autres essais: sciences, fictions, féminismes*.

de profondément bouleverser la connaissance scientifique. Ici les féministes s'opposent aux sciences qualifiées d'« exactes » et au rêve du « parfaitement connu¹⁷⁶ » qui hantent les « technologies militarisées ». Ici, nous devons nous arrêter un instant sur deux choses pour le lecteur. La première est l'emploi de cette expression « technologies militarisées » qui doit sa naissance à la corroboration des technosciences avec l'implication des connaissances scientifiques dans des armes de destruction massive telle que la bombe atomique. Il y a en effet une réorganisation de la recherche scientifique¹⁷⁷ à la suite de la Seconde Guerre mondiale dont un exemple très connu est le projet Manhattan¹⁷⁸. Haraway remarque qu'une grande partie des travaux sur l'histoire ou la sociologie des sciences utilisent un vocabulaire « scientifico-guerrier ». Comme l'écrit par la suite Bellacasa, « *ce sont des histoires racontées par la même histoire* : toujours la guerre et les victoires.¹⁷⁹ » Bellacasa, continue en expliquant que Haraway voit les interventions féministes comme ne prolongeant pas l'éthos guerrier.

« On peut dire que c'est autour d'une tentative de construire des corps et significations différents, des mondes plus vivants et plus *caring*, que Haraway connecte les interventions et propositions féministes autour de la notion d'objectivité et de l'ambition de construire des politiques des savoirs situés¹⁸⁰. »

La seconde chose qui mérite sans doute d'être explicitée tient en la qualification de cette objectivité comme étant une « objectivité féministe ». Ainsi le féminisme est ici compris comme un ancrage et une situation profondément différente dans lesquels se retrouvent certains mouvements féministes (notamment féminisme du positionnement¹⁸¹). Cet ancrage fait qu'il ne devient plus possible ni de décrire comme des faits objectifs des visions qui seraient les mêmes de toutes parts (universalisme), ou qui relativiseraient toutes situations ou qui expliquent l'histoire des sciences en termes de victoires et de défaites. Par ailleurs, il est important de resituer le contexte féministe de ce texte, qui comme l'explique Haraway vient d'une position particulière des universitaires assignées femmes qui héritent d'une certaine position, « les femmes, de par la position historique qui est la leur, peuvent avoir une théorie de l'objectivité, de la production matérielle et sociale radicale du savoir et de la fin possible de la domination en nommant. »¹⁸² La qualité

176 Isabelle Stengers, *Une autre science est possible! Manifeste pour un ralentissement des sciences*

177 Cette réorganisation est décrite dans Bernadette BENSAUDE-VINCENT. *Les Vertiges de la technoscience*.

178 Le projet Manhattan est le nom de code du projet de recherche qui produisit la première bombe atomique durant la Seconde Guerre mondiale. En août 1939, deux physiciens Leó Szilárd et Eugene Wigner, rédigèrent une lettre adressée Franklin Delano Roosevelt, président américain, pour l'avertir que de travaux scientifiques récents faisant envisager des bombes extrêmement puissantes s'appuyant sur une réaction en chaîne avec des quantités importantes d'uranium.

179 DE LA BELLACASA, María Puig, 2014. *Les savoirs situés de Sandra Harding et Donna Haraway: science et épistémologies féministes*. Editions L'Harmattan. p. 170

180 María Puig DE LA BELLACASA, *Les savoirs situés de Sandra Harding et Donna Haraway: science et épistémologies féministes*.

181 « l'expérience des femmes comme une source de savoir susceptible d'être déployée pour transformer la sphère publique dont elles sont exclues. » BRACKE, Sarah, PUIG DE LA BELLACASA, Maria et CLAIR, Isabelle, 2013. *Le féminisme du positionnement. Héritages et perspectives contemporaines. Cahiers du Genre*. 1er janvier 2013. Vol. 54, pp. 45.

182 HARAWAY, Donna J., 2015. *In the Beginning Was the Word: The Genesis of Biological Theory. Signs: Journal of Women in Culture and Society*. ma traduction « *because of our historical position, women can have a theory of objectivity, of the radical material-social production of knowledge, and of the possible end of dominating by naming.* »

du positionnement est tout l'enjeu des savoirs situés. En effet, « [l]e positionnement implique la responsabilité de nos pratiques pour agir. Il s'ensuit que la politique et l'éthique sont la base des affrontements où se joue ce qui va compter comme savoir rationnel. » Il ne faut pas se méprendre sur le terme féminisme¹⁸³ dans l'expression « objectivité féministe » et le voir comme quelque chose d'excluant, et ceci d'autant plus dans notre perspective paradoxale, qui consiste à vouloir utiliser les théories de Donna Haraway au sein même des technosciences pour nous mettre en capacité de « penser ce que nous faisons »¹⁸⁴ et ne jamais se soustraire à la présumée neutralité technique ou innocence scientifique.

Ce qui nous semble particulièrement fertile dans le texte des *Savoirs Situés* est l'appel à se situer (à réaliser où nous sommes, dans quoi nous sommes, par quoi nous sommes tenus¹⁸⁵) et qui peut à mon avis, correspondre tout à fait à la situation d'être engagé en tant qu'auteur sur un sujet particulier de la bio-impression 3D. Ainsi que l'écrit Haraway, « être situé. e — et le geste de se situer — signifie [...] que tout ne se vaut pas, car toute position, toute prise de position, amène avec elle un monde, et les mondes comptent¹⁸⁶. » Haraway insiste tout le long de son travail sur la construction des sciences par le langage. Haraway présente cette hypothèse dès 1972, année de délivrance de sa thèse¹⁸⁷ où elle s'intéresse au rôle des métaphores dans les savoirs biologiques. Elle publie alors en 1976 *Crystals, fabrics, and fields : metaphors that shape embryos*¹⁸⁸ qui revient sur ce premier travail. La physicienne et historienne des sciences Evelyn Fox Keller, a également analysé la place des métaphores¹⁸⁹ à travers le terme de gène¹⁹⁰ dans la littérature scientifique. Elle a pu tirer de ces études que le langage et les métaphores utilisées en sciences embarquent toute une partie de la recherche et conditionne les pratiques. Les mots importent en sciences de par leur pouvoir métaphorique et transformateur. Ainsi « Le langage opère sur le réel et le fait de nommer a des conséquences dont il faut répondre¹⁹¹ ». La notion d'auteur, comme ce qui nous donne la capacité de nommer les choses et qui en retour exige une certaine responsabilité de cette manière de nommer le monde se doit d'être convoquée. Comment incarner ces savoirs situés, afin potentiellement de soutenir une forme de savoir responsable ? Cette responsabilité est d'autant plus importante à questionner dans des endroits où il y a une possibilité de jouir d'une certaine puissance à la création de bio-objet qui n'existait pas auparavant et donc à cette possibilité de fabriquer des bio-objets par la bio-impression 3D. Cette puissance doit s'accompagner de responsabilité.

183 Dans son essai *Tout le monde peut être féministe**, la théoricienne féministe afro-américaine Bell Hooks donne cette définition du féminisme « Pour faire simple, le féminisme est un mouvement qui vise à mettre fin au sexisme, à l'exploitation et à l'oppression sexistes ». HOOKS, Bell, 2020. *Tout le monde peut être féministe*. divergences. Paris. p. 9. Nous partageons cette même définition.

184 Hannah ARENDT, *Condition de l'homme moderne*, p. 36.

185 Comme nous invite à le faire le philosophe Bruno Latour.

186 Hannah ARENDT, *Condition de l'homme moderne*, p. 168.

187 HARAWAY, Donna Jeanne, 1972. *THE SEARCH FOR ORGANIZING RELATIONS: AN ORGANISMIC PARADIGM IN TWENTIETH-CENTURY DEVELOPMENTAL BIOLOGY*. Yale University. Thèse de Doctorat.

188 HARAWAY, Donna Jeanne, 1976. *Crystals, fabrics, and fields: metaphors that shape embryos*. Yale University Press. New Haven and London.

189 KELLER, Evelyn Fox, *Refiguring life: Metaphors of twentieth-century biology*, Columbia University Press, 1995.

190 KELLER, Evelyn Fox et SCHMITT Stéphane, *Le siècle du gène*, Gallimard, 2003.

191 Donna HARAWAY, Laurence ALLARD, Delphine GARDEY et Nathalie MAGNAN, *Manifeste cyborg et autres essais: sciences, fictions, féminismes*. p. 123

J'ai trouvé dans le cadre du laboratoire un écho intéressant pour ce projet auprès des chercheurs investis dans le groupe de travail éthique (dont la chercheuse Lucie Baudouin assure l'animation scientifique). Pour ce groupe de travail, il ne s'agit pas d'exiger des scientifiques qu'ils s'occupent de problématiques sociales, mais qu'ils envisagent la responsabilité de leur recherche et la non-innocence présumée de leur travail. Pour cette raison, un travail sur les mots et sur les formes d'écriture au sein des pratiques scientifiques nous a semblé être une bonne hypothèse de départ. Quels sont les mots utilisés par la communauté de recherche de la bio-impression 3D et pourquoi ? Quelles formes littéraires prennent les publications ?

Penser à partir des pratiques

Dans l'ouvrage *Condition de l'homme moderne*, Arendt nous met en garde contre des réflexions sur nos manières d'agir qui seraient seulement du ressort des scientifiques. Pour la philosophe, au contraire, les développements techniques doivent être au cœur d'une réflexion plus globale et débattue collectivement. Elle écrit,

« il n'y a pas de raison de douter que nous soyons capables à présent de détruire toute vie organique sur terre. La seule question est de savoir si nous souhaitons employer dans ce sens nos nouvelles connaissances scientifiques et techniques, et l'on ne saurait en décider par des méthodes scientifiques. C'est une question politique primordiale que l'on ne peut guère, par conséquent, abandonner aux professionnels de la science ni à ceux de la politique¹⁹². »

L'enjeu de la mise en visibilité des sciences en train de se faire, et notamment des sciences puissantes, dans leur manière de créer et de façonner des mondes (que ce soit en les révélant à la manière de Pasteur¹⁹³ ou en les fabriquant avec la bio-impression 3D) est de partager au plus grand nombre ce que nous sommes effectivement en train de faire. La philosophe des sciences, Isabelle Stengers, dans son ouvrage *Résister au désastre* fait également le constat que les sciences fabriquent leurs objets. Dans cette construction, *les mots servent comme des armes placées en étendard*. Elle propose aux sciences d'« involuer ». Elle utilise un terme fort sémantiquement et incite les scientifiques à « trahir » leur rôle¹⁹⁴. Cette trahison est à comprendre comme une réhabilitation d'une forme de liberté que les scientifiques pourraient se donner à eux-mêmes, impliquant de faire une responsabilité de leurs actions. C'est une trahison pour les intérêts externes des sciences, mais pas pour la recherche de connaissance. L'exemple pris est celui des sciences écologiques. Parallèlement à Arendt, Stengers se méfie du rôle que l'on peut donner aux scientifiques pour la prise de décision, non pas car ils seraient scientifiques, mais, car les sciences écologiques exigent d'autres manières de faire science qui ne soit pas celle d'un arbitrage, d'une production d'innovation ou encore celle d'une illumination par la raison. Ces réflexions ont nourri mes réflexions et se sont incarnées en deux points : l'accès libre qui permet une

192 Hannah ARENDT, *Condition de l'homme moderne*.

193 LATOUR, Bruno, 2012. *Pasteur: guerre et paix des microbes: Suivi de Irréductions*. La découverte.

194 STENGERS, Isabelle, MARIN, Schaffner et HACHE, Emilie, 2019. *Résister au désastre : dialogue avec Marin Schaffner*. Wildproject Editions. Semipoche. p. 57

prise de connaissance de la part du public à ces sujets et la possibilité de publier sous des formes inhabituelles pour la recherche universitaire.

Le pari du Codex

Dans ce contexte d'élaboration du savoir, nous avons imaginé un médium numérique, une forme de glossaire en ligne contributif s'appuyant sur les termes de la bio-impression 3D. Nous avons proposé la conception d'un médium dialogique et réflexif pour favoriser une culture technique au sein des communautés de la bio-impression 3D s'appuyant sur un comité scientifique pluridisciplinaire, au sein d'un processus itératif et sur un mode de design contributif et numérique. Nous verrons comment nous avons initié ces hypothèses de travail et les choix de réalisation du projet dans la partie suivante. Le terme dialogique vient du grec ancien *διαλογικός* (dialogikos) qui signifie « en forme de dialogue » dérivé de *διάλογος* (dialogos), « discussion ». L'exemple connu de format dialogique est les dialogues de Platon. Media, en latin, est le pluriel de medium qui signifie « milieu, intermédiaire ». C'est donc un milieu propre d'où peut surgir du dialogue, que ce soit en lui, à travers lui ou à partir de lui. La notion de dialogique a un intérêt évident dans un travail interdisciplinaire en ce qu'elle rend l'objet de la recherche discutable. Ainsi, selon Edgar Morin et Jean-Louis Le Moigne « le principe dialogique unit les deux principes ou notions antagonistes, qui apparemment devraient se repousser l'un l'autre, mais qui sont indissociables et indispensables pour comprendre une même réalité »¹⁹⁵. Plus loin, pour le philosophe Denis Vernant « Le dialogue authentique devient cet "espace logique" [...] dans lequel les interlocuteurs se constituent comme personnes, parviennent à construire une connaissance mutuelle et établissent de concert un rapport au monde »¹⁹⁶. C'est un processus ouvert qui a pour caractère l'imprévisibilité de l'échange dialogique. À ceci près qu'il s'agit d'un dialogue écrit : ainsi contrairement à un dialogue oral, la structure du texte peut être modifiée a posteriori et le « dialogue » monté de toute pièce. Tous les media ne sont pas dialogiques en ce qu'ils ne permettent pas toujours d'interagir et de répondre d'une information proposée. L'écriture est un médium pour le poète qui permet de partager une expérience sensible du monde et à son lecteur de la recevoir, pour autant, le lecteur et le poète se sont pas nécessairement dans un dialogue réciproque.

195 MORIN, Edgar et MOIGNE, Jean Louis Le, 1999. *L'intelligence de la Complexité*. Editions L'Harmattan. p. 254

196 DENIS, Vernant, 1997. *Du discours à l'action. Études pragmatiques*, Presses universitaires de France, Paris.

3. Vers un Codex de la bio-impression 3D

L'implémentation de la recherche-création s'est faite au sein un groupe de travail de disciplines et compétences différentes venant des sciences de l'ingénierie, SHS, membres du laboratoire et équipe informatique. C'est un aspect singulier de ce travail de recherche. J'ai travaillé en effet ces hypothèses au sein du laboratoire (LAAS-CNRS) en associant d'autres chercheurs directement impliqués dans des thématiques de recherche de la bio-impression 3D, le Service Information Scientifique et Technique impliqué dans les pratiques de publication scientifique ainsi que la Plate-forme Ingénierie Informatique.¹⁹⁷ Ce groupe de personnes a eu différents rôles au sein de cette étude : le rôle de co-concepteur, de comité technique et scientifique ainsi que d'usager du *Codex de la bio-impression 3D*. Je vais présenter dans cette partie deux moments de la réalisation du *Codex de la bio-impression 3D*. Le premier moment concerne la méthodologie de travail que j'ai mise en place au sein de ce groupe interdisciplinaire. Le second moment concerne un temps de réalisation avec les équipes informatiques d'un logiciel permettant, selon nous, de répondre aux hypothèses posées dans ce chapitre. J'utiliserai par la suite l'expression médium dialogique pour décrire le *Codex de la bio-impression 3D*. Nous reviendrons sur l'expression « Codex » plus loin dans le chapitre.

Un processus itératif marqué par des objets intermédiaires

Le 21 juin 2018, le philosophe des techniques, Xavier Guchet, et le groupe de travail éthique du laboratoire ont entamé une réflexion autour du thème du *bioprinting*. Ce point de départ a constitué une opportunité pour mon travail de recherche. Suite à cette première rencontre, nous avons partagé la lecture d'une version de soumission de l'article « Nanotechnologies et ingénierie du foie bioartificiel. Une autre idée de la "convergence technologique" » au sein de l'équipe.

Des objets transitoires

À partir de ce texte, nous avons amorcé une réflexion autour de la bio-impression 3D qui a pris la forme de plusieurs textes, d'un « jeu de cartes » (fig. 22), de réunions de travail (fig. 23), d'un poster (fig. 24), d'un glossaire (fig. 25), avant d'aboutir aux premières maquettes¹⁹⁸ d'un médium de publication contributif et ouvert dont nous expliquerons les choix de conception un peu plus loin. Le terme d'« objet transitoire » est utilisé par l'anthropologue Dominique Vinck afin de décrire un ensemble d'objets non finalisés tels que des « dessins, de[s] maquettes en carton ou en pâte à modeler, de[s] prototypes,

197 Les chercheurs impliqués dans la réflexion de ce médium viennent de champs très différents : équipe ELiA du LAAS-CNRS (Christophe Vieu, Laurent Malaquin), groupe de travail éthique du LAAS-CNRS (Lucie Baudouin, Malik Ghallab, Fabien Mesnilgrete, Julie Foncy), Emilie Marchand (responsable documentation du LAAS-CNRS), équipes informatiques du LAAS-CNRS (Jean-Marc Larré et Christophe Zanon) et un chercheur de l'UTC Compiègne (Xavier Guchet).

198 Ce que j'appelle maquette à ce stade du projet est un ensemble de schémas représentant ce que pourrait être le médium de publication, appelé parfois « mockup » dans le langage du design d'interaction.

de[s] pièces cassées, de[s] listings et de[s] copies d'écran »¹⁹⁹. Dans ce même article, Vinck revient sur l'historicité de ce terme, issue des recherches en sociologie des sciences qui sont initialement utilisées pour décrire des « choses » qui circulent entre les membres d'un réseau de chercheurs allant du courriel (email) à la plateforme technologique (salle blanche) en passant par la circulation de dose de sang. Pour Vinck, ces objets « participent à la construction de compromis et de savoirs partagés entre les acteurs²⁰⁰ ». Un premier glossaire s'est formé à la suite d'une première réunion du groupe de travail du Codex (décembre 2018). Après ce premier travail, nous avons présenté ce projet de glossaire lors d'une journée d'étude à l'UTC Compiègne²⁰¹. Lors des discussions avec la salle, l'idée d'un glossaire numérique a pris forme.



Figure 22 — : Recherches pour un jeu de cartes autour des termes (carte glossaire), pratiques (carte inspiration), récits (carte imaginaire), stratégie de conception, valeurs de la bio-impression 3D

199 VINCK, Dominique, 2009. De l'objet intermédiaire à l'objet-frontière. *Revue d'anthropologie des connaissances*. 2009. Vol. 3, n° 1, pp. 51-72.

200 Dominique VINCK, De l'objet intermédiaire à l'objet-frontière. *Revue d'anthropologie des connaissances*. p.59

201 BAUDOUIN Lucie, RIGOT Élise, VIEU Christophe « Authentifier la bio-impression 3D », communication dans le cadre de la journée d'étude « Health & Care Technologies : La bio-impression 3D en ingénierie tissulaire. Défis et questions », dir. Cécile Legallais, Xavier Guchet, Costech et BMBI, Université de Technologie de Compiègne, 19 juin 2019



Figure 23 — : Photographie d'une séance de travail avec un test du jeu de cartes, de gauche à droite : Lucie Baudouin, Fabien Mesnilgrete, Laurent Malaquin et Christophe Vieu

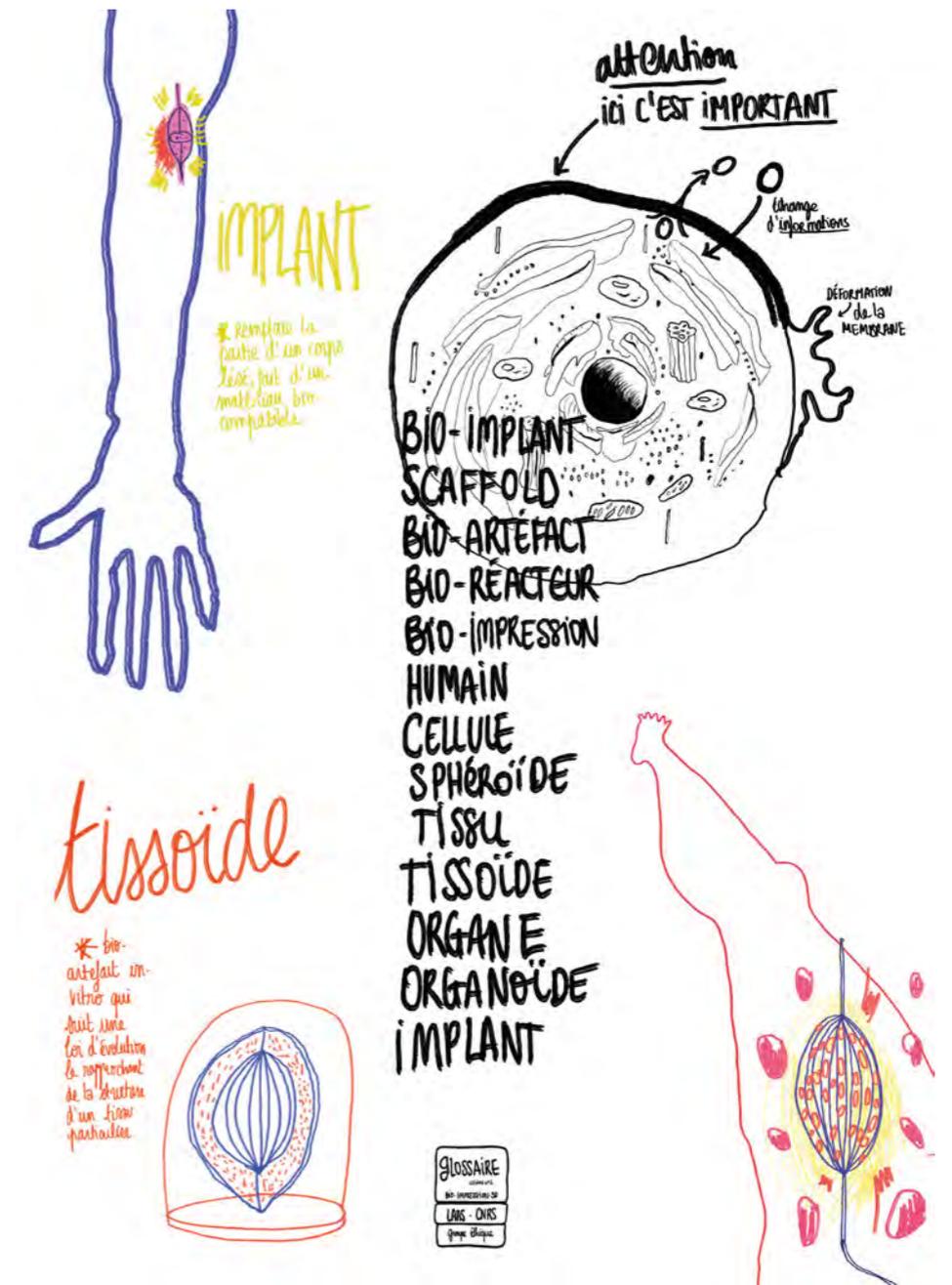


Figure 24 — : Dos du poster pour un glossaire sur la bio-impression 3D réalisé dans le cadre de la journée d'étude «Health & Care Technologies : La bio-impression 3D en ingénierie tissulaire. Défis et questions», dir. Cécile Legallais, Xavier Guchet, Costech et BMBI, Université de Technologie de Compiègne, 19 juin 2019

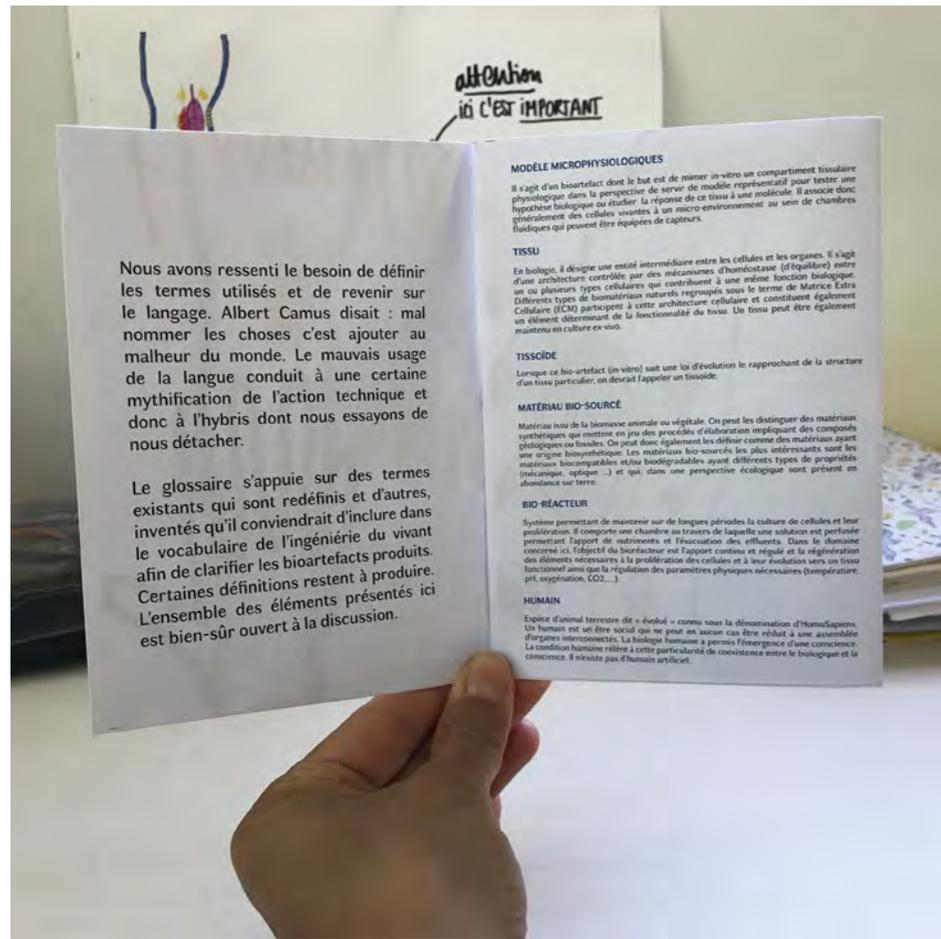


Figure 25 — : Intérieur du poster pour un glossaire sur la bio-impression 3D réalisé dans le cadre de la journée d'étude «Health & Care Technologies : La bio-impression 3D en ingénierie tissulaire. Défis et questions», dir. Cécile Legallais, Xavier Guchet, Costech et BMBI, Université de Technologie de Compiègne, 19 juin 2019

Cette notion permet d'envisager les « choses » produites dans le cadre du *Codex de la bio-impression 3D* comme des étapes de travail toujours ouvertes, appropriables et en devenir. Dans notre cas, ces choses concernent : des dessins de principe, des diagrammes, un jeu de cartes, des illustrations, des communications durant des journées d'étude, des présentations, des comptes-rendus, des maquettes de principe, des mock-up, des comptes-rendus graphiques, etc. Ces différents objets transitoires sont présentés comme des étapes de travail permettant petit à petit d'affiner la piste du medium dialogique **figure 26**.

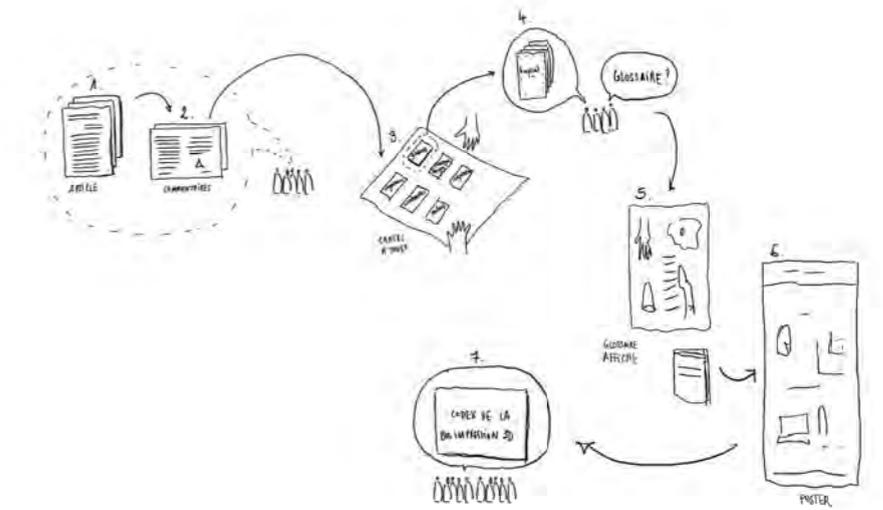


Figure 26 — : Différents objets intermédiaires créés durant le processus du projet Codex de la bio-impression 3D

Nous présentons **figure 27** différentes étapes de travail du *Codex de la bio-impression 3D*. La recherche est toujours en cours au moment où nous rédigeons ce manuscrit et nous expliciterons dans la partie perspective les futures étapes. Le projet a débuté au tout début de mon doctorat, en octobre 2018, il a fallu environ deux ans pour concevoir et mettre en ligne une première version du medium dialogique et trois ans pour avoir une version un peu plus robuste. Il y a un décalage entre le temps d'un doctorat et le temps de réalisation d'une proposition de recherche.

Les objets transitoires générés lors du processus de genèse du *Codex* mélangent les formats de la recherche académique et le design d'interface. Lors de la thèse, il était intéressant d'utiliser les formes de la recherche et d'y intégrer petit à petit des formes propres à la pratique du design pour garder un cadre de travail commun. La plupart des contributions décrites **figure 27** concernent des travaux de groupe, qui sont volontairement commun, car il s'agit aussi de voir comment sciences sociales (design, philosophie des techniques), équipes opérationnelles (ingénieurs, service informatique, service édition), et chercheurs (ingénierie, physique, chimie, etc.) peuvent co-concevoir ensemble et permettre une réelle co-évolution des propositions concernant un média dialogique à venir. D'un côté on peut lister : article de recherche, réunion de travail, communication, séminaire, poster. Et de l'autre : illustration, atelier collectif, media design.

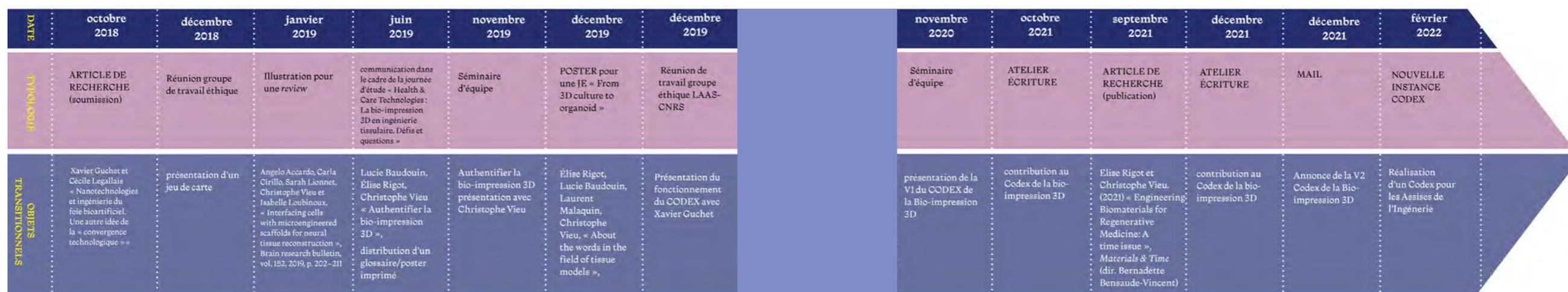


Figure 27 — : Frise temporelle de la recherche-crédation du Codex avec les différents objets intermédiaires

Vers un outil de publication contributif et ouvert

La question de la définition des concepts a été pointée du doigt lors d'un séminaire d'équipe²⁰² : « telle est ta définition » remarquait une biologiste de l'équipe à un chercheur physicien. La définition qui valait argument d'autorité devenait alors disciplinaire. Ce qui était vrai pour le physicien ne l'était pas forcément pour le biologiste et réciproquement. Dans le domaine de la bio-impression 3D, transdisciplinaire par nécessité, des problèmes de définitions peuvent mener à des impasses importantes pour la publication des résultats. Ce n'est donc pas tellement d'une définition qu'il s'agit d'édicter, de normer, afin que l'on évite de lire dans des publications scientifiques que l'on imprime un « cœur »²⁰³, mais il s'agit de mettre en œuvre un réseau de sens à l'égard d'une communauté non disciplinaire en pleine émergence. Plus que de définitions, il s'agit de créer un espace de dialogue autour des pratiques pour structurer la réflexion sur la « science en train de se faire »²⁰⁴. Ainsi nous nous sommes mis en quête de créer un médium dialogique répondant à nos hypothèses de travail.

Pour concevoir ce médium dialogique, nous avons réfléchi aux modes de visualisation des contributions (figure 28) et à l'agencement de la base de données (figure 29).

202 Élise Rigot, Christophe Vieu, Séminaire d'équipe, « Authentifier la bio-impression 3D », LAAS-CNRS, 18 novembre 2019

203 Nadav Noor, Assaf Shapira, Reuven Edri, Idan Gal, Lior Wertheim et Tal Dvir, 2019. « 3D Printing of Personalized Thick and Perfusable Cardiac Patches and Hearts », *Advanced Science*, vol. 6, no 11.

204 LATOUR, Bruno, 1987. *La science en action: introduction à la sociologie des sciences*. La Découverte.

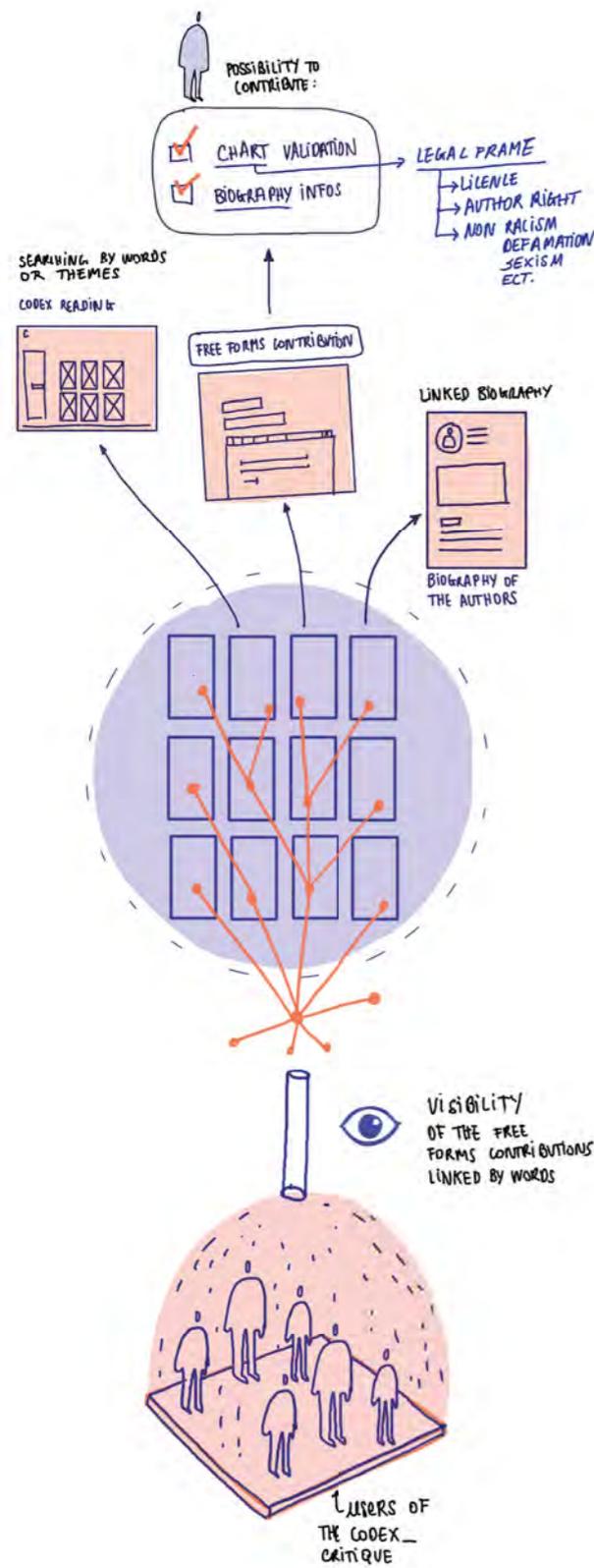


Figure 28 — : Représentation schématique des modes de visualisations et de contributions permis par le Codex.

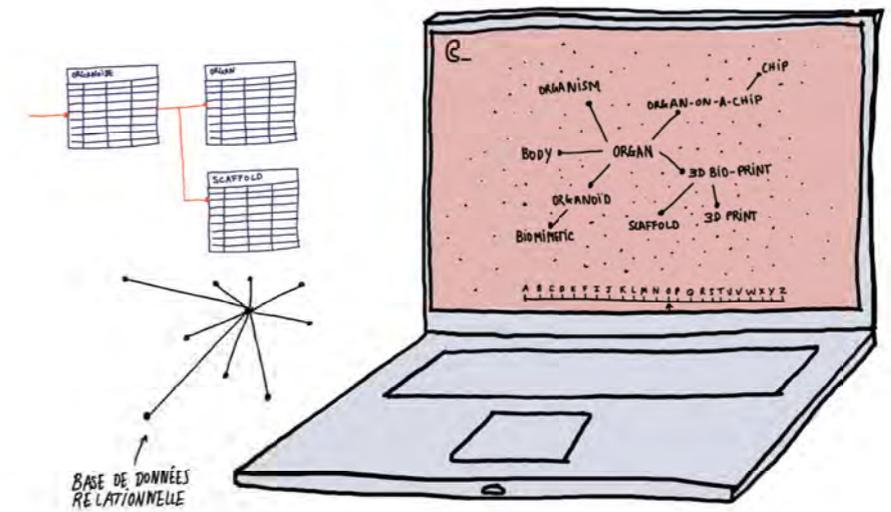
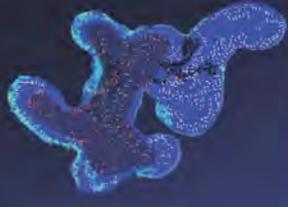


Figure 29 — : Illustration de la connexion de termes de la base de données en visualisation sur navigateur

Nous avons pu partager (**figure 30**) ces hypothèses de travail lors d'une journée d'étude²⁰⁵ organisée à la faculté de médecine de la Sorbonne permettant de valider un intérêt de la part d'autres parties prenantes (médecins) des sujets de la bio-impression 3D pour partager une réflexion sur les mots de la bio-impression 3D à travers un outil de publication numérique et contributif.

205 RIGOT, BAUDOIN Lucie, MALAQUIN Laurent, VIEU Christophe, « *About the words in the field of tissue models* », poster présenté à la journée d'étude « From 3D culture to organoid » dir. Joëlle Amédée, Jean-Luc Galzi, Jérôme Sohler, Corinne Sébastiani, Faculté de médecine, Sorbonne Université, 105 Bld de l'Hôpital 75013 Paris, 2 décembre 2019



A CRITICAL CODEX_

Words in the field of model tissues

RIGOT Elise^{1,2}, BAUDOUIN Lucie¹, MALAQUIN Laurent¹, VIEU Christophe¹
¹LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, INSA, Toulouse, France
²LLA-CREATIS, Université Toulouse - Jean Jaurès, Toulouse, France

Why do we need to reflect about words in the field of tissue model?

Tissueoids, Organoids, Human-on-a-chip, Organ-on-a-chip, Scaffold, Bio-reactors, etc. How to find the good and precise words to describe technical object? What are we producing when we try to mimic a human heart with 3D-bioprinting? Is it right to say we are crafting an «organ»? **Words matter.**

Language is our power to shape reality. Thus, our power as scientists is link to ethical issues that we must think. **Think we must.**

General objectives

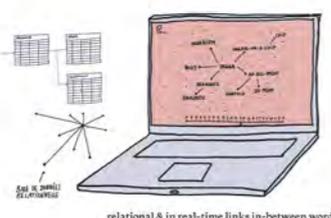
- To structure ethical and social reflexion about science's issues
- To provoke dialogue in a non-normative manner
- To provide a dialogic tool within the interdisciplinary field of tissue models (biology, medicine, philosophy, physics, engineering, etc.)
- To provide a space of active reflexion through actors inbetween human & social science and «hard»science.



«What I propose, therefore, is very simple: it is nothing more than to think what we are doing.»
Hannah Arendt, Conditions de l'Homme moderne (1958)

Digital platform:

The critical Codex_ of 3D bio-printing is an interdisciplinary digital publishing project. It is based on a (web application) & a (database). It allows the various researchers involved in the field of tissue model to propose definitions and free contributions around their practices in an open-access and open-source format.



relational & in real-time links in-between words

Technical environment:

Database in develop by under Django. (with @ Jean-Marc Lacroix)
 The web application is under HTML and CSS languages.
 Contributions and software's codes are in Licence creative commons CC-BY-SA.
 CODEX is under development at the adress: <http://codex.laas.fr>
 CODEX is a project based in LAAS-CNRS within the activities of the ethical group (not a comity) of the laboratory.

User Experience & User Interface (design) research:

UX & UI is willing to be non-normative and based on a chart signed by every contributor of the Codex_.

After subscription, the user can directly publish and edit codex's content. He can: read the codex, have an access to the biography of the author, contribute with free forms such as definition, essay, dissertation, fiction, illustration, etc.

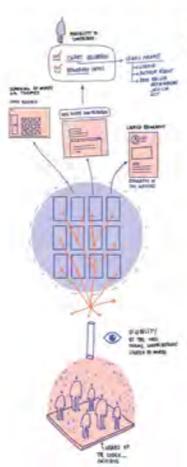
The database permits an automatic & numerical edition such as biography, web-to-print and exports of citation in-between contributions & quote.



Editorial tool: Web-to-print, citation & page layout

Direct online publishing:

- 1) biography informations
- 2) chart's validation
- 3) contribution & publication



Want to contribute? Contact us:

erigot@laas.fr
 or write your contact here:

Typography credits: Tintin @ PlumeFontFactory @ FontFont.com (CC0)
 Graphism & illustrations credits: JF Eloukgui
 Les amis & lailler

Proposition : un médium dialogique

Afin de tester les hypothèses de travail précitées, j'ai conçu un glossaire numérique, à l'aide de l'équipe informatique du LAAS-CNRS et avec l'appui des chercheurs de l'équipe. Ainsi, nous avons testé une expérience d'écriture en ligne à partir d'une situation de recherche précise sur les termes d'un champ de recherche en cours de structuration, celui de la bio-impression 3D. Dans cette partie nous exposerons le *Codex* que nous avons conçu, en passant par les intentions, la démarche et les choix techniques.

Il y a un écart entre le projet, c'est-à-dire la projection que nous avons et la réalisation, qui s'explique par plusieurs points. Le premier point, évident, c'est que la réalisation du projet se fait toujours avec un écart avec la projection, le design en ce sens déforme l'intention première pour l'informer dans la réalité matérielle. Le second point tient au budget. Nous avons bénéficié d'un accompagnement technique de la part des ingénieurs informatiques du LAAS-CNRS (avec un contrat d'apprentissage et un stagiaire) et d'une aide pour la conception UX/UI. Outre cette aide, aucun budget n'a été dégagé pour réaliser le *Codex*. Le troisième point est temporel, la mise au point des divers codes avec l'équipe informatique a pris du temps, un temps de travail et de dialogue pour mettre au point différents cahiers des charges. Nous avons réussi à aboutir au cahier des charges de la version 1 au terme de cette thèse de doctorat. Le cahier des charges impliquant un mode de visualisation relationnelle avec un algorithme de type intelligence artificielle n'a pas pu être mis en place, ainsi qu'un certain nombre de fonctionnalités que nous avons l'ambition d'implémenter initialement.

Proposition de départ

J'ai proposé de travailler ces questions à l'aide d'un médium dialogique appelé *Codex* de la bio-impression 3D. Le terme de dialogue concerne la mise en conversation de plusieurs positions et définitions de la part des contributeurs du *Codex*. Le terme de médium quant à lui fait référence à la médiation opérée par le *Codex*, qui agrège et rend public différents types de contenu. Ce médium dialogique a la particularité d'être thématique, puisqu'il ne concerne que les pratiques de la bio-impression 3D et son but est de faire entrer en dialogue les divers acteurs de cette communauté hétérogène afin de clarifier les démarches, les postures et de partager les pratiques.

Figure 30 — : Poster présenté à la journée d'étude «From 3D culture to organoid» dir. Joëlle Amédée, Jean-Luc Galzi, Jérôme Sohler, Corinne Sébastiani, Faculté de médecine, Sorbonne Université, 105 Bld de l'Hôpital 75013 Paris, 2 décembre 2019 par Elise Rigot, Lucie Baudouin, Laurent Malaquin, Christophe Vieu, «About the words in the field of tissue models»

Intentions et motivations initiales

Dans le domaine convergent des organoïdes, de la médecine régénérative, de l'ingénierie tissulaire, de la bio-impression et de la microfluidique, les scientifiques utilisent dans leurs publications une grande variété de mots pour décrire les artefacts qu'ils produisent. Certains de ces mots appartiennent au vocabulaire conventionnel, d'autres sont des néologismes créés à dessein. L'utilisation de ce champ lexical original révèle des imaginaires et des visées qui soulèvent des questions à la fois épistémiques et éthiques. D'une part, les termes choisis véhiculent souvent une vision spécifique du vivant et d'autre part, les dénominations employées ne décrivent pas correctement l'ontologie réelle des artefacts produits. Dans ce contexte, notre objectif est de proposer l'édition numérique d'un codex critique sur les organoïdes, la bio-impression et les sujets connexes. Cette approche interdisciplinaire vise un glossaire en libre accès et une plateforme numérique collaborative permettant aux scientifiques du domaine de discuter de leurs pratiques et du lexique associé.

Le terme de « Codex » est polysémique. Il désigne l'ancêtre antique du livre fait de feuilles cousues ensemble. C'est également un produit qui respecte les normes et l'ancien nom de la pharmacopée française. Cette polysémie de sens nous a semblé intéressante pour nommer un médium qui se veut « non-normatif » et interroge les modes de publication et d'écriture de la recherche (en tant que mise en visibilité des sciences). Le premier sens de ce terme est particulièrement intéressant à notre sens, car il insiste sur l'idée d'une addition de feuillets, qui ensemble constituent un « objet » à part entière. Nous verrons que cette addition polyforme et poly-auteur est au cœur du mode de fonctionnement du *Codex*. C'est une polyphonie de voix émanant d'expériences variées et de points de vue complémentaires qui conduisent la manière dont j'ai conçu ce projet. Plusieurs motivations et intérêts concernent la recherche sur le *Codex*, nous les listons ici :

1. Une recherche sur le langage de la bio-impression 3D
2. Une recherche sur les formats de publication scientifique
3. Une réflexion sur la notion de responsabilité
4. L'intégration de la réflexion éthique dans les pratiques techno-scientifiques

Ces préoccupations ont guidé les choix techniques et les formes de propositions du *Codex*.

Choix techniques et graphiques

Choix graphiques

Le designer graphique Mathieu Estivill à travers son agence de communication 221B m'a aidé à fournir une version plus finalisée du *Codex*, afin que son interface soit attrayante et fonctionnelle pour les utilisateurs. La version en cours du *Codex* repose sur une seule couleur (violet vibrant) et des variations de transparence afin de créer une cohérence visuelle. Les codes graphiques d'une interface de logiciel ont été repris par l'usage de boutons et de cadre bien marqué à l'intérieur du site. La police de caractère Plex (IBM, Mike Abbink × Bold Monday, 2017-2018)²⁰⁶ a été utilisée pour sa versatilité et car elle

est libre de droits. En effet elle offre un très large choix de styles (quatre sous-familles, deux styles et huit épaisseurs) permettant de n'avoir qu'une seule police pour tout le site, tout en ayant un éventail de possibilités graphique important. IBM défend leurs choix de dessins de caractère comme une alliance entre l'ingénierie et le naturel, ce qui correspond symboliquement très bien au domaine de la bio-impression 3D, tout en restant très proche d'une interface de logiciel, permettant de penser les usages du *Codex* pour d'autres communautés de recherche.

Le Logo pensé en concertation avec l'agence 221B (figure 31) représente des feuillets superposés qui s'alimentent à l'infini, reprenant la définition du *Codex* comme des feuillets liés les uns aux autres. Le « c » de *Codex* est inséré dans un espace aux proportions d'une feuille A4 et indique bien le caractère duplication du *Codex*. En effet, la charte graphique n'a pas été pensée pour le seul usage d'un *Codex* de la bio-impression 3D.



Figure 31 — : Logo du *Codex* réalisé par l'agence 221B

Choix techniques

Nous tenons à ne pas imposer un médium aux pratiques, mais à laisser le médium s'adapter aux usages au fur et à mesure des mises à jour du logiciel. Les outils de conception du logiciel sont ceux utilisés par les développeurs du laboratoire (CMS DJANGO) et s'appuient sur un environnement technique géré par le LAAS-CNRS. Si nous avons conçu le cahier des charges avec les développeurs, nous estimons dans le contexte précis qui nous occupe qu'il n'est pas du rôle du designer d'imposer les langages de programmation qui seront employés dans le logiciel. L'ensemble du projet s'appuie sur des logiciels open source et le logiciel sera lui-même répliquable pour d'autres besoins.

Nous avons en effet pensé ce médium de manière générique (code en *open source*) pouvant s'adapter à d'autres thématiques de recherche méritant d'être ouverte au public ou fermée s'ils s'agissait par exemple de structurer une réflexion éthique (en interne) au sein d'un laboratoire où l'on voudrait préserver le débat d'une lecture extérieure.

Avec l'équipe informatique du LAAS-CNRS, il a été décidé l'utilisation d'un *content*

²⁰⁶ IBM Plex, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 23 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.ibm.com/plex/concept/www.ibm.com/plex>

management system²⁰⁷ (CMS) afin de pouvoir gérer le contenu de Codex par brique fonctionnelle et laisser une relative autonomie au comité technique qui pourra modifier le contenu textuel du médium au fur et à mesure de son usage. Le CMS est ensuite intégré dans un site web vitrine qui donne à voir les contributions du Codex selon deux sections : des définitions et des contributions libres.

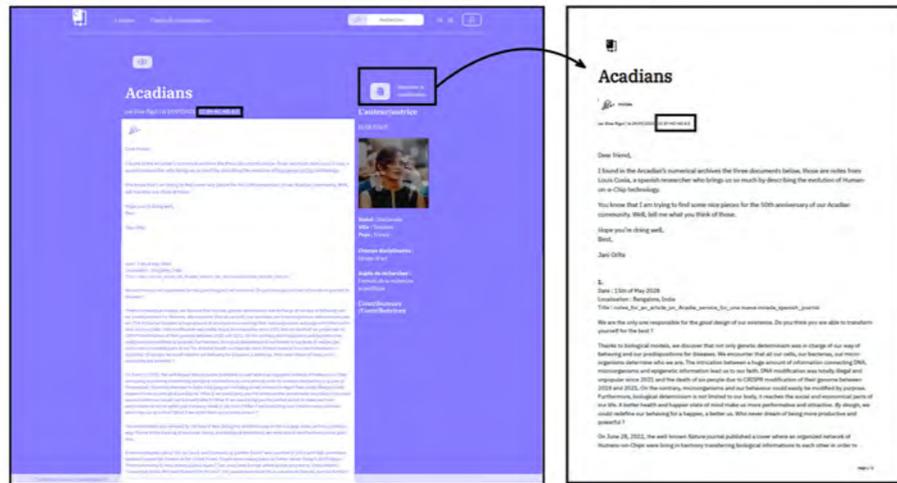


Figure 32 — : Captures d'écran explicitant la fonction web-to-print pour imprimer les contributions et/ou les télécharger en format .pdf. Un encadré souligne la licence utilisée CC-BY-NC-ND 4.0 signifiant : Attribution — Pas d'Utilisation Commerciale — Pas de Modification

Au sein de ce site web consultatif, nous avons implémenté une option *web-to-print* (fig. 32) pour permettre une perméabilité entre les contributions numériques et une circulation papier.²⁰⁸ Le chercheur Saul Pandelakis a proposé le format des tracts de recherche²⁰⁹ pour cette même raison. Nous avons également implémenté une option qui permet de garder en mémoire dans une sorte de Codex personnel différentes contributions. À terme, nous pouvons imaginer qu'il sera possible d'éditer un feuillet de ces différentes contributions afin « d'imprimer son Codex de la bio-impression 3D » (figure 33).



Figure 33 — : Capture écran explicitant la fonction «ajouter à mon codex» et suggestion d'une amélioration pour pouvoir imprimer son Codex personnel directement depuis les contributions gardées dans son Codex personnel (sorte de fonction «favoris»)

Profils utilisateurs

Différents profils utilisateurs sont envisagés pour la navigation du site en fonction de l'accessibilité à différentes fonctions. Ces accès sont combinables et sont présentés hiérarchiquement ici en fonction de l'accessibilité aux informations : Anonymes (A), Lecteurs (L), Contributeurs (C), Évaluateurs (E), Comité de rédaction (CR). Le comité de rédaction, quant à lui, est composé de : Rédacteurs (R), Secrétaires (S), Responsables de la mise en ligne (RL) et Contributeurs (C).

Nous avons envisagé un processus d'évaluation nécessitant l'approbation de deux évaluateurs pour la validation d'une contribution (le Comité de Rédaction Scientifique est par défaut évaluateur et contributeur). Cette dernière ne se ferait pas à l'aveugle, mais de façon plus ouverte, comme dans une discussion entre le contributeur et les deux évaluateurs. Le schéma ci-dessous (figure 34) résume ce processus d'évaluation.

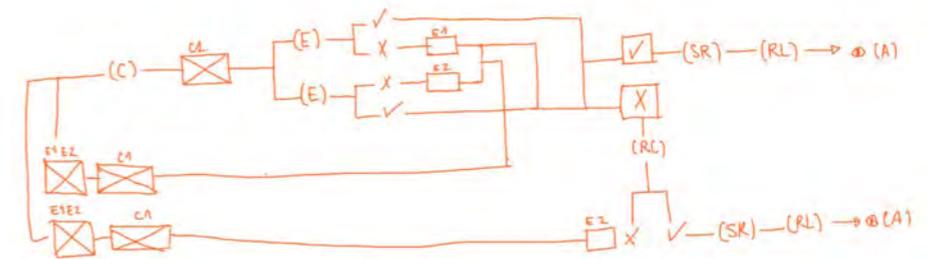


Figure 34 — : Schéma du processus d'évaluation et de validation d'une contribution au Codex de la bio-impression 3D.

Ces processus d'évaluation et de contribution n'ont pas été testés à ce stade du projet. Le nombre réduit de contributions n'a pas requis la mise en place de cette organisation.

207 Le choix technique du code se fait en collaboration avec les équipes informatiques du LAAS-CNRS et des décisions du laboratoire qui décide d'utiliser le CMS DJANGO dans le futur développement de ses solutions logicielles.

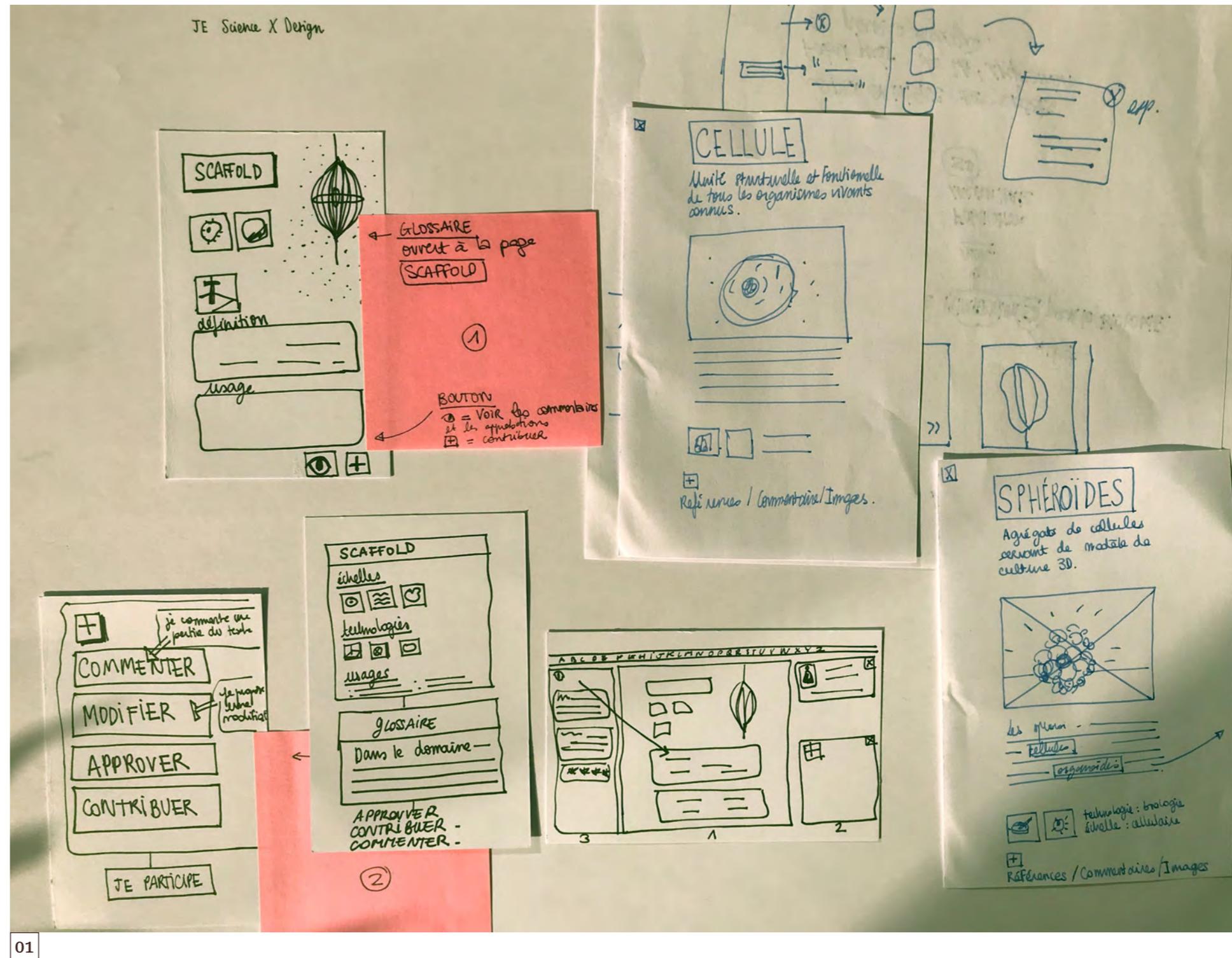
208 La collection récente des Tracts Gallimard utilise un type de format papier peu coûteux et peu volumineux pour permettre une grande circulation des textes. Tracts — GALLIMARD — Site Gallimard, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 28 avril 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.gallimard.fr/Catalogue/GALLIMARD/Tracts#>

209 PANDELAKIS, Saul. 2018. « Prendre soin, prendre pouvoir : design en cuisine & empowerment » tract de recherche auto-publié.

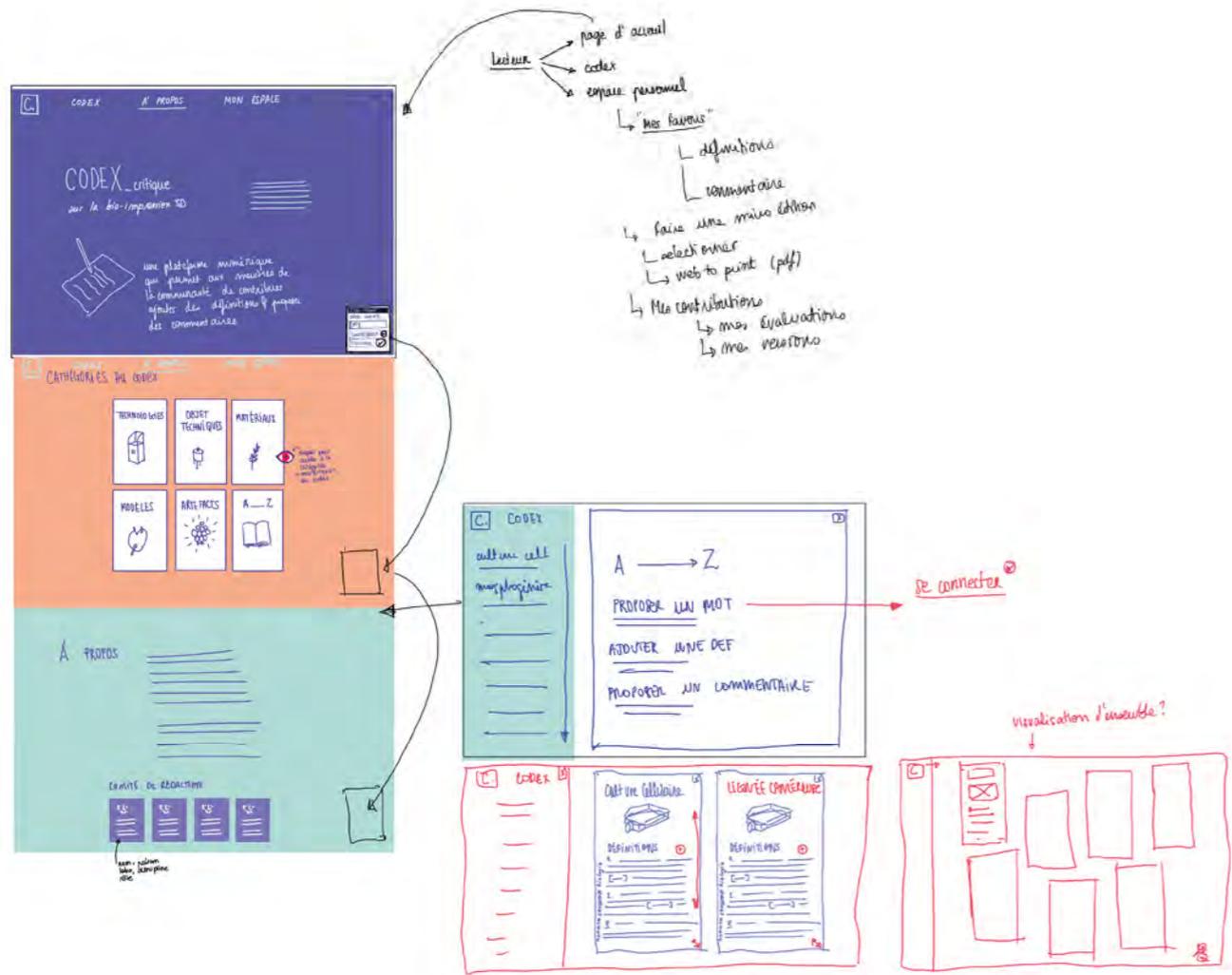
Cahier d'images

Le cahier d'images ci-dessous expose les diverses versions de travail du Codex de la bio-impression 3D, comprenant dessins d'intention, premières maquettes web et capture d'écran du site actuel. Nous avons volontairement fait apparaître des esquisses de travail, dont le contenu est hypothétique et sert seulement à travailler la mise en forme du Codex.

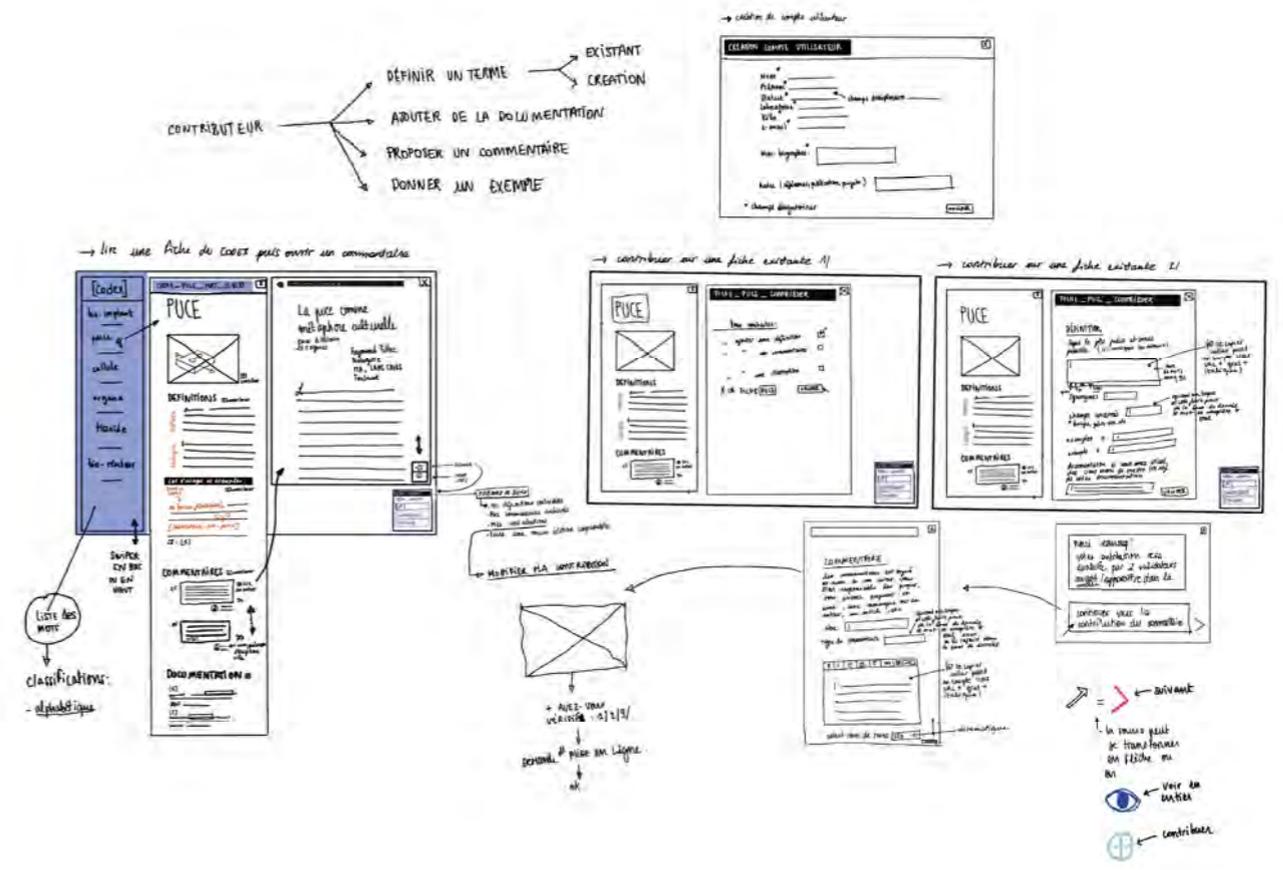
Nous invitons le lecteur à faire un tour sur le site du Codex de la bio-impression 3D au lien URL : <https://codex.laas.fr/fr/>



01



02

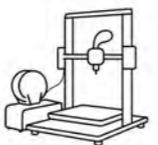


03

codex à propos parcours comité de rédaction

CELLULE
TISSU
ORGANE
SPHÉROÏDES
BIO-ARTEFACT
MODÈLE
MICROPHYSIOLOGIQUES
TISSOÏDE
ORGANOÏDE
bio-impression 3D
IMPLANT
BIO-IMPLANT
PUCE
SCAFFOLD
BIO-RÉACTEUR
MATÉRIAU BIO-SOURCÉ

BIO-IMPRESSON 3D : définitions



DEFINITION TECHNOLOGIE
La bio-impression 3D est la transposition des procédés de fabrication additive dans le domaine de l'ingénierie tissulaire.

USAGE 1.
Elle vise à fabriquer, par divers procédés d'impression couche par couche, des structures hybrides hautement organisées combinant cellules et biomatériaux.

EXEMPLE 1.
Régénération de tissus endommagés.

EXEMPLE 2.
Construction d'organes bio-artificiels à l'aide de méthodes multi-physiques et multi-échelles.

BIO-IMPRESSON 3D : contributions

titre	auteur	typologie
Bio-impimpression 3D d'organes	Xavier Guichet	usage physiologique
Bio-impimpression 3D d'organes	Xavier Guichet	usage physiologique
Bio-impimpression 3D d'organes	Xavier Guichet	usage physiologique

se connecter
contribuer
évaluer
mon compte
recherche par mots clefs

04

CODEX critique sur la bio-impression 3D

CELLULE
TISSU
ORGANE
SPHÉROÏDES
BIO-ARTEFACT
MODÈLE
MICROPHYSIOLOGIQUES
TISSOÏDE
ORGANOÏDE
BIO-IMPRESSON 3D
IMPLANT
BIO-IMPLANT

Sphéroïde Sphéroïde Sphéroïde Sphéroïde Sphéroïde Sphéroïde




Sphéroïde Sphéroïde Sphéroïde Sphéroïde Sphéroïde Sphéroïde

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

05

CODEX_critique
sur la bio-impression 3D

BIO IMPRESSION 3D : définitions



SENS 1. TECHNOLOGIE
La bio-impression 3D est la transposition des procédés de fabrication additive dans le domaine de l'ingénierie tissulaire.

USAGE 1.
Elle vise à fabriquer, par divers procédés d'impression couche par couche, des structures hybrides hautement organisées combinant cellules et biomatériaux.

EXEMPLE 1.
Régénération de tissus endommagés.

EXEMPLE 2.
Construction d'organes bio-artificiels à l'aide de méthodes multi-physiques et multi-échelles.

RESOLUTION / ECHELLE.
» Bio-compatibilité

QUESTIONS DE RECHERCHE
» Bio-compatibilité

BIBLIOGRAPHIE
3D bioprinting – An Ethical, Legal and Social Aspects (ELSA) framework – ScienceDirect. (s. d.). Consulté 28 octobre 2018, à l'adresse <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405886616300021>

BIO IMPRESSION 3D : contributions libres

Améliorer ?
Si la possibilité de réparer l'homme au plus finement est une avancée majeure pour la médecine régénératrice, quand est-il des possibilités d'améliorer l'humain ?
Telle est souvent la question posée dans le débat. Cette question contient en elle-même

Améliorer ?
Si la possibilité de réparer l'homme au plus finement est une avancée majeure pour la médecine régénératrice, quand est-il des possibilités d'améliorer l'humain ?
Telle est souvent la question posée dans le débat. Cette question contient en elle-même

Améliorer ?
Si la possibilité de réparer l'homme au plus finement est une avancée majeure pour la médecine régénératrice, quand est-il des possibilités d'améliorer l'humain ?
Telle est souvent la question posée dans le débat. Cette question contient en elle-même

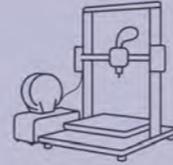
Améliorer ?
Si la possibilité de réparer l'homme au plus finement est une avancée majeure pour la médecine régénératrice, quand est-il des possibilités d'améliorer l'humain ?
Telle est souvent la question posée dans le débat. Cette question contient en elle-même

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

06

CODEX_critique
sur la bio-impression 3D

BIO IMPRESSION 3D : définitions



SENS 1. TECHNOLOGIE
La bio-impression 3D est la transposition des procédés de fabrication additive dans le domaine de l'ingénierie tissulaire.

USAGE 1.
Elle vise à fabriquer, par divers procédés d'impression couche par couche, des structures hybrides hautement organisées combinant cellules et biomatériaux.

EXEMPLE 1.
Régénération de tissus endommagés.

EXEMPLE 2.
Construction d'organes bio-artificiels à l'aide de méthodes multi-physiques et multi-échelles.

RESOLUTION / ECHELLE.
» Bio-compatibilité

QUESTIONS DE RECHERCHE
» Bio-compatibilité

BIBLIOGRAPHIE
3D bioprinting – An Ethical, Legal and Social Aspects (ELSA) framework – ScienceDirect. (s. d.). Consulté 28 octobre 2018, à l'adresse <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405886616300021>

Individuation des organes
L'individuation de l'organe artificiel propose d'ouvrir l'évolution des objets techniques biologiques dans un milieu et de se laisser surprendre par eux plutôt que de vouloir imposer une vision d'hybris, où l'organe serait vu comme une brique remplaçable dans l'ensemble plus vaste du corps. Merceler le corps reviendrait à nier la nature même du vivant, les relations ne sont pas seulement celles des parties entre-elles mais également du bio-objet avec son milieu. Dans la mise en rapport du bio-objet et du discours des origines des nanotechnologies, nous percevons une inadéquation du projet scientifique par rapport aux réalités du terrain, les besoins véritables des patients. On peut penser en cela qu'un certain nombre de redéfinitions des objectifs de la recherche scientifique s'imposent, revenant à la pratique réelle de ses acteurs. Plus que d'objectifs, parlons de vision : quelles valeurs voulons-nous porter à travers des objets techniques produits en laboratoire ? Est-il seulement possible que ces valeurs soient le fruit de notre intentionnalité ? Le concept d'objet technique de Simondon nous invite à aller au-delà de cette intentionnalité extérieure qui relèverait du design pour nous intéresser à l'individuation technique. Ce qu'il importe de regarder, c'est alors l'adéquation entre la normativité vitale de l'objet technique, dans ses relations et son processus.

La mise en résonance des stratégies d'opération des ingénieurs du vivant avec la pensée de Simondon permet en outre d'appréhender la formulation d'un objet biotechnologique d'une autre façon. Celui-ci est plus déterminé par des fonctions à remplacer mais peut être vu comme un élément évoluant avec son milieu, le corps. Cela implique, que l'organe peut également s'éloigner d'un rapport mimétique au foie bio-artificiel, penser sa conception en terme de relation du foie avec le reste du corps. Cette réflexion s'étale dans le temps et indique une évolution temporelle importante pour les objets biotechnologiques. Cette perspective est évidemment celle de la relation entre l'objet technique et le corps du patient. La réflexion s'ouvre désormais du point de vue de la vie de l'objet technique : comment penser ce dernier dans le système de soin auquel appartient/appartient-il ? Si l'individuation et la concrétisation du bio-artificiel permet de contrer cette idée d'une convergence démiurgique de la technologie, comment néanmoins intégrer le dispositif de « façade appropriée » ? Comment l'inscrire en somme dans un mode relationnel qui ne va pas seulement du corps au dispositif, mais du dispositif aux structures de santé ? Il s'agit en somme de prendre de la hauteur, et

Améliorer ?
Si la possibilité de réparer l'homme au plus finement est une avancée majeure pour la médecine régénératrice, quand est-il des possibilités d'améliorer l'humain ?
Telle est souvent la question posée dans le débat. Cette question contient en elle-même une dualité morale : est-il bien ou non de vouloir améliorer l'humain. En notre sens, elle ne permet pas de penser ni de situer l'engagement de

Améliorer ?
Si la possibilité de réparer l'homme au plus finement est une avancée majeure pour la médecine régénératrice, quand est-il des possibilités d'améliorer l'humain ?
Telle est souvent la question posée dans le débat. Cette question contient en elle-même une dualité morale : est-il bien ou non de vouloir améliorer l'humain. En notre sens, elle ne permet pas de penser ni de situer l'engagement de

500 mots
Elise Rigot

Télécharger cette contribution
Donner votre contribution
Rigot, Elise. « Individuation des organes ». In : CODEX critique de la bio-impression 3D [cahier d'images], 2018. Disponible sur <http://codex.critique.bio-3d.fr/cont/individuation-des-organes/500mots>

07

CONVERGENCES ?

Article 7 Introduction, 2016

Christophe Vieu
 Xavier Guchet

Résumé

Le bio-impression 3D est le processus de création de structures cellulaires dans un espace confiné à l'aide des techniques d'impression 3D, où la fonction et la viabilité cellulaire sont conservées dans la construction imprimée^{7,8}. Généralement, la bio-impression 3D utilise la méthode d'impression couche par couche pour déposer des matériaux parfois désignés sous le nom de bioencres pour créer des structures semblables à des tissus biologiques naturels qui sont ensuite utilisées dans les domaines de l'ingénierie médicale et des tissus⁹. La bio-impression fait appel à une large gamme de matériaux. À l'heure actuelle, la bio-impression peut être utilisée pour imprimer des tissus et des organes notamment pour la recherche pharmaceutique^{10,11,12,13}. Le premier brevet lié à cette technologie a été déposé aux États-Unis en 2003 et accordé en 2006⁸.



La bio-impression 3D est le processus de création de structures cellulaires dans un espace confiné à l'aide des techniques d'impression 3D, où la fonction et la viabilité cellulaire sont conservées dans la construction imprimée^{7,8}. Généralement, la bio-impression 3D utilise la méthode d'impression couche par couche pour déposer des matériaux parfois désignés sous le nom de bioencres pour créer des structures semblables à des tissus biologiques naturels qui sont ensuite utilisées dans les domaines de l'ingénierie médicale et des tissus⁹. La bio-impression fait appel à une large gamme de matériaux. À l'heure actuelle, la bio-impression peut être utilisée pour imprimer des tissus et des organes notamment pour la recherche pharmaceutique^{10,11,12,13}. Le premier brevet lié à cette technologie a été déposé aux États-Unis en 2003 et accordé en 2006⁸.

La bio-impression 3D est le processus de création de structures cellulaires dans un espace confiné à l'aide des techniques d'impression 3D, où la fonction et la viabilité cellulaire sont conservées dans la construction imprimée^{7,8}. Généralement, la bio-impression 3D utilise la méthode d'impression couche par couche pour déposer des matériaux parfois désignés sous le nom de bioencres pour créer des structures semblables à des tissus biologiques naturels qui sont ensuite utilisées dans les domaines de l'ingénierie médicale et des tissus⁹. La bio-impression fait appel à une large gamme de matériaux. À l'heure actuelle, la bio-impression peut être utilisée pour imprimer des tissus et des organes notamment pour la recherche pharmaceutique^{10,11,12,13}. Le premier brevet lié à cette technologie a été déposé aux États-Unis en 2003 et accordé en 2006⁸.



7 Hergemabach, Lohmann, [2003-2007], sous le patronage de Christiane Kroll, Christian Kroll, 2016, p. 46

8 Hergemabach, Lohmann, [2003-2007], sous le patronage de Christiane Kroll, Christian Kroll, 2016, p. 46

La bio-impression 3D est le processus de création de structures cellulaires dans un espace confiné à l'aide des techniques d'impression 3D, où la fonction et la viabilité cellulaire sont conservées dans la construction imprimée^{7,8}. Généralement, la bio-impression 3D utilise la méthode d'impression couche par couche pour déposer des matériaux parfois désignés sous le nom de bioencres pour créer des structures semblables à des tissus biologiques naturels qui sont ensuite utilisées dans les domaines de l'ingénierie médicale et des tissus⁹. La bio-impression fait appel à une large gamme de matériaux. À l'heure actuelle, la bio-impression peut être utilisée pour imprimer des tissus et des organes notamment pour la recherche pharmaceutique^{10,11,12,13}. Le premier brevet lié à cette technologie a été déposé aux États-Unis en 2003 et accordé en 2006⁸.

Bibliographie

Arendt, H. (2002). Condition de l'homme moderne. [1958] Pocket.
 Bensaude-Vincent, B. (2009). Les Vertiges de la technoscience. La Découverte.
 Bosqué, C. (2016). La fabrication numérique personnelle, pratiques et discours d'un design diffus: enquête au coeur des FabLabs, hackerspaces et makerspaces de 2012 à 2015. Rennes 2.
 Dunne, A. (2008). Hertzian Tales: Electronic Products, Aesthetic Experience, and Critical Design. [1997] The MIT Press.
 Eigler, D. M., et Schweizer, E. K. (1990). Positioning single atoms with a scanning tunnelling microscope. Nature, 344(6266), 524-526. https://doi.org/10.1038/344524a0
 Fassin, D. (2009). Another Politics of Life is Possible. Theory, Culture & Society, 26(5), 44-60. https://doi.org/10.1177/0263276409106349
 Foucault, M. (1976). COURS DU 17 MARS 1976. Présenté à « Il faut défendre la société », Collège de France, Paris.
 Fries, M.-H. (2016). Nanomonde et Nouveau Monde: Quelques métaphores clés sur les nanotechnologies aux États-Unis (ELLUG). Grenoble.

À propos Histoire de l'automatisme

RECHERCHER

Contribuer

Terme & définition Contributions libres

TERME FR

TERME EN

AJOUTER UNE DÉFINITION FR

AJOUTER UNE DÉFINITION EN

DOCUMENTATION DU SENS

COMMENTAIRE

Abandonner Enregistrer le nouveau sens Enregistrer le brouillon

Contactez nous à codex@fab.fr

1. Photographie de recherches pour structurer les divers éléments d'un glossaire contributif

2. 3. Dessins de différentes fonctions imaginées pour structurer les divers éléments d'un glossaire contributif

4. 5. 6. 7. 8. Premières maquettes d'interface du site web du *Codex*

9. Deuxième maquette d'interface du site web du *Codex*, partie contribution libre

10. Amélioration de l'interface du site web du *Codex* par l'agence 221B à partir des premières maquettes j'ai réalisées et en concertation avec l'équipe informatique du LAAS-CNRS

4. Analyses de quelques contributions

Dans cette partie nous exposons les deux typologies de contributions du *Codex de la bio-impression 3D* la première typologie est celle qui concerne les définitions des termes de la bio-impression 3D, la seconde typologie concerne des contributions libres. Les entrées pensées au sein du Codex au sein des contributions libres (**figure 35**) font échos au questionnement sur les formats des publications scientifiques en sciences sociales que la thèse de Robin De Mourat, *Le vacillement des formats : matérialité, écriture et enquête : le design des publications en Sciences Humaines et Sociales*²¹⁰ interroge. Le logiciel Ovide développé dans le cadre de la recherche, a été une inspiration pour le *Codex*. L'auteur écrit à son propos sur le site du projet : « Ovide est un logiciel expérimental d'écriture et d'édition. Il est fait pour permettre des activités de publication savante polymorphiques et ancrées dans un contexte documentaire et médiatique riche.²¹¹ » Faire exister et prendre soin de cette médialité riche et polymorphe est un enjeu pour la recherche en design qui s'intéresse aux pratiques de publication et de mise en visibilité des sciences actuellement.

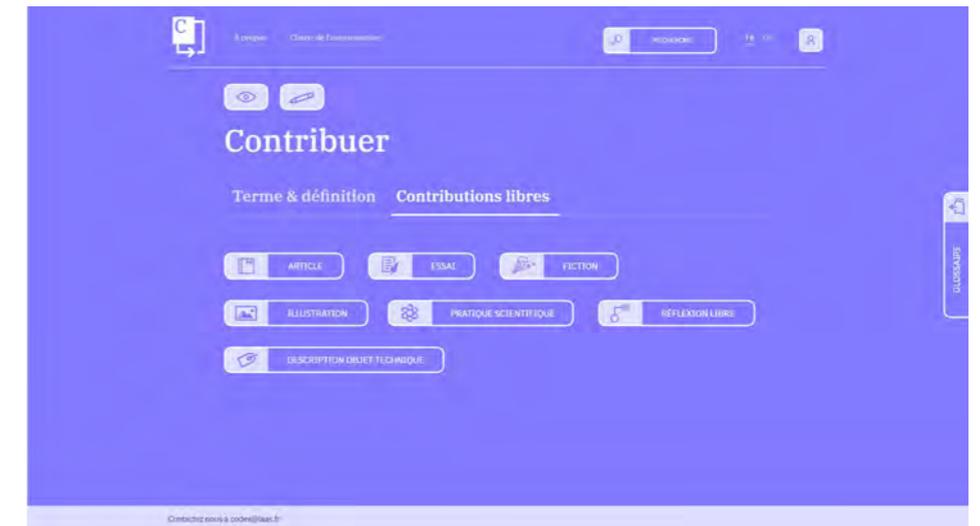


Figure 35 — : Capture d'écran de la page actuelle de la page contribution libre, à partir d'incitation visuelle afin d'ouvrir la possibilité de modes d'écriture variés dans la recherche

210 Robin De MOURAT, *Le vacillement des formats: matérialité, écriture et enquête: le design des publications en Sciences Humaines et Sociales*.

211 Ovide, [sans date]. *Ovide*. [en ligne]. [Consulté le 23 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://peritext.github.io/ovide/>

Contributions – définitions

Liste des termes définis dans le Codex de la bio-impression 3D

À ce jour (avril 2022), il existe une trentaine de définitions (voir **figure 36**) dans le *Codex de la bio-impresion 3D* écrites par quatre contributeurs principaux. Ces données trop peu nombreuses ne nous permettent pas d'évaluer à ce stade les hypothèses posées en amont de cette étude. On peut néanmoins observer un fait intéressant. Les chercheurs choisissent de définir en partie des termes qui leur posent problème. Ces termes concernent en premier lieu des usages de langage dont ils souhaitent souligner le caractère controversé tels que les termes « organe sur puce » ou « organoïd ». En deuxième lieu, ces termes concernent des bio-objets techniques sur lesquels ils travaillent, indiquant qu'ils attachent une importance à la réalité objectale de leur production plus qu'à la technologie elle-même.

A	H	O
Agrégat cellulaire 1	Human-on-a-chip 1	Organoïde 1
Assemblage dirigé 1	Hydrogel 1	P
Auto assemblage 1	I	Puce 1
B	Implant 1	S
Bio-artefact 1	In vitro 1	Scaffold 1
Bio-implant 1	M	Sphéroïdes 1
Bio-impression 1	Matériau bio-sourcé 1	Support 1
Bio-réacteur 1	Micro-environnement cellulaire/tissulaire 1	T
C	Microsystème physiologique 1	Tissus 1
Cellule 1	Modèle micro-physiologique 1	V
E	O	Vectoriseur 0
Explant 1	Organe 2	Vectoriseur 1
H	Organe sur puce 1	
Humain 1		

Figure 36 — : Liste des termes définis dans le Codex de la bio-impression 3D en ligne [Consulté le 9 mai 2022]. Disponible à l'adresse : <https://codex.laas.fr/listTerme/>

Une manière d'analyser le *Codex* serait de regarder en creux les termes qui n'y sont pas définis. Il est intéressant de noter à cet égard ce qui n'est pas l'objet d'une définition et dont on pourrait penser qu'il s'agirait des premières définitions qui pourraient y apparaître tels que les termes impression, 3D, bio-impression 3D, organes artificiels, biomimétisme, etc. Le fait que les chercheurs ne choisissent pas de définir ce champ par ses multiples pratiques : modélisation 3D, méthodes de caractérisation, culture tissulaire,

méthode de marquage des cellules, typologies d'impression 3D révèle (à mon sens) également que ce n'est pas cela l'objet premier de leur intérêt. L'objet de leur concernement et ce qu'ils souhaitent rendre public dans le *Codex*, ce sont des termes qui se rapportent aux bio-objets techniques permis et impliqués dans la bio-impression 3D. En effet, les chercheurs ont plutôt choisi d'éclairer les nouveaux termes dont la définition mérite d'être travaillée à l'image de modèle microphysiologique, micro-environnement, organoïds, etc. Ils définissent ce champ par les objets techniques créés. Pour l'instant, les contributions du *Codex* s'attachent aux objets produits et non pas aux diverses applications potentielles de la bio-impression 3D.

Classification des termes définis dans le Codex de la bio-impression 3D

Les typologies des contributions du Codex de la bio-impression 3D ne concernent pas uniquement des objets techniques. Elles rassemblent des définitions de fonctions biologiques, des composants d'ingénierie tissulaire, et des techniques. Je propose de séparer et hiérarchiser les contributions concernant les termes de la bio-impression 3D en différentes catégories.

Des technologies :

Bio-impression 3D
Support
Vectoriseur

Des bio-objets techniques :

Bio artefact
Bioréacteur
Puce
Scaffold
Sphéroïdes
Bio-artefact
Bio implant
Implant

Des concepts :

Agrégat cellulaire
Assemblage dirigé
Auto-assemblage
Micro-environnement cellulaire
Micro-environnement tissulaire

Des définitions de biologie :

Cellule
Tissus
Organes
In vivo
In vitro
Explant
Humain
Matériau biosourcé

Des modèles :

Humain sur puce
Microsystème physiologique
Modèle microphysiologique
Organe sur puce

Ces différentes catégories sont reprises dans la **figure 37** qui prend pour point de départ de toutes les définitions l'embranchement des objets techniques.

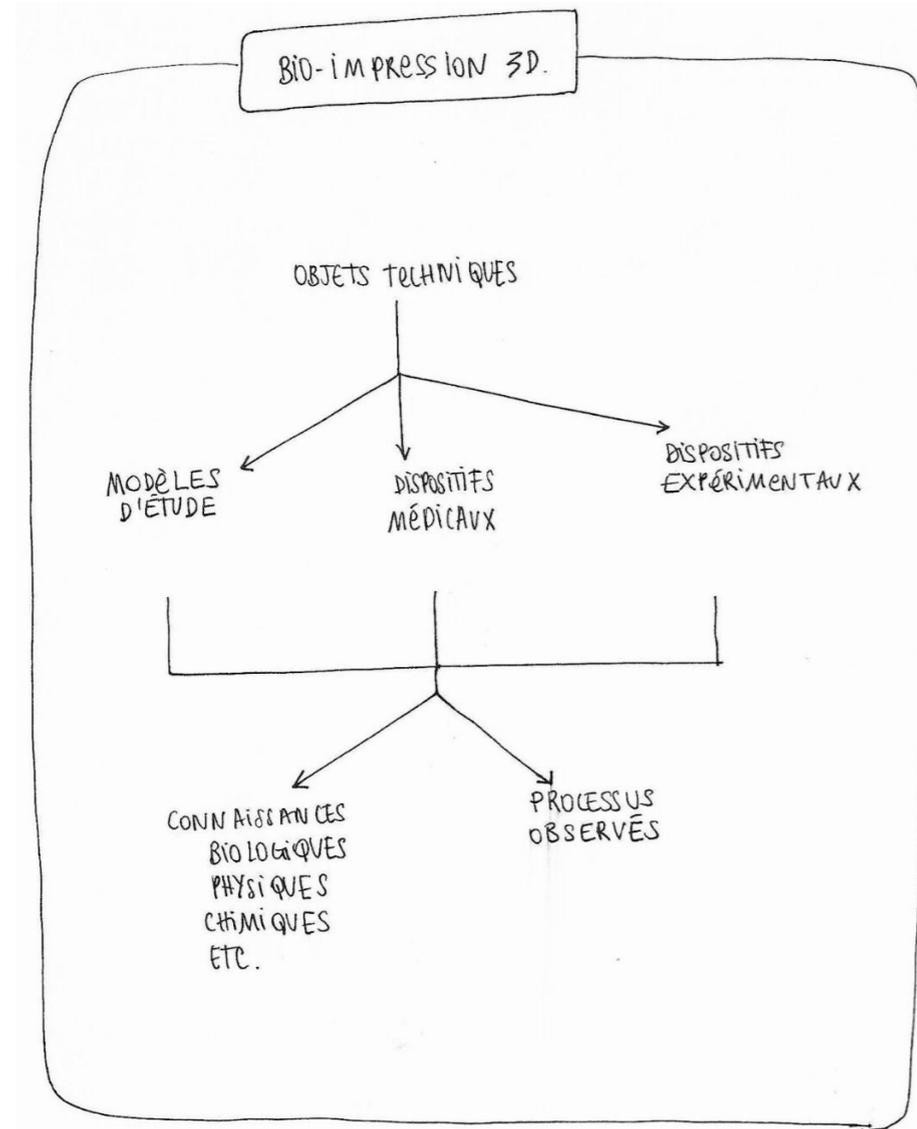


Figure 37 — : Schéma des typologies de contributions dans l'onglet « Définitions » du Codex de la bio-impression 3D en date du (avril 2022)

Nous voyons dans la définition la place des bio-objets produits en laboratoire et une tentation de définir les artefacts produits. Néanmoins, le peu de données dont nous disposons ne nous permet pas de faire une analyse pertinente des contributions.

Matter of concern²¹² dans le Codex de la bio-impression 3D

Faire exister ces objets techniques dans le langage permet selon nous d'asseoir une pratique de recherche, de consolider sa légitimité et de pouvoir partager son vocabulaire particulier. Également, le Codex identifie des zones de préoccupation, d'interrogations communes, de doutes à l'endroit de termes communs aux pratiques de la bio-impression 3D. En effet, de nombreux chercheurs ont conscience d'un potentiel réductionnisme, techno-solutionnisme voire transhumanisme qui peut exister à l'endroit du développement technique pour lequel ils travaillent et auquel ils ne veulent pas être rattachés. C'est principalement sur les termes concernant les modèles d'étude que ces inquiétudes se partagent. Ces inquiétudes sont légitimes et relativement simples à comprendre. Elles consistent à dire clairement que l'on ne peut sous aucun prétexte réduire la complexité du fonctionnement du corps ou d'un organe à un réseau microfluidique dans lequel seraient cultivées des cellules endothéliales, stromales, nerveuses, cardiaques, etc. Il me semble que le motif d'inquiétude est de l'ordre de l'intégrité scientifique. Les chercheurs, en effets, ne souhaitent pas participer à une forme d'économie des promesses à travers la médiation de leur recherche. Ils ne veulent pas promettre que la bio-impression 3D serait en capacité de reproduire un cœur implantable et fonctionnel, quand cette dernière ne le peut pas, et de plus, qu'elle n'est peut-être pas la technique appropriée pour le faire.

Je reproduis ici une définition du terme « organe sur puce » : « Ce terme est impropre. Bien que certaines fonctionnalités de certains tissus et organes puissent être reproduites in vitro, un organe ne peut pas être réduit²¹³ à un ou plusieurs artefacts intégrés sur un format de type puce. Un organe est par définition une partie d'un être vivant. » écrit l'un des chercheurs de l'équipe. Dans un mail daté du 26 octobre 2021, certains membres de l'équipe se demandent comment utiliser ces termes pour adhérer aux codes de leurs communautés, bien qu'ils partagent la critique²¹⁴ des termes impropres révélés par le *Codex de la bio-impression 3D*. En effet, ne pas les utiliser reviendrait à les couper de leur potentielle communauté et leur éviterait des opportunités de publication dont ils ont besoin dans un contexte de recherche de visibilité pour se permettre un jour de consolider leur carrière par un poste permanent ou une promotion en tant que directeur de recherche. Par exemple, quand les journaux²¹⁵ s'appellent eux-mêmes par ces termes, il devient compliqué de lutter contre ce terme, en évitant de l'utiliser. Un post-doc de l'équipe revenait sur cette problématique de condamner un terme qui correspond aujourd'hui à une communauté organisée. « Dans l'esprit de cette communauté, oui, faire pousser des cellules sur une membrane déformable suffit à acquérir la dénomination d'« organe sur puce », et même si le terme est impropre, c'est celui qui est utilisé régulièrement pour ce type de dispositifs. » Le chercheur soulignait le danger de ne plus utiliser ce terme au risque de

212 LATOUR, Bruno, 2004. Why has critique run out of steam? From matters of fact to matters of concern. *Critical inquiry*. 2004. Vol. 30, n° 2, pp. 225-248.

213 Je souligne.

214 Si je suis capable de faire la généalogie de ces échanges, c'est que je suis un témoin direct de ces échanges en tant que membre intégrée dans l'équipe ELiA du LAAS-CNRS, équipe elle-même particulière en ce que certains de ces membres participent au groupe de réflexion éthique du laboratoire (animé par Lucie Baudouin). Marquée de cette expérience réflexive, cette équipe n'est pas représentative des échanges qui se font à l'endroit de ce terme.

215 Organs-on-a-Chip | All Journal Issues | ScienceDirect.com by Elsevier, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 2 mai 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.sciencedirect.com/journal/organs-on-a-chip/issues>

passer à côté des recherches proches des pratiques du laboratoire et proposait en guise de tierce voie de « l'utiliser tout en le critiquant ». Le cas précis discuté dans le corps du mail est celui d'une thèse annonçant sa contribution au savoir par la conception et fabrication d'un « organe sur puce incluant un hydrogel biocompatible et déformable ». Pour un autre chercheur de l'équipe, nommer plus justement le dispositif comme « puce microfluidique à base d'hydrogel biocompatible déformable » suffirait à rendre justice au travail de recherche ainsi mené. L'objectif des recherches sur les organes sur puces étant de s'approcher des tissus physiologiques, les chercheurs de nombreux domaines utilisent le terme « organe sur puce » afin de mettre en évidence des recherches qui tentent de reproduire des fonctions d'un organe à une échelle miniaturisée, dans la plupart des cas sur une puce microfluidique. De la même manière le terme « Humain sur puce » est considéré comme impropre, mais semble poser davantage de problèmes, car ce n'est plus seulement un organe qui est mis en avant, mais l'être humain en son entier. On voit que ce qui se joue à travers ces termes impropres. Pour les uns, la reconnaissance de leurs travaux pour une communauté donnée (appartenir à la communauté des *organs-on-a-chip* avec les conférences, journaux etc. associés), et pour les autres la violence de cet imaginaire qui réduit le corps à une somme d'additions d'organes interconnectés les uns aux autres. Cette violence du langage est corroborée par certaines images²¹⁶ qui circulent à propos de la bio-impression 3D.

Ce qui suit sont les résultats des contributions libres du *Codex* qui a permis de publier et faire circuler des articles et essais au sein de la communauté de chercheurs auprès de qui j'enquête.

Contributions Libres

« Engineering Biomaterials for Regenerative Medicine: A time issue », *Materials & Time*

*Suite à une série de publications concernant l'impression 4D, comme la compréhension de l'ajout de la dimension temporelle dans l'impression 3D, il nous semblait que la plupart des résultats présentés comme relevant d'une impression 4D était en fait souvent relative à une simple réponse mécanique de la structure imprimée en 3D et non pas à une réelle évolution temporelle. Pourtant, nous voyons bien en quoi le concept d'impression 4D a une importance en ce que la bio-impression 3D utilise des matériaux vivants qui ont donc la particularité d'être en évolution dans le temps. Ainsi d'autres stratégies de conception nous ont semblé intéressantes à mettre en perspective pour le domaine de la bio-impression 3D. La contribution libre, reproduite ci-après, que nous avons écrite, propose une vision où le bio-objet technique disparaît jusqu'à faire partie intégrante des équilibres des entités biologiques. Cette contribution a été motivée par une invitation de la philosophe des sciences Bernadette Bensaude-Vincent à contribuer à une publication en ligne ayant pour thématique générale : *Materials & Time*. Elle est pour cette fin rédigée en langue anglaise²¹⁷. Elle est accompagnée d'une illustration graphique explicitant trois nouvelles pistes afin de prendre en compte la dimension temporelle dans la bio-impression.*

²¹⁶ Notamment l'image d'une oreille imprimée en 3D au cœur d'une boîte de pétri. KANG, Hyun-Wook, LEE, Sang Jin, KO, In Kap, KENGLA, Carlos, YOO, James J. et ATALA, Anthony, 2016. A 3D bioprinting system to produce human-scale tissue constructs with structural integrity. *Nature Biotechnology*. Vol. 34, n° 3, pp. 312-319.

²¹⁷ Nous avons également laissé les notes de bas de page dans une autre norme.

Tissue Engineering²¹⁸ is nowadays an expanding field of research that cleverly combines living cells with supporting materials, often called biomaterials, in order to generate a functional tissue for a human organ (skin, brain, bone ...). The purpose of this activity is twofold. On the one hand, successful tissue engineering can lead to human models of tissues of very high predictive value for testing drug activity or toxicity. This could reduce drastically the use or abuse of animal testing in medical research and pharmacology. On the other hand, the tissue elaborated by engineering could be employed as an implant, that once surgically positioned in a deficient or destroyed organ inside the host is capable of regenerating the lost functions by interaction with the surrounding tissues. In this context of regenerative medicine, attempts to regenerate brain tissues, bones, cardiac muscles after trauma or stroke or to regenerate brown adipose tissues for treating obesity are the object of numerous research articles.

In this contribution we describe this specific engineering activity with a focus on the role and the function played by the material (in this case a biomaterial) which is very original compared to other fields of material science. This specificity originates from the direct interaction of the inert material with living entities (cells) that are subjected to time evolution. The purpose is to conceive and design the right biomaterial (structure, composition, shape) with a view to monitor the transition of the so-called bioartefact (biomaterial + living cells) towards a physiological functional tissue. To this end, we need to consider its surface chemistry, its micro-scale and nano-scale topography, its 3D shape (because physiological cell micro-environments are 3D) but also its ability to co-evolve with cells along different processes such as differentiation, proliferation, colonization, vascularization... In brief, we claim in this article that the right biomaterial for tissue engineering is both a problem of material engineering and time engineering. The state of the art of this domain reveals that the material engineering aspect has been widely documented²¹⁹. However, the consideration of the agency of time has been neglected or disregarded. By pointing out this deficiency, we hope to open new engineering perspectives in tissue engineering.

Context and introduction to the question of time in tissue engineering

A functional physiological tissue is a complex mixture of living cells of different types that have attained a degree of stability often referred to in biology as homeostasis. Overtime, the cells have constructed a stable and operational architecture in adaptation to environmental conditions. This equilibrium is not a steady state but a perpetual evolution in search of a possible operational point, taking into account the environmental changes and the intrinsic time constraints of the basic mechanisms of life linked to gene expression, cell growth, cell division, cell death ... At any time, we can claim that the living tissue invents a new configu-

218 A. Ovsianikov, A. Khademhosseini, V. Mironov, The synergy of scaffold-based and scaffold-free tissue engineering strategies, trends in *Biotechnology* 36(4) (2028) 348

219 E.S. Place, N.D. Evans, M.M. Stevens, Complexity in biomaterials for tissue engineering, *Nature Material* 8 (2009) 457

ration. This is adaptation. That does not mean that this new configuration is optimal in the sense of the engineer, but it represents a good fit. A key mechanism for maintaining some stability in this continuous process is linked to the various secretions of the cells that drive the collective architecture of the tissue by inducing numerous feed-back loops. All together these regulation loops monitor nutrition, waste evacuation, mechanical stability, mechanical actuations (for contractile tissues) and various functions linked to the specific tissue under consideration. Among the secreted materials of importance are the macromolecules making the so-called Extra Cellular Matrix (ECM), such as collagen fibers or proteoglycans for example. By adjusting the chemical composition and the density of the surrounding ECM, the cells control the stiffness and porosity of their environment. They create the scaffold on which they adhere, the material through which they interact by chemical or mechanical communications. At any given moment, the physiological tissue can thus be seen as a 3D array of living cells embedded in a 3D mesh of natural biomaterials making up the surrounding matrix. The spatial position, the phenotype of each cell, the 3D configuration of the ECM scaffold, its composition and spatial variations, in brief what we call the architecture of the tissue, are the results of a long process of continuous adaptation in a stable and functional tissue.

Tissue engineering i.e, designing a functional tissue starting from different living cells in culture (either cell lines or primary cells originating from the tissue under construction), thus consists in recreating this specific and complex dynamic architecture. At first glance, to construct a material scaffold mimicking the ECM grid, embedding the different cells of interests seems the best option. Unfortunately, engineers do not have the time that is necessary for physiological processes in order that all the details of the cells+ECM 3D spatial configurations reach homeostasis and tissue function. If we compare this approach to biomimetic design strategies²²⁰, such as problem-based or solution-based strategies, our practice does not consist in looking at nature as a solution or an inspiration. It consists in developing the right initial conditions for designing a 3D artificial bio-artefact capable of tissue generation during maturation. It is therefore crucial to envision this engineering project not as inventing a precise (yet out of reach) instrument capable of printing a faithful replica of the physiological tissue, but as creating an initial bioartefact capable of providing incentives for the directed generation of homeostatic functional architecture in engineered cells. The purpose is not to fabricate an electronic chip by constructing every semiconducting transistors and metallic connections in a fixed and operational architecture, but rather to position cells (progenitors, stromal, endothelial, ...) together with precise guiding materials shaped in 3D in order to allow time to make the final targeted functional system: a living tissue. Nanoelectronics is not the adequate model. It is more like the art of gardening. This idea of involving time in engineered 3D structures have been popularized by the concept of 4D printing, the fourth dimension in addition to the 3 spatial ones, being time. However, we will see in the next section that current 4D printing practices do not adequately describe the agency of time as conceived in tissue engineering.

220 Badarnah, Lidia, et Usama Kadri. « A methodology for the generation of biomimetic design concepts ». *Architectural Science Review* 58, n°2 (3 avril 2015): 120-33.

The agency of time in current 3D/4D approaches

With the popularization of additive manufacturing and the dissemination of 3D printers, new methods have emerged that nurture the sociotechnical imaginary of creating fresh and mature organs with a 3D printing system. In the scientific literature, these technologies and instruments are gathered under the umbrella of Bioprinting techniques²²¹. In this section we will see not only that scientists involved in Bioprinting have not properly considered time in their engineering activity, but that scientists designing the so-called 4D structures have not had a clear view of the role of time.

The seminal works on bioprinting²²² for generating a tissue or an organ virtually ignored the temporal dimension of the tissues and organs. Indeed, the simple original idea consisted in acquiring high resolution 3D images (RMI, PET-Scan, X-rays tomography) of the targeted tissue and then, by using 3D injection printers, in reproducing in a biomimetic way with high fidelity to the model, an architecture where all the cells and extra-cellular biomaterials were placed exactly in the same position. This static approach was a scientific standoff. Not only did the 3D images of in-vivo structures not reveal essential details beyond their spatial resolution limit and the available 3D bio-printers could not produce large pieces of tissues, but it was unrealistic for more profound biological reasons. Indeed, even if it was possible to print all the details of the supporting biomaterials, together with mature cells in their right positions, this approach would totally inhibit the process of organogenesis which is required to obtain a functional tissue or organ. In fact, the printing machine does not print a tissue or an organ but deliver cells and biomaterials in a rigid complex and detailed structure. This artefact does not make the connections between cells, does not recapitulate the history of each cell which is required to bring them in the right phenotypes and in equilibrium or homeostasis with the others. In other words, it is necessary to include time and evolution at the early stage of the engineering process. Instead of generating a final structure, our alternative project therefore consists in a scenario of regeneration where the 3D-structured biomaterial triggers the evolution of a few selected and engineered cells including: stem cells, stromal cells, endothelial cells, nervous cells.... With our approach, the biomaterial is co-produced by nature and engineering.

In parallel, the community of 3D printing (not necessarily the one working on tissue engineering or regenerative medicine) has already introduced the fourth dimension of time and has popularized the name of 4D printing²²³. A 4D structure is basically a 3D artefact made of a responsive material that can react under a specific stimulus (temperature, pH, electromagnetic field, light ...). Under stimulation the printed material can shrink or expand, or be locally submitted to a mechanical force, and all these effects can result in a modification of the overall 3D structure. Because the 3D structure is not static but can be commanded to change or to

move, scientists manipulate temporal events and thus have proposed the phrase 4D printing that has captured the public's attention. This term is nevertheless disputable. Indeed, these fascinating structures can be better described as 3D responsive structures or actuable 3D structures. They respond on demand to an external signal in a pre-determined way. These structures are really smart but are they really 4D printed? In this design process time refers to the event triggered by the stimulus which is external to the system. The time dimension is not intrinsic to the structure itself; it is not imprinted. What engineers call 4D materials thus refers to programmed or informed matter (see figure 38 part A) shaped in 3D that can undergo a change of state in response to a triggering signal. As a matter of fact, the fourth dimension in the new experimental field of 4D printing, which is supposed to open to the time dimension, seems closely related to a kind of esthetic gesture²²⁴, or a robotic activity²²⁵, where time is just a sequence of programmed and predictable movements or displacements.

221 I. Matai, G. Kaur, A. Seyedsalehi, A. McClinton, C.T. Laurencin, Progress in 3D bioprinting technology for tissue/organ regenerative engineering, *Biomaterials* 226 (2020) 119536

222 Y. S. Zhang, R. Oklu, M.R. Dokmeci, A. Khademhosseini, Three-Dimensional Bioprinting Strategies for Tissue Engineering, *Cold Spring Harb Perspect Med.* 2018 Feb 1;8(2):a025718.

223 S. Tibbits, The emergence of "4D printing", TED Conference (2013), https://www.ted.com/talks/skylar_tibbits_the_emergence_of_4d_printing

224 Sydney Gladman, A., Elisabetta A. Matsumoto, Ralph G. Nuzzo, L. Mahadevan, et Jennifer A. Lewis. « Biomimetic 4D Printing ». *Nature Materials* 15, n° 4 (avril 2016): 413-18.

225 Wehner, Michael, Ryan L. Truby, Daniel J. Fitzgerald, Bobak Mosadegh, George M. Whitesides, Jennifer A. Lewis, et Robert J. Wood. « An Integrated Design and Fabrication Strategy for Entirely Soft, Autonomous Robots ». *Nature* 536, n° 7617 (août 2016): 451-55.

Biomaterials and Time in regenerative medicine : some perspectives

This paper claims that the bioprinting activity where materials mimicking the Extra Cellular Matrix are shaped in 3D together with living cells confronts bioengineering with the question of the agency of time in a configuration that has never been addressed before. Indeed, Henri Bergson brilliantly argued that time is the essential trait of living matter. In his book “Creative Evolution”, he wrote: “Wherever anything lives, there is, open somewhere, a register in which time is being inscribed²²⁶”. The design of bioartefacts by bioprinting, mixing engineered materials and living cells thus opens the register of time in a totally novel configuration compared to more conventional manipulation of “time” in 4D printing or when material ageing is investigated.

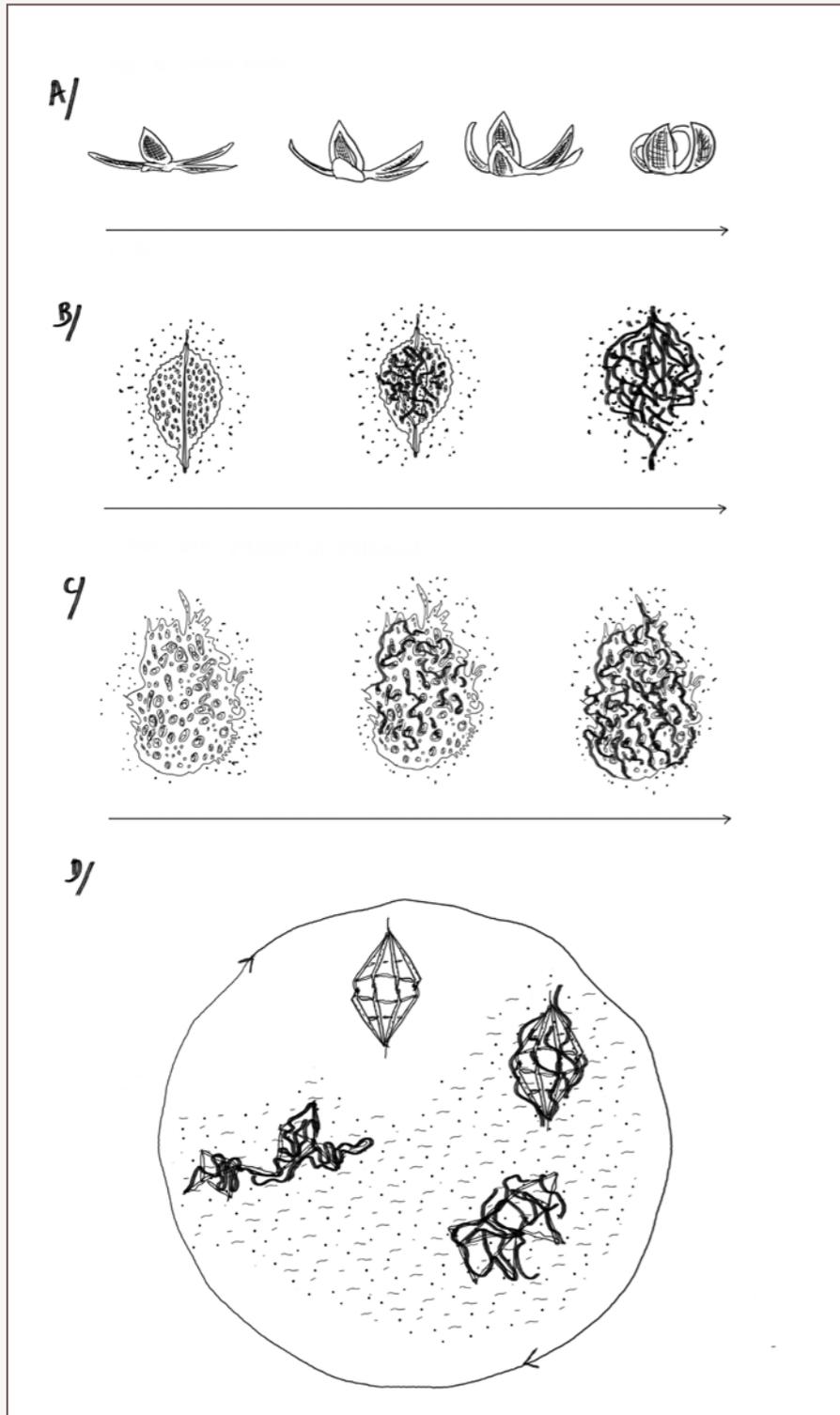
As seen previously, the question is really to imprint the temporal dimension into the bio-material itself. The most obvious method for addressing this complex issue would be to create a 3D degradable supporting scaffold for the initial cells. This scaffold could keep the various seeded cells alive and drive their proliferation and differentiation at the initial moments of the culture and subsequently the maturation process of the bioartefact. Once these cells have made their own ECM, the scaffold would degrade and gradually leave the floor, allowing the cells to ‘write their own history’ under the operation of time. Implants, made of a biodegradable material, for example silk, are already designed to be dissolved by time. In this strategy of disappearance (see figure 1 part B), the engineered material is designed to disappear once the cells are capable of evolving, thus mimicking the phenomenon of apoptosis in living cells. Another approach would be to create non-degradable supporting scaffolds exhibiting similar properties for the seeded cells at the start of the culture but leaving enough available space for the cells to generate their own homeostatic ECM. This could be envisioned by creating complex highly porous 3D-scaffolds made of nanoscale structures providing strong support and guidance to the cells while limiting the steric hindrance of the supporting structures. Two photons laser beam writing is the typical current 3D technology that could achieve this high level of spatial resolution and should be applied in regenerative medicine in the future²²⁷. In this strategy of discretion (see figure 38 part C), the nano-engineered material is operational for initiating the genesis but at the end becomes negligible compared to the neo-formed extracellular matrix.

In a longer-term perspective, the 3D bioartefacts required for future regenerative medicine will involve advanced biomaterials shaped in 3D structures capable of triggering the maturation and evolution of seeded cells into a functional tissue as close as possible to a physiological one. Because time is the key process, the 3D biomaterials we need to work on must include in their design the evolution of the bioartefact. Because cells are in a state of constant adaptation, bioengineers need to create adaptative materials (see figure 38 part D), capable to escort the perpetual reconfigurations of the cells in evolution within the bio-

artefact. Interesting solutions for that can be found in the expanding area of 4D printing. Through an ingenious combination of these ideas with the known principles of the evolution of living cells, major advances should be achieved in the near future. We could, for example, imagine 3D resilient materials printed at the nanoscale by two photons laser writing and including in their structure reversible points of attachments. Because living cells evolving within a tissue exert specific patterns of forces on their micro-environment, they could untie and re-fasten on demand the mechanical links of their engineered scaffold. As a consequence, the engineered material would accompany the evolution of the living cells by its own temporal dimension triggered by the cellular rhythm. Careful investigations of cell nanomechanics, combined with the design of 3D nanoscale printed material with articulated pieces, would be necessary to transform this idea into a reality. However, we have the feeling that the required knowledges to realise this project already exists across different scientific communities. Designed true 4D biomaterials will be able to co-evolve “symbiotically” with the cells they are hosting when cultured in-vitro and also with the cells of the host, in-vivo, for implantable bioartefacts. Will it be possible for scientists to reach this level of triggering of living processes such as organogenesis? We clearly do not have the answer yet, but part of this answer resides in our capability to integrate time as a process of becoming in our biomaterial constructs.

226 Bergson, Henri. [1907] *Creative Evolution*,. Traduit par Arthur Mitchell. Henry Holt. New York, 1911, p. 16, our traduction.

227 A ; Accardo, M.C. Blatche, R. Courson, I. Loubinoux, C. Vieu, L. Malaquin, Two-photon lithography and microcopy of 3D hydrogel scaffolds for neuronal cell growth, *Biomedical Physics and Engineering Express* 4, 2 (2018)



Conclusion

In this paper we argued that Material and Time are intertwined in a radical novel configuration in the activities of tissue engineering through bioprinting. The constant adaptation of the living cells to the 3D engineered artefactual material in which they are embedded brings in conflict two different conceptions of time. Following Bergson, the material artefact, closed and engineered by our senses, manipulates a “thought time” while the living matter around it, manipulates a “lived time”. This Bergsonian view of time invites engineers to invent disruptive strategies breaking with the conventional practices of the design of synthetic devices and systems. It is by thinking about time as a process of becoming that engineers will create regenerative tissues.

Figure 38 — : Illustration of different conception of time through scaffold engineering strategy. A : Informed matter & 4D printing B: Strategy of disappearance C: Strategy of discretion D: Adaptative Material

Nous avons souligné dans notre contribution la différence entre une acceptation du temps comme programmation (connue et anticipée d'une rédaction à un stimulus, cas de l'impression 4D (fig. 39) avec une dimension temporelle ouverte, relationnelle et non prédictible. Des acteurs du domaine de l'impression 3D classent la bio-impression 3D dans le domaine de l'impression 4 D.²²⁸ Une définition de l'impression 4D par Jean-Claude André explicite que « L'impression 4D (ou 4D Printing) s'attaque²²⁹ à l'assemblage d'éléments actifs introduisant le paramètre "temps" dans le concept d'additivité. » L'impression 4D semble être prise dans les imaginaires qui ont modelé les nanotechnologies à ses débuts. Les grands récits sur la matière, qui serait programmable, maîtrisable pour former des objets qui évoluent prédictible ment dans le temps selon la volonté humaine, forgent ce champ technologique.

Pourtant, nous soulignons que le vivant explore le temps d'une manière ouverte qui rompt avec la discrétisation temporelle opérée au travers des équations différentielles des physiciens. L'intérêt de la contribution est de mettre en lumière différentes stratégies de conception en fonction d'une prise en compte du temps.

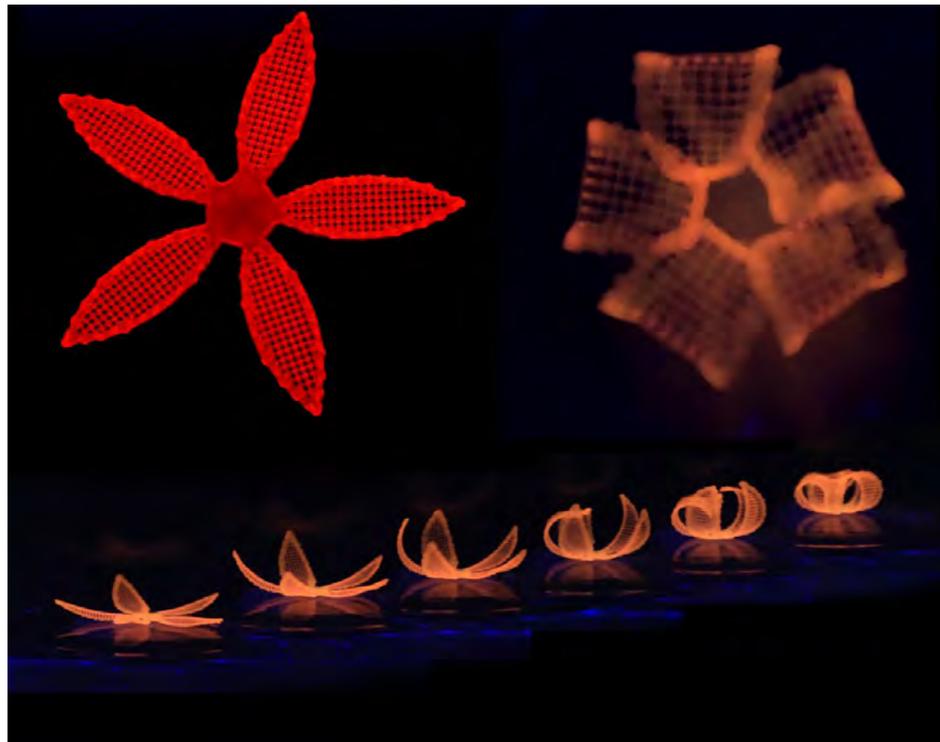


Figure 39 — : « This series of images shows the transformation of a 4D-printed hydrogel composite structure after its submersion in water. Credit: Wyss Institute at Harvard University²³⁰ »

228 « cas particulier du bio-printing, une forme d'impression 4D appliquée au vivant » DEMOLY, Frederic et ANDRÉ, Jean-Claude, 2021. *Impression 4D: promesses ou futur opérationnel?*

229 On remarque l'emploi d'un vocabulaire guerrier pour expliciter un nouveau champ de recherche comme si ce dernier était une conquête de territoire et d'opportunité de financement, ce qu'il est peut-être réellement. Jean-Claude André en faisait la remarque lors d'une école thématique à laquelle j'ai pu assisté, *Impression 4D : Matériaux et Procédés* (2019).

230 Novel 4D printing method blossoms from botanical inspiration, 2016. Wyss Institute. [en ligne]. [Consulté le 27 avril 2022]. Disponible à l'adresse: <https://wyss.harvard.edu/news/novel-4d-printing-method/>

Comme l'illustre la figure 39, on peut néanmoins observer que le système de représentation et d'emprunt de codes visuels n'est pas le même dans la bio-impression 3D que dans l'impression 4 D. Nous suggérons que ce dernier est plus intéressé par le vivant non humain que ne l'est le champ de la bio-impression 3D, très marqué par l'évolution et la maturation des tissus. Cette ouverture à d'autres typologies d'images, végétaux, animaux marins, fleurs, etc. nous semble intéressante. Les exemples de l'impression 4D concernent par exemple le champ de la soft robotique. Dans la figure 40, on peut voir la mise au point d'un calamar de taille réduite avec huit tentacules.

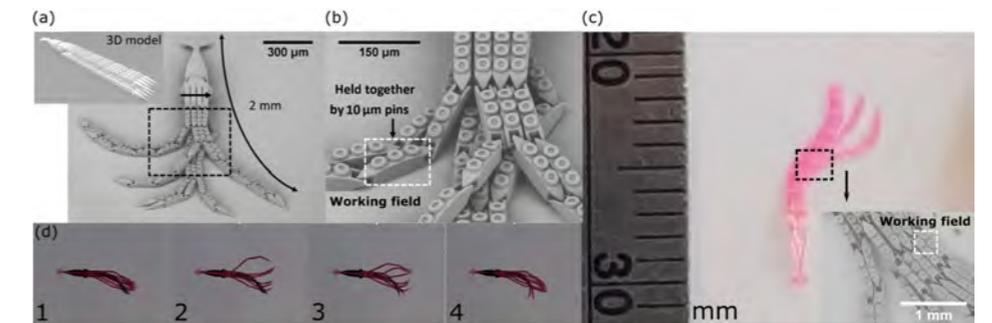


Figure 40 — : Légende de la figure « (a) An overall view of the movable 2mm long squid with flexible tentacles with gecko-like suction cups held together by 10µm pins (b). Inset in part (a) shows 3D model used for fabrication. (c) 10mm squid printed using the same model, but stretched via the software 4.5 times. Inset shows enhanced view of tentacles proving very good manufacturing quality. (d) Shows floating of squid tentacles after they are moved by meniscus formed in the thin layer of liquid. Working fields of NA=1.4 and NA=0.45 objectives (side length - 125µm and 350µm respectively) are also shown in part (b,d) as white rectangles. It is evident that a single segment of tentacle barely fits in them for both small and big squid. »

Les acteurs de l'impression 4D font preuve de réflexivité. Ils pointent les paradoxes de leur propre champ disciplinaire tels que le transhumanisme, le techno solutionnisme, l'hyper spécialisation et en appellent à une méthode d'approche interdisciplinaire, créative, complexe. C'est dans ce cadre que naît l'initiative du CNRS RFA : « Réseau technologique transverse tourné vers l'ensemble des activités et métiers qui pratiquent la fabrication additive ». Ouvert à tous les agents des unités du CNRS et du monde académique quels que soient leurs métiers, statuts ou spécialités, ce réseau vise à mettre en visibilité un ensemble d'approches autour des procédés de fabrication additive. Les chercheurs Frédéric Demoly et Jean-Claude André, qui font partis de ce consortium, soulignent en effet les « limites du dispositif organisationnel actuel pour la prise de risque et le soutien à la créativité pour le développement d'applications industrielles 4D²³¹. » Notre proposition pourra rejoindre ces initiatives quand elle aura atteint une certaine robustesse.

231 Réseau fabrication additive du CNRS, [sans date]. *Reseau fabrication additive du CNRS*. [en ligne]. [Consulté le 27 avril 2022]. Disponible à l'adresse: <https://rfa.cnrs.fr/>

Autres contributions libres

D'autres contributions libres ont été reproduites dans la suite du manuscrit. Ces typologies d'écriture ont été peu appropriées par les chercheurs de l'équipe, et correspondent sans doute plus à des pratiques de sciences sociales. Cette section expose un travail de recherche qui concerne l'étude spéculative et fictionnelle de la bio-impression 3D sous le prisme du design fiction. Je reproduis ici un chapitre d'ouvrage de *L'Encyclopédie des objets impossibles* (à paraître en 2023, édition HXX) intitulé « Le design fiction à l'épreuve des techno-utopies des corps²³² ».

Le design fiction à l'épreuve des techno-utopies des corps

En utilisant des exemples du cinéma et du design fiction, cette contribution permet d'analyser les imaginaires qui sont inscrits dans les technologies de réparation des corps. Ces imaginaires sont, à notre sens, totalement ancrés dans la bio-impression 3d et nécessitent une mise à distance. Nous avons souhaité faire figurer ici cette contribution dans la suite des études permises par le *Codex*. Il n'a pas été évident de savoir où positionner ce chapitre d'ouvrage au sein de la thèse, il peut sembler en léger décalage avec la lecture qui précède.

232 Nous avons laissé un système de note différent et la bibliographie associée à l'article dont il existe peut-être des redondances avec la bibliographie générale du manuscrit.

«Si le corps est le système d'objets et de rituels primitifs et irremplaçables à disposition de l'homme, garantir cette conscience critique est une tâche qui revient également au design.» (Mendini 2014, 122)

Cet article interroge les techno-utopies des corps au prisme du design fiction. Afin de comprendre ces utopies particulières qui utilisent des technologies de transformation des corps pour s'incarner, nous reviendrons sur les fictions scientifiques à l'origine des nanotechnologies. Le corps humain, en tant qu'appareil biologique, est l'objet des spéculations de telles utopies. Les technologies employées vont de la modification de l'ADN à visée d'optimisation, à la modification de nos organes tels que la peau ou le cerveau dans une visée améliorative. Les techno-utopies habituellement intéressées à rendre les habitats et modes de vie plus efficaces se voient ici prendre le corps comme matière à penser.

1. Techno-utopies des corps : entre fiction et réalité

À la fin des années 1980, l'ingénieur américain Eric Drexler publie *Engines of Creation : The Coming Era of Nanotechnology* (1986) qui fait la promotion d'un design atome par atome. C'est à ce moment-là une révolution scientifique qui s'opère : la physique va s'intéresser aux lois du tout petit pour maîtriser, atome par atome, le design des « objets » de notre monde. La philosophe des sciences Bernadette Bensaude-Vincent qualifie *Engines of Creation* de véritable « récit des origines » (2009) pour les nanotechnologies. Cet ouvrage décrit une « démarche ascendante bottom-up — celle-là même qu'on observe dans la construction des systèmes vivants — [qui] devrait rapidement supplanter la voie descendante top down et révolutionner toutes les techniques existantes. » (Bensaude-Vincent 2009). Drexler y décrit un horizon futuriste d'abondance réalisé grâce à la reproduction et le contrôle des processus biochimiques. À l'origine du développement des nanotechnologies, il n'y a pas seulement la volonté de découvrir un nouveau monde « nano », tel que le proposait le physicien Richard Feynman en 1959 lors de sa conférence « There's Plenty of Room at the Bottom », que l'on peut traduire par « Il y a beaucoup de place en bas », mais également celle de résoudre les grandes problématiques actuelles à l'aide des technologies miniaturisées. Ce positionnement n'est pas neutre. C'est depuis cette situation que s'écrit le rapport américain, *Converging Technologies for Improving Human Performance*²³³ (Roco & Brainbridge 2002) pour orienter la convergence des NBIC (nanotechnologies, biotechnologies, informatique et sciences cognitives). Le but de la convergence, à savoir l'augmentation des performances des êtres humains, sera vivement critiqué en Europe. Pourtant, Bernadette Bensaude-Vincent relève que l'idée de la convergence en elle-même ne sera pas questionnée. Cette dernière est pourtant à l'origine d'une vision réductionniste des sciences, menant à une production du savoir comme profit (Bensaude-Vincent 2009). Cet imaginaire a participé à la formation des pratiques des nanotechnologies. Ainsi, « l'anticipation de la science de demain agit sur les recherches d'au-

233 Le rapport européen qui suivra en 2004 sera plus nuancé, il s'intitule « *Converging technologies-shaping the future of European societies* » (Altmann et al. 2004), voir l'ouvrage de Bensaude-Vincent (2009).

jourd'hui et lui donne un sens par direction anticipée » (Bensaude-Vincent 2009).

Une des images les plus marquantes de cette science mise au futur se cristallise autour des techno-utopies des corps. Ce que nous appelons techno-utopies sont des formes de récit, le plus souvent d'anticipation, où la technologie résout un certain nombre de problématiques afin de créer une société ou un monde idéal. L'Utopie, étymologiquement, est à la fois le lieu du bon et le lieu de nulle part et n'a donc pas vocation à se réaliser. Appliquées aux corps, de telles utopies entendent résoudre des problèmes d'ordre global en modifiant le corps humain. Le corps est compris ici comme une entité biologique extraite de toute vie sociale, c'est-à-dire comme un pur objet « naturel » le plus souvent dénué d'expérience. Le corps est un corps morcelé, dont l'amélioration supposée induit un bien commun futur. Pour qui ? Nous ne savons pas, la question n'est pas posée. Nous ne voulons pas faire du sujet de cet article le transhumanisme²³⁴, cependant, il est évident que ces techno-utopies ont également joué un rôle dans cette idéologie qui consiste à dire que l'homme devrait modifier ses attributs biologiques, à l'aide des biotechnologies, afin de potentiellement se rendre immortel et s'adapter à un environnement qui lui deviendra de plus en plus hostile à mesure des dérèglements climatiques.

Quand Foucault [2010 [1978]] définit la biopolitique, il s'agit de voir comment le pouvoir n'agit plus simplement sur des territoires, mais sur la vie des individus. Un changement de gouvernementalisme s'opère depuis la gestion des conditions de la vie à la vie elle-même. Le biopouvoir dont fait état Foucault nous fait prendre la mesure des problématiques soulevées par ces techno-utopies fictionnelles. Si une instance de gouvernance²³⁵ en vient à orienter les technologies de modification corporelle d'une manière ou d'une autre, ces techno-utopies apparaissent de plus en plus probables. La recherche en technologies telles qu'elle s'est organisée historiquement depuis la conférence de Feynman n'est pas neutre dans ces fictions. En effet, ces dernières se sont développées dans le sens « d'un interventionnisme généralisé sur la vie » explicite le philosophe des techniques Xavier Guchet citant les travaux de Rabinow et Rose (2016, 296). Par exemple, comme le souligne Xavier Guchet, les recherches menées autour du séquençage du génome humain visent à une compréhension du vivant par briques élémentaires sur lesquelles il serait possible d'intervenir techniquement. Dans cette forme de médecine, « [l']organisme n'est plus saisi que sous le concept d'actionnabilité. » (Guchet 2016, 299).

Les utopies sont focalisées sur le fonctionnement des institutions, depuis le travail à la famille en passant par les outils de production jusqu'aux années 1850 observe Ruyer (1950). On peut citer l'architecture du Familistère de Guise qui offrait un lieu de vie et de travail à des familles ouvrières dans le XIXe siècle basé sur l'autogestion, la coopération, recyclage, la laïcité et la mixité. Le terme utopie, inventé par Thomas More en 1516 est composé du préfixe privatif u et du préfixe eu signifiant « bon ». L'Utopie est à la fois le lieu du bon, mais aussi le

234 Nous ne souhaitons pas faire de ce moment le sujet central de cet article, car nous voulons montrer que ces techno-utopies des corps n'ont même pas besoin d'un tel courant de pensée extrémiste, mais peuvent s'incarner, de manière assez banale dans nos imaginaires partager, déjà-là qui sont un terreau pour penser.

235 Le pouvoir étant un attribut économique, un « biocapital » (Guchet 2016, 297) peut ainsi exister.

lieu de nulle part (u-topos, qui n'est d'aucun lieu). Du point de vue du design, Mendini pense quant à lui que c'est un monde idéal qui n'existe pas, un « modèle mythique vers lequel tendre. L'important c'est qu'il soit inatteignable » (Mendini 2014 [2010], 485).

Dans les techno-utopies du corps, c'est notre corps en tant qu'objet de l'évolution qui fait l'objet de spéculations. Marina Mastrutti, sociologue et philosophe des sciences, analyse et décrit l'avènement des techno-utopies des corps ancrées dans les imaginaires des nano-technologies. Les techno-utopies du corps, selon elle, cherchent en effet à maîtriser la lignée évolutive des êtres humains (Mastrutti 2011). Un paradoxe prend place dans ces nouvelles formes de l'utopie. Du fait de leur possible réalisation technique (même lointaine), elles déplacent le champ de l'utopie. Elles amènent l'utopie dans un espace de faisabilité. D'après Raymond Ruyer (1950), les utopies contemporaines se confondent dans le mythe : les aspirations mythiques classiques telles que l'immortalité, la toute-puissance, la création des êtres vivants, la divinisation de l'humanité deviennent dans les techno-utopies du corps des possibilités réalisables par les technosciences.

Dans les fictions filmées, l'objet impossible qui incarne l'imaginaire d'un-e humain-e réparable, augmentable, modifiable, améliorable, est l'imprimante-3D biologique. Dans *Le Cinquième Élément* (Besson 1997), cette technologie robotisée permet de recréer un être vivant à partir d'un fragment d'ADN. Dans des fictions plus récentes, elle est à l'origine de la numérisation des corps, comme dans l'épisode USS Callister — épisode 1 de la saison 4 de la série *Black Mirror* (Brooker, 2017). D'autres films et séries pourraient attirer notre attention : *Elysium* (Blomkamp 2013), *Bienvenue à Gattaca* (Niccol 1997), *Westworld* (Nolan 2016), *Years and Years* (Davies 2019)²³⁶ ; néanmoins, nous ne nous attarderons que sur les deux premiers exemples. Ces derniers nous semblent parfaitement représenter le caractère imbriqué des imaginaires touchant aux techno-utopies des corps. Il ne s'agit pas juste de modifier le corps, mais d'incarner la convergence NBIC. Incarner le réductionnisme. Le « réductionnisme brutal » de la science souligné par Bernadette Bensaude-Vincent (2013) prend forme à travers quatre unités élémentaires, les briques de fabrication du monde nouveau : « Little BANG » pour Bits, Atomes, Neurones, Gènes. Dans les deux cas que nous analyserons, c'est autour de l'ADN, une structure en double hélice enroulée autour d'un axe découverte par James Watson et Francis Crick en 1953, que se jouent les deux fictions. Il faut dire aussi que cette découverte a fortement modifié notre manière de comprendre (Monod 1970) et d'interpréter l'histoire de la biologie (Jacob 1987) jusqu'à éclipser²³⁷ certaines façons de faire de la biologie de manière non moléculaire.

236 Cette liste est loin d'être exhaustive, et nous soulignons son ancrage très occidental.

237 On peut citer les recherches de la microbiologiste Lynn Margulis sur l'évolution par endosymbiose qui ont lieu dans le même temps et qui mettent en jeu un imaginaire radicalement différent de la vie, dont la diversité vient d'une collaboration entre différentes espèces de règnes différents, de symbioses, autopoïèses et endosymbioses. La biologie de Margulis s'intéresse moins à des entités indépendantes (tel que le serait le gène, la cellule, le tissu) qu'aux interrelations à la base de toute vie.

Le Cinquième Élément (Besson 1997) cristallise la vision magique qui s'opère autour des technologies réparatrices, voire créatrices²³⁸, du corps humain. Le début du film est marqué par la préservation d'une relique sous la forme d'une lourde statue métallique dans laquelle est conservé le cinquième élément, un être humanoïde incarnant le « bien », et nécessaire au combat contre le « mal absolu » qui s'abat sur Terre tous les cinq mille ans. Lors d'un combat entre deux espèces venant de planètes différentes, seule une main métallique contenant quelques cellules vivantes est retrouvée. Un laboratoire militaro-scientifique parvient à en reconstituer et à ranimer le « cinquième élément », une femme dotée de facultés physiques et mentales exceptionnelles.

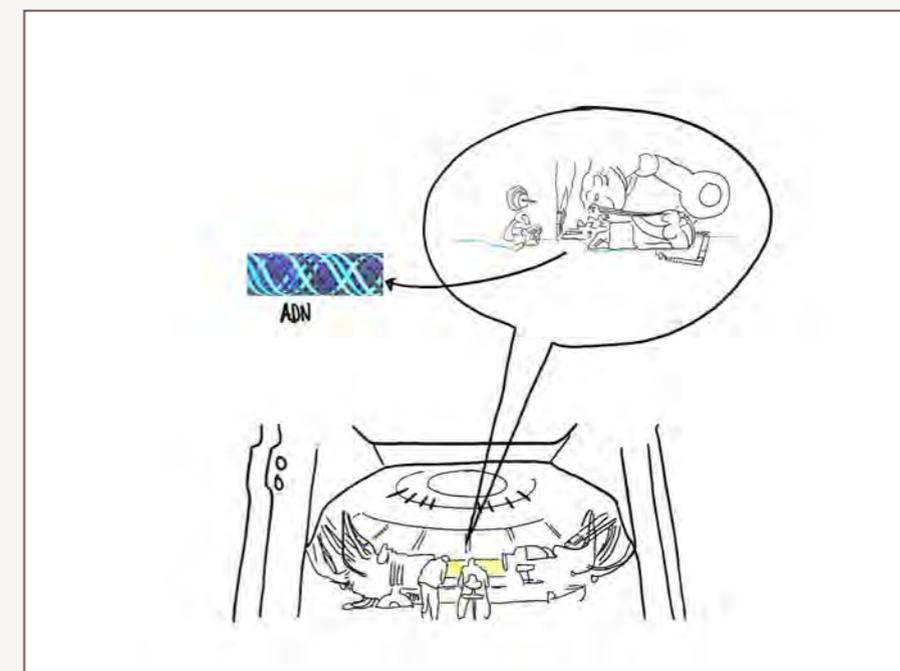


Figure 41 — : Scène de reconstruction de l'être suprême, la création de Leeloo, dans *Le Cinquième Élément* (Besson 1997)

Les décors du film sont du chef décorateur Dan Weil²³⁹, formé au Royal College of Art. La scène dans le laboratoire qui fait revivre l'« être suprême », nous intéresse ici. L'ADN retrouvé dans la relique s'avère être différent de l'ADN humain, en lieu et place de la double hélice se trouve une hélice multipliée, contenant un savoir génétique décrit comme « infini ». Leeloo détient 200 mnémogroupes d'ADN contre les 40 habituels d'un être humain. « Comme si cet être était le produit d'une haute technologie »²⁴⁰ fait l'hypothèse l'un des scientifiques présents. Le présupposé est que l'ADN en tant que code serait suffisant pour recréer un orga-

238 Il n'y a pas de séparation nette entre l'acte de soin et celui de création dans cet imaginaire technologique.

239 Dan Weil est connu pour la *Radio in a bag* (littéralement, « radio dans un sac » qu'il conçoit en 1982.

240 «Almost like this being was engineered.» ma traduction

nisme entier. L'ADN est assimilé au bit de l'information et l'ingénierie tissulaire à l'exécution d'un programme informatique. Dans un ballet robotique sur fond de la musique d'Eric Serra, les bras robotisés bâtissent, couche par couche, la structure osseuse, la couche nerveuse puis tissulaire, pour finir par un bombardement d'atome solaire visant à la création de l'épiderme, couche finale et extérieure du corps. On voit ici comment le ciné-objet de la cabine de reconstruction du corps de Leeloo rejoue l'imaginaire d'un corps morcelé dont l'ADN serait l'essence absolue. Au geste de dissection moderne vient se replier un imaginaire de la reconstruction couche par couche du corps humain.

Dans un autre exemple, nous verrons comment l'essentialisme moléculaire de l'ADN est repris. L'essentialisme tient à ce que la vie entière soit contenue dans un élément biologique déterminé par la génétique et modifiable techniquement. Dans l'épisode USS Callister (Brooker 2017), le personnage principal, Robert Daly, est créateur du jeu vidéo en ligne Infinity, développé par la société qu'il a co-fondée, Callister Inc. Ce fan inconditionnel de Space Fleet, une série télévisée de science-fiction des années 1960, similaire à la série Star Trek de notre monde, reproduit dans son logiciel de vie virtuelle le vaisseau USS Callister dans lequel il clone numériquement certain·e·s de ses collègues et associé·e·s, condamné·e·s à lui obéir. Maîtrisant leurs actions et apparences dans le monde numérique, Robert Daly incarne la figure du geek frustré, avide de reconnaissance et de pouvoir. Toby Haynes et Colm McCarthy, scénaristes de cet épisode²⁴¹, interrogent la puissance potentielle des acteur·ice·s du monde numérique quand ces dernier·ère·s auront accès à nos données biologiques, les plus essentielles : notre ADN. Du fait de son caractère dystopique, la série dénonce un potentiel pouvoir des géants du numériques, qui fait écho aux régimes de féodalité (Morozov 2016) analysés par le penseur des implications politiques et sociales du progrès technique et du numérique d'origine biélorusse, Evgeny Morozov.

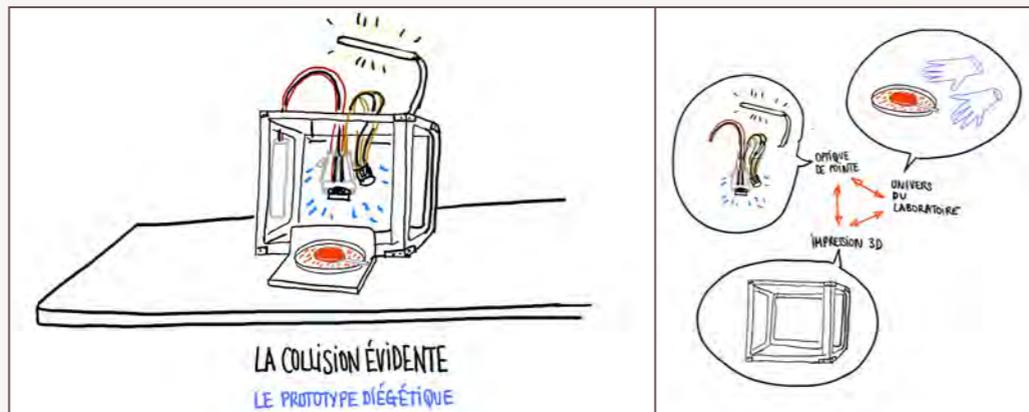


Figure 42 — : Illustration du prototype diégétique d'un réplicateur à ADN numérique de la série Black Mirror dans l'épisode USS Callister et représentation de ces imaginaires imbriqués.

241 La série Black Mirror a la particularité que ses épisodes ne se suivent pas chronologiquement. En dehors de quelques rappels symboliques, chaque épisode est le fruit de l'imagination d'un·e scénariste différent·e et n'entretient pas ou peu de liens avec ceux qui le précèdent.

Bien que les pratiques scientifiques et les discours portés sur ces pratiques diffèrent (Guchet & Legallais 2019), et bien que les techno-utopies du corps puissent apparaître comme un horizon lointain, nous pensons qu'il émerge dans ces exemples une forme de gouvernance des sciences qui peut opérer au niveau des imaginaires et de l'influence idéologique. Si un imaginaire permet d'ouvrir un horizon de pratiques, l'idéologie s'installe dans une croyance partagée ne permettant souvent pas de recul critique. Nous pensons que la biopolitique des techno-utopies des corps prend lieu et forme dans les gouvernances des politiques scientifiques qui s'exécutent par projet. Dans ces formes de pouvoir, la convergence apparaît comme un but inéluctable vers lequel les pratiques des nanotechnologies doivent tendre et dont l'idéologie d'un corps « augmenté » constitue l'horizon. Les histoires qui mettent en scène les techno-utopies du corps matérialisent des objets impossibles, qui rendent tangible l'hybris²⁴² à l'origine des nanotechnologies.

En les implantant matériellement dans des prototypes diégétiques et dans des scénarios fictifs, les ciné-objets investissent l'idée d'un corps réparable. Ces techno-utopies des corps soulignent le désir de toute-puissance à l'origine des développements techniques de manipulation de la vie à des échelles miniatures. Nous pensons que ces fictions légitiment une forme de réductionnisme technologique, qui est très problématique, car cela banalise un imaginaire, qui n'est pas réel, mais fondé sur une fiction scientifique et une hypothèse qui reste encore à démontrer.

Gardons en tête ce passage à travers l'histoire des technologies et ses imaginaires associés afin d'analyser certains récits spéculatifs des designers. Quels rapports entretiennent les ciné-objets inventés par les designers avec les techno-utopies des corps ? Si une partie des développements scientifiques tend à corroborer ces récits de toute puissance technologique sur le devenir de la vie, avec les dérives de gouvernance et de pouvoir que nous avons posés, comment les designers s'emparent-ils de ce sujet ?

2. Incarnation des techno-utopies du corps dans les objets impossibles de design fiction

Un certain nombre de projets issus de pratiques de design spéculatives et d'objets présents dans les fictions filmées reprennent à leur compte les techno-utopies des corps qui organisent un imaginaire de la science de manière performative. Ces projets, pour la plupart issus de pratiques anglo-saxonnes, viennent prendre au sérieux les projections faites à l'endroit des nanotechnologies.

242 « L'hybris, ou hybris, en grec ancien : ὕβρις, est une notion grecque qui se traduit le plus souvent par "démensure". Elle désigne un comportement ou un sentiment violent inspiré par des passions, particulièrement l'orgueil et l'arrogance, mais aussi l'excès de pouvoir » (Wikipédia)

Le speculative design, comme décrit et analysé par les designers Anthony Dunne et Fiona Raby, a pour objet de rendre la réalité plus malléable (Dunne 2013). À force de penser des potentiels possibles et pluriels, le speculative design pourrait rendre le devenir des NBIC moins univoques et réorienter l'imaginaire des techno-utopies des corps dans une direction moins progressiste. Ce type de design prend la forme d'objets impossibles qui ne peuvent ni être réalisés ni être produits, et qui n'ont pas vocation à l'être. Leur existence fictionnelle offre paradoxalement une prise tout à fait tangible à des problématiques sociales, techniques et politiques. En effet, ces dernières sont frictionnées et rendues lisibles à travers des objets fictionnels qui incarnent de nouveaux rapports de pouvoir, de nouvelles règles sociales, etc.

Nous voudrions débiter ici par une hypothèse relative au design spéculatif souvent posé et qui stipule que le scénario serait un outil critique pour les designers. Selon nous, dire que la composante fictionnelle du design est un outil revient à instrumentaliser ce qui fait partie à part entière du design : sa composante critique d'une part et sa capacité à la projection d'autre part. Pour autant, le mouvement de critical design nous importe pour plusieurs raisons. C'est à travers lui, que s'ouvrent des Paysage[s] inexploré[s] (Lehanneur 2011) pour les designers, à l'image des technologies de l'information ou nanotechnologies. Alors qu'il était designer chez Sony, Anthony Dunne est frappé de voir que le rôle du designer se réduit à l'encapsulation des objets techniques, à la manière du mouvement de streamline américain (Midal 2009). Dans sa thèse *Hertzian Tales*, il fait alors l'hypothèse d'une pratique du design qui s'intéresse aux concepts, aux idées en tant que matériau pour les designers (2008 [1997]). C'est lors de l'exposition *Monitor as material*²⁴³ (1996) au Royal College of Art que Fiona Raby, qui travaille avec Anthony Dunne, se rendra compte que le caractère conceptuel de leurs recherches est difficilement compris par le public qui ne perçoit pas l'intérêt des objets présentés. C'est ainsi qu'ils postulent qu'il n'y aurait plus besoin de faire un prototype fonctionnel, et qu'il suffirait de faire une maquette à faire jouer dans un scénario, ce qu'Anthony Dunne nomme le « conte matériel » (2008 [1997]). Anthony Dunne appuie son argumentaire en citant le film *Apple Knowledge Navigator* de 1987 dans lequel est présenté un prototype diégétique d'ordinateur personnel. Le prototype diégétique est un « artefact performatif » qui représente de manière cinématographique des technologies futures : c'est l'objet dont on montre l'usage possible à l'écran (Suchman, Trigg & Blomberg 2002). Il est habituellement utilisé pour démontrer le bien-fondé du développement d'une technologie. Le terme diégétique emprunte son étymologie à la diégèse — qui se rapporte à la narration. C'est à des fins didactiques que Dunne & Raby utilisent la vidéo, afin de faire comprendre comment actionner des objets qui n'ont pas de fonctions pratiques, mais plutôt des fonctions émotives, ce que Emanuele Quinz (2015) appelle les « fictions fonctionnelles ». Dans ce cadre, le scénario n'est pas un outil, mais plutôt une posture, une position, qui admet que le présent n'est pas continu et que le réel n'est qu'un état des possibles (Dunne & Raby 2013).

243 Nous remercions Catherine Geel pour ces apports historiques.

Dans un ouvrage récent (2013), *Speculative Everything*, Anthony Dunne et Fiona Raby insistent sur le rapprochement entre recherche scientifique et design. Selon elle et lui, « un domaine dans lequel le design en tant que critique a une application pratique évidente est la recherche scientifique.²⁴⁴ » (Dunne et Raby 2013) Ainsi, les capacités de projection des designers font qu'ils peuvent regarder les possibles conséquences des applications technologiques avant qu'elles ne se produisent. L'argument du duo britannique se situe à la transition entre le laboratoire et la vie de tous les jours, c'est-à-dire l'espace domestique, dont tous les designers pourraient s'emparer pour proposer des objets à débattre, mettant en scène les implications futures des recherches technologiques. Ils expliquent que « [l]e design peut explorer les perceptions du public à l'égard de différents futurs biologiques avant qu'ils ne se produisent et contribuer potentiellement à la conception de réglementations qui garantiraient que les scénarios les plus humains et les plus souhaitables sont les plus susceptibles de se réaliser. »²⁴⁵ (Dunne & Raby 2013). En ayant posé le contexte du récit des origines des nanotechnologies, nous pensons que cet usage de la spéculation pour anticiper le futur des sciences n'est pas si simple à mener. En effet, il exige des designers qu'ils se dégagent des idéologies et connaissent l'histoire des sciences afin de ne pas donner crédit à des discours techno-scientifiques, qui comme nous l'avons dit, ordonnent une manière de conduire la recherche par « innovation » et scientisme.

Les trois projets suivants illustrent ce mode de design fictionnel reprenant à son compte des inventions scientifiques et les mettant en débat dans des objets impossibles, comme matière à penser les techno-utopies des corps. Nous explorons avec Anthony Masure avec plus de détails certains de ces exemples dans le recueil de notices, *Fictions, dissections, spéculations* : les prototypes d'objets fictionnels qui interrogent les techno-utopies des corps dans ce même ouvrage.

244 « One area in which design as critique has obvious practical application is science research. » ma traduction

245 « design can explore public perceptions of different biofutures before they happen and potentially make a contribution to the design of regulations that ensure the most humane and desirable futures are the most likely to become reality. » ma traduction



Figure 43 — : James Auger, 2001, *The Audio Tooth Implant*

The Audio Tooth Implant (2001) de James Auger matérialise l'idée d'un implant dentaire contenant un émetteur et récepteur audio pouvant faire office de téléphone, directement intégré dans la mâchoire lors d'une chirurgie dentaire. Il reprend la miniaturisation des processeurs à des échelles nanoscopiques et rend envisageable son implantabilité. Le projet de design-fiction a connu un réel débat public, puisqu'il a également fait l'objet de la couverture du Times en 2002 où il était décrit comme « l'invention la plus cool de l'année ».

The modular body (2016) de l'artiste Floris Kaayk (Pays-Bas) est une expérience en ligne de science-fiction autour de la création d'OSCAR, un organisme vivant composé de cellules humaines. L'interface numérique permet de naviguer au sein d'histoires parallèles, des micro-scénarios qui forment un réseau — une string figure au sens de Donna Haraway (2020). Cette histoire met en scène un biologiste, Cornelis Vlasman, qui démontre la possibilité de créer une vie modulaire à partir de cellules souches qui peuvent être reprogrammées, cultivées et imprimées comme n'importe quel type de tissu humain. Cet organisme est fait de blocs, à la manière de blocs fonctionnels, ce qui n'est pas sans rappeler les recherches récentes (Abaci et al. 2015)²⁴⁶ en ingénierie tissulaire où des modèles réduits d'organes sont connectés les uns aux autres par des microcanaux afin de tester différentes hypothèses médicales. Ces objets techniques sont appelés human-on-a-chip.

246 Le terme human-on-a-chip ne fait pas consensus dans la communauté scientifique dont certains membres soulignent le caractère très réductionniste de la vision du corps humain à l'œuvre dans cet objet technique, voir définitions sur CODEX - Accueil, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 23 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://codex.laas.fr/fr/>

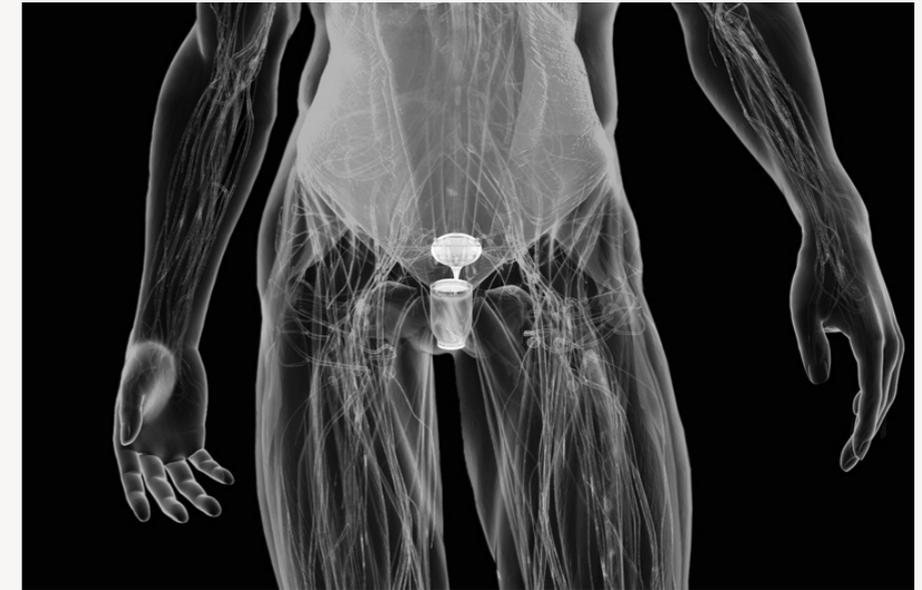


Figure 44 — : Takram, 2012, *Shenu hydrolemic system*

Le projet du studio Takram est une commande pour la treizième édition de la Documenta 13, une exposition d'art moderne et contemporain qui se tient tous les cinq ans, à Kassel dans le Land de Hesse en Allemagne. La treizième édition s'est tenue en 2012 et avait pour thème l'émancipation de l'art sous le leitmotiv « Collapse and Recovery ». Le projet se présente sous la forme d'un court métrage de sept minutes trente disponible sur la plateforme YouTube et mêlant scénario écrit, création sonore, animation 3D et schémas explicatifs sur les besoins en apports d'eau du corps humain. Le studio japonais expose une série d'organes artificiels, et détourne ce faisant la commande de la documenta, qui demandait à l'origine le design d'une bouteille d'eau dans une planète abîmée, à horizon 2112. Le système d'organes artificiels présenté est incarné par six ciné-objets distincts : des sortes de gélules-bonbons fournissant la quantité minimale d'eau, de nutriments et d'hormones dont le corps humain a besoin ; des inserts pour les cavités nasales qui permettent de condenser l'air expiré sous forme d'eau (qui font irrémédiablement penser au roman *Dune* [1965] de Frank Herbert) ; un collier cervical qui refroidit le corps ; des vaisseaux sanguins artificiels permettant de produire de l'électricité en utilisant la température excessive du sang pour alimenter le collier cervical ; des appareils implantés dans la vessie afin de concentrer l'urine et renvoyer l'eau extraite vers les reins et enfin le Renal Fecular Dehydrator » un appareil placé dans le rectum renvoyant l'eau extraite des matières fécales vers le gros intestin.

À partir de ces trois projets, issus de cultures, de dates et de contextes différents, nous voyons bien comment une partie de la production artistique et de design prend pour acquises certaines hypothèses scientifiques issues du récit des origines des nanotechnologies pour en faire des matériaux à penser.

L'éthique est, selon le duo britannique Dunne et Raby, le but même du critical design (Lehanneur 2011). Le designer Xavier Montoy, participant au concours iGEM en 2016 au sein de l'équipe Pasteur pour le projet Moskito²⁴⁷, analyse dans son mémoire de recherche (2018) la place de l'éthique dans le contexte de ce concours de biologie synthétique. Citant Bernadette Bensaude-Vincent et Dorothee Benoit-Browaeyns (2011), il souligne l'ambiguïté attribuée à l'éthique : elle aurait potentiellement plus le rôle d'accompagnement de la recherche que celui de proposer une remise en question. En se focalisant sur les risques, elle n'interrogerait pas la pertinence des recherches scientifiques et se cantonnerait même à jouer un rôle d'accompagnatrice, voire d'aide au pilotage de la recherche. Ce biais est également soulevé par Anthony Dunne et Fiona Raby qui font l'hypothèse que les projets de design fiction pourraient, sans en avoir l'intention, « ouvrir la voie à une plus grande acceptation de la biotechnologie. »²⁴⁸ (2013). Cette critique de l'« éthique embarquée » américaine pousse à se demander comment l'éthique peut infléchir les développements des technosciences. Elle montre, à notre sens, qu'en se situant dans un après de la recherche, et non pas dans une recherche en train de se faire, les positions de l'éthique d'une part dans l'« éthique embarquée » et dans la position critique du speculative design, ne permettent pas d'infléchir véritablement les directions de la recherche. L'éthique embarquée et le speculative design éclairent les biais et les risques des technologies sans véritablement arriver à influencer ses usages ou son développement. La spéculation des recherches scientifiques exige selon nous de s'intéresser de plus près aux pratiques et à la « science en train de se faire » (Latour 2005). Cet intérêt exige un temps de projet nouveau, plus long, car les projets scientifiques ont une temporalité longue allant de 3-4 années pour une thèse à plusieurs décennies pour le développement d'une technologie.

Pour que continue de s'installer une critique par le design, il faut se saisir à notre sens de l'appareil critique de Donna Haraway (2007) et ainsi filtrer la réalité au prisme de la triade : imaginaires, pratiques et savoirs.

Vers un matérialisme spéculatif du design fiction

Le cas des nanotechnologies et des techno-utopies du corps n'est pas trivial. Les sciences sociales ont montré comment l'imaginaire futur des nanotechnologies a précédé la pratique même de ces dernières (Bensaude-Vincent 2009, Loeve 2009, Guchet 2016). Une autre remarque doit être faite : la médiation des pratiques scientifiques souffre par ailleurs d'une mythification, et d'une mise à distance des termes mêmes qui la qualifient. Si l'on prend le cas des « organes sur puces » développé en laboratoires (Schwamborn & Ertl 2020), le terme « organe » est un abus de langage : un amas de cellules souches issues d'un-e donneur-se et cultivées sur une topographie 3D miniature reproduisant certaines caractéristiques d'un organe, ne fait pas de cet objet technique, un rein, un foie, un cœur, ou un poumon. Or, si c'est

247 <https://xaviermontoy.net/Moskito>

248 « paving the way for a greater acceptance of biotechnology. » ma traduction

depuis ces informations, à savoir, les projections faites par certains programmes scientifiques (par exemple le rapport sur la convergence) et la médiation de certains projets (par exemple la médiation des recherches de Atala), que les designers spéculent le monde ; tout porte à croire que l'anticipation, la spéculation, la fiction s'appuient sur les bases d'une illusion.

Isabelle Stengers, philosophe des sciences, chimiste de formation, revient sur la philosophie spéculative opposée à la dialectique Kantienne²⁴⁹. Dans l'article « L'insistance des possibles » (2015), elle explicite en quoi les possibles s'opposent au probable. Selon elle, le probable découle d'études minutieuses et mathématiques du réel, tandis que le spéculatif exige que nous soyons des observateur-ice-s, des guetteur-se-s, capables de nous saisir des signes des changements en cours qui pourraient importer. Ce qui pour nous compte, a de l'importance, ces points de vigilance, exigent de nous une responsabilité et une réponse-habilité, c'est-à-dire, dans le vocabulaire de Haraway et que Stengers explique comme « une capacité de répondre d'une action ou d'une idées pour ceux pour qui elles auront des conséquences. » (Stengers, 2015). La pensée spéculative selon Stengers ne peut faire l'économie d'une pensée située. Si le design contemporain tente de faire œuvre de gestes spéculatifs et rendre perceptible ce qui nous est habituellement caché par la couche des habitudes, les scénarios semblent parfois « hors-sol ». Il nous manque peut-être une façon de spéculer qui nous engage depuis un point de vue et une situation particulière²⁵⁰, et assume que ce point de vue situé ne peut être universel.

Depuis les années 2010, les projets de critical design ont interrogé les techno-utopies des corps. Si un nombre important de projets s'inscrivent sous le mode de questions en « Et si ? », d'autres projets, plus ténus, ravivent les utopies socialistes : l'interrogation par le scénario, la fiction, de nos institutions politiques et la possibilité afférente d'une réorientation politisée de nos imaginaires semblent une voie à privilégier pour rendre habitables les techno-utopies des corps.

Quelques réflexions sur la biopolitique & les questions de gouvernance biologique

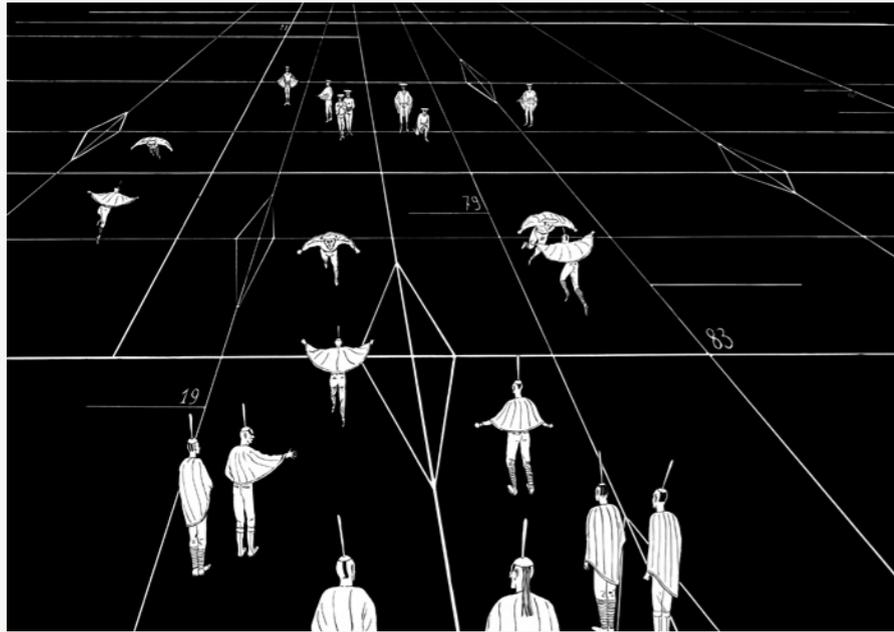
Dans la réflexion qui nous occupe ici, le biopouvoir précité est précisément ce que mettent en jeu les technos utopies des corps. Il s'agit de contrôler les productions techno-scientifiques, les usages de ces dernières et la désirabilité sans cesse promise d'un tel futur, un devenir du corps « amélioré », c'est-à-dire dont les capacités seraient « augmentées » à l'aide des biotechnologies. En effet, cette question de l'amélioration des performances humaines soutient l'idée qu'une meilleure productivité du corps en termes de rendement énergétique, de puissance intellectuelle ou de force motrice serait en soi une amélioration ou évidemment désirable. On peut opposer plusieurs arguments à ce présupposé, tel que l'addition de ces dites perfor-

249 « Analyse ayant pour objet les raisonnements partant de prémisses probables (logique de l'apparence) par opposition à l'analytique se fondant sur des prémisses certaines (logique de la réalité). » CNTRL

250 C'est ce que défend Haraway en convoquant par exemple les romans d'Ursula K. Le Guin.

mances ou encore questionner leur supposé caractère universel (Pandelakis 2020). Dans ce programme intellectuel se dessine une feuille de route qui vise, entre autres, à maîtriser le devenir biopolitique des populations.

Un projet (un peu à part) de Dunne & Raby nous intéresse, en ce qu'il ne spéculé pas cette fois-ci sur une mise en devenir d'une technologie existante, mais vient plutôt regarder comment un « art de gouverner », une biopolitique particulière, modifie des façons de vivre nos



mobilités (transport).

Figure 45 — : Dunne, Anthony et Raby Fiona. 2014. *United micro Kingdom : Lives and Landscapes*. Illustrations de Miguel Angel Valdiva, *Anarcho-evolutionist national sport*.

Dans le projet *United micro-Kingdom* (2013) Dunne et Raby déplacent la question du transhumanisme en imaginant un groupe ou peuplade utilisant les modifications génétiques pour adapter leur corps en fonction de la nature de leurs déplacements. Des corps élancés volent, des corps trapus produisent l'énergie pour un déplacement sur un vélo géant. Le groupe s'organise de façon autonome via des théories du don et contre-dons, de l'agencement des tribus primitives. C'est un monde sans voiture où la sociabilité et la coopération sont les valeurs les plus importantes : les valeurs modèlent les actions entre les choses. C'est ce que mettent en scène Dunne and Raby avec le médium de l'illustration. La série de vingt illustrations qui accompagne le projet en 2014 est issue d'une collaboration avec Miguel Angel Valdiva. Ce prolongement est une commande pour la deuxième biennale de design d'Istanbul. Elle dépeint la vie et le paysage de ces *United micro Kingdoms*. Les *anarcho-evolutionist* offrent une vision d'un transhumanisme de communauté bien éloigné de la vision individualiste

habituellement prônée pour ce courant idéologique. Le projet reste à un stade conceptuel : il est maquette, dessin et installation. L'état inabouti et volontairement irréalisé, autrement dit, d'entre-deux, fait que le projet fonctionne en tant qu'objet conceptuel. Il fonctionne comme « fiction fonctionnelle » (Quinz 2014) et comme « conte matériel » (Dunne 2008).

Conclusion : Pour une pratique située du design fiction

Dans « Nanotechnologies et ingénierie du foie bioartificiel. Une autre idée de la « convergence technologique » » (Guchet & Legallais 2019) les auteur·ices, respectivement philosophe des techniques et médecin et chercheuse en bio-ingénierie nous invitent à considérer les discours d'une part et les pratiques d'autre part, à travers la conception d'un foie bioartificiel. Les auteur·ices ont une autre idée de la convergence technologique où le faire et les pratiques scientifiques ne corroborent pas le désir d'hybris et au contraire font resurgir les notions de soin, d'attention et de prudence propres, selon l'auteur à cette recherche tâtonnante et expérimentale. L'observation des pratiques nous incite à dévoiler, ou pour reprendre les termes de Pierre-Damien Huyghe, à « dé-couvrir », l'imagination qui entoure la bio-impression 3D.

Au fond, les objets impossibles dans les fictions filmées et certains projets de design, quand ils n'existent que pour leur caractère performatif manquent parfois la longue route qui est à l'origine des « poussées techniques » (Huyghe 2014), marquée par les hésitations, les questions, la rencontre de limites. Nos fictions devraient être des fictions hésitantes, des fictions étranges qui nous conduisent à aimer cette vie dans le trouble (Haraway 2020). Dans cette vie, l'humain ne sera pas augmentable par une addition de caractéristiques, il sera augmentable de la somme des relations qu'il pourra lier aux autres vivants, augmentable des liens qu'il formera au sein de son écosystème. Nous suggérons que les designers s'emparent de ces questions à l'aide des outils des anthropologues afin de questionner les imaginaires technologiques en profondeur.

Bibliographie

- Abaci, Hasan Erbil, et Michael L. Shuler. 2015. «Human-on-a-chip design strategies and principles for physiologically based pharmacokinetics/pharmacodynamics modeling». *Integrative Biology* 7 (4) : 383–391.
- Altmann, D., K. Andler, K. Bruland, N. Nakicenovic, et A. Nordmann. 2004. «Converging technologies-shaping the future of European societies». <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/12590/>
- Bensaude-Vincent, Bernadette. 2009. *Les Vertiges de la technoscience*. Paris : La Découverte.
- Bensaude-Vincent, Bernadette, et Dorothée Benoit-Browaays. 2011. *Fabriquer la vie : où va la biologie de synthèse?* Paris : Seuil.
- Dautrey, Jehanne, et Emanuele Quinz. 2014. *Strange design : du design des objets au design des comportements*. Villeurbanne : it: éditions.
- Drexler, K. Eric. 1986. *Engines of creation: the coming era of nanotechnology*. Anchor.
- Drexler, K. Eric. 2006. *Engines of creation 2.0: the coming era of nanotechnology*.
- Dunne, Anthony. [1997] 2008. *Hertzian Tales : Electronic Products, Aesthetic Experience, and Critical Design*. The MIT Press.
- Dunne, Anthony, et Fiona Raby. 2013. *Speculative Everything: Design, Fiction, and Social Dreaming*. MIT Press.
- Fassin, Didier. 2006. «La biopolitique n'est pas une politique de la vie». *Sociologie et sociétés* 38 (2) : 35–48.
- Foucault, Michel. [1978] 2004. *Naissance de la Biopolitique : Cours au Collège de France, 1978-1979*, Paris. Gallimard/Seuil, coll. «Hautes Études»
- Guchet, Xavier. 2016. *La médecine personnalisée : un essai philosophique*. Les Belles Lettres.
- Guchet, Xavier, et Cécile Legallais. 2019. «Nanotechnologies et ingénierie du foie bioartificiel. Une autre idée de la « convergence technologique »». *Philosophia Scientiae* 23 — 1 (1) : 121 — 35.
- Haraway, Donna, Laurence Allard, Delphine Gardey, et Nathalie Magnan. 2007. *Manifeste cyborg et autres essais : sciences, fictions, féminismes*. Exils Paris.
- Haraway, Donna J. 2020. *Vivre avec le Trouble*. Vaulx-en-Velin : Les Éditions des mondes à faire.
- Huyghe, Pierre-Damien. 2014. *À quoi tient le design*. De l'incidence éditeur.
- Jacob, François. 1987. *La logique du vivant : une histoire de l'hérédité*. Gallimard.
- Latour, Bruno. [1987] 2005. *La science en action : introduction à la sociologie des sciences*. La Découverte.
- Lehanneur, M. 2011. *Un paysage inexploré, Entretien avec Dunne & Raby*. Azimuts.
- Loeve, Sacha. 2009. «Le concept de technologie à l'échelle des molécules-machines. Philosophie des techniques à l'usage des citoyens du nanomonde».

- Thèse de doctorat sous la direction de Bernadette Bensaude-Vincent, Université de Paris-Ouest, soutenue le 21 septembre, [en ligne], <http://www.theses.fr/2009PA100077>
- Maestrutti, Marina. 2011. «Techno-imaginaires du corps à l'ère des technosciences. Art contemporain et utopie de la transformation». *Cahiers de recherche sociologique*, n°50 : 77–95.
- Mendini, Alessandro, Catherine Geel, et Pierangelo Camamia. 2014. *Ecrits d'Alessandro Mendini : (architecture, design et projet)*. Les Presses du réel.
- Midal, Alexandra. 2009. *Design : introduction à l'histoire d'une discipline*. Pocket.
- Monod, Jacques. 2014 [1970]. *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*. Le Seuil.
- Montoy, Xavier. 2018. «Artifice Naturel : mettre en forme le vivant». Mémoire de fin d'étude sous la direction de Camille Bosqué, l'ENSCI Les Ateliers.
- Morozov, Evgeny. 2016. «Féodalisme 2.0». *Le Monde diplomatique*, 27 avril 2016. <https://blog.mondediplo.net/2016-04-27-Feodalisme-2-0>.
- Pandelakis, Saul. 2020. «transhumanisme et traces d'humanité». *Conforme Magazine*, 22 décembre 2020. <https://www.conformemagazine.com/post/saul-pandelakis-transhumanisme-et-traces-d-humanite%C3%A9>
- Roco, M. C., et W. S. Brainbridge. 2002. *Converging technologies for improving human performance*. National Science Foundation, June 2002.
- Ruyer, Raymond. 1950. *L'utopie et les utopies*. Presses Universitaires de France.
- Rey, Olivier. 2018. *Leurre et malheur du transhumanisme*. Desclée de Brouwer.
- Schwamborn, Jens Christian, et Peter Ertl. 2020. *Organs-on-a-Chip*. Elsevier.
- Suchman, Lucy, Randall Trigg, et Jeanette Blomberg. 2002. «Working artefacts: ethnomethods of the prototype». *The British journal of sociology* 53 (2): 163–179.
- Stengers, Isabelle. 2015. «L'insistance du possible». Dans *Gestes spéculatifs*, édité par Didier Debaise et Isabelle Stengers. Dijon : Les presses du réel.

Filmographie

- Besson, Luc. 1997. *Le Cinquième Élément*. Gaumont.
- Blomkamp, Neil. 2013. *Elysium*. Alphacore, Media Rights, Capital, QED International
- Black Mirror* [TV] 2011 - 2019. créé par Charlie Brooker. Diffusé sur Channel 4 (2011–2014) puis en streaming sur Netflix 2016 - 2019.
- Westworld*. [TV] 2016. Créé par Nolan, Jonathan. Diffusé sur HBO.

Projectographie/Vidéographie

- Auger, James. 2001. Projet spéculatif «*The Audio Tooth Implant*». [en ligne], <http://www.auger-loizeau.com/projects/toothimplant>
- Dunne, Anthony et Raby Fiona. 2013. Projet spéculatif «*United micro Kingdom*». [en ligne], <http://unitedmicrokingdoms.org/>
- Kaayk, Floris. 2016. Site Web «*The modular body*». [en ligne] <https://www.themodularbody.com/>
- Studio Takram. 2012. Projet spéculatif «*Shenu hydrolemic system*». [en ligne] <https://www.takram.com/projects/shenu-hydrolemic-system>
- Mac History. 1997. Vidéo «*Apple Knowledge Navigator*». [en ligne] <https://www.mac-history.net/apple-history-tv-2011-08-02/apple-history-tv-knowledge-navigator>

Écriture fictionnelle et spéculative à partir d'un objet technique : Human-on-a-chip

Nous reproduisons une série de trois micro-fictions écrites initialement pour le second numéro du magazine de science-fiction en ligne *Vision*²⁵¹, sur le thème de *Visions of Humanity*. L'ensemble de ces travaux nous ont permis d'appréhender le sujet de la bio-impression 3D et des humains-sur-puce de manière critique et réflexive. Ces travaux utilisent comme « technologie littéraire »²⁵² la mise en récit. Ils ont été faits en parallèle du projet *Codex* et ont constitué pour nous une première manière de rentrer dans le sujet de la bio-impression 3D. Les modalités expressives du design (spéculation, fiction, illustration) nous ont permis de nous approprier ce sujet et de mieux comprendre la proposition que nous pourrions faire en tant que designer intégrée dans un laboratoire de science de l'ingénierie.

Nous exposons ici un travail d'écriture fictionnelle à partir d'un objet technique, « l'humain sur puce ». Les fictions reproduites ici sont issues d'un travail d'écriture questionnant les impacts sociaux potentiels des humains sur puce. Ces fictions peuvent être comprises comme des formes d'objets intermédiaires qui m'ont permis en quelque sorte d'organiser ma pensée et de comprendre les implications sous-jacentes à ces objets. Il est assez difficile de savoir quel statut leur donner dans cette présente thèse. En tant que témoins de mon processus de recherche-création, elles me semblent néanmoins intéressantes à faire apparaître.

Ces fictions relient entre elles des connaissances très disparates entre des lectures issues de la philosophie des techniques, des entretiens menés auprès des chercheurs et du travail de terrain pour comprendre au mieux ces objets techniques dans leur concrétude.

Par exemple, la fiction *Arcadians* s'appuie très concrètement sur un extrait d'une interview menée par un chercheur en biophysique travaillant sur un modèle réduit d'organe et l'influence des contraintes mécaniques exercées sur ce dernier. Dans cette interview menée en décembre 2018, au début de ce travail de thèse, le chercheur me partageait les dérives potentielles de tels objets techniques : « on pourrait imaginer à terme que certaines compagnies d'assurance malveillantes te demandent de créer un "toi sur puce" pour vérifier que tu n'as pas de risques de maladies cardio-vasculaires, etc. Je pense qu'on peut aller vers des dérives assez fortes. »

251 Les fictions n'ont pas été retenues pour publication. Voir : *Visions — A Literary Science Fiction Magazine*, [sans date]. *Visions Magazine*. [en ligne]. [Consulté le 26 avril 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.readvisions.com/>

252 J'emprunte l'expression à Donna Haraway.

Acadians

Dear friend,

I found in the Arcadian's numerical archives the three documents below, those are notes from Louis Coxia, a spanish researcher who brings us so much by describing the evolution of Human-on-a-Chip technology.

You know that I am trying to find some nice pieces for the 50th anniversary of our Acadian community. Well, tell me what you think of those.

Hope you're doing well,
Best,

Jani Orïta

Date : 15th of May 2028

Localisation : Bangalore, India

Title : notes_for_an_article_on_Acadia_service_for_una_nueva_mirada_spanish_journal

We are the only one responsible for the *good design* of our existence. Do you think you are able to transform yourself for the best?

Thanks to biological models, we discover that not only genetic determinism was in charge of our way of behaving and our predispositions for diseases. We encounter that all our cells, our bacterias, our micro-organisms determine who we are. The intrication between a huge amount of information connecting DNA, microorganisms and epigenetic information lead us to our faith. DNA modification was totally illegal and unpopular since 2021 and the death of six people due to CRISPR modification of their genome between 2018 and

2021. On the contrary, microorganisms and our behaviour could easily be modified by purpose. Furthermore, biological determinism is not limited to our body, it reaches the social and economical parts of our life. A better health and happier state of mind make us more performative and attractive. By design, we could redefine our behaving for a happier, a better us. Who never dream of being more productive and powerful?

On June 28, 2022, the well-known Nature journal published a cover where an organized network of Humans-on-Chips were living in harmony transferring biological informations to each other in order to maintain themselves in a state of homeostasis. Scientists intended to build a big program including social sciences to depict how social changes could happen thanks to biological paradigms. What if, we could bring you the molecule that would make you relax at the exact second before you would had a anxiety attack? What if, we could bring you the perfect action to make you more performative at a time when your company needs it the most ? What if we could bring your children more attention when they are at school ? What if we could make you a better person?

The reductionism was renewed by the idea of New Biologism, which focuses on Bio in a large scale, and in a symbiosis way. Thanks to the tracking of emotions, habits, and biological predictions, we were able to lead humanity in the good way.

A mondial flagship called "Bio for Good, lead Humanity to a better future" was launched in 2025 with high committee people of council for Science in the United States. People were making jokes on Twitter about Trump's 2020 slogan, "Better Humanity to Keep America Great Again." Two years later, Europe added a large program by 2040 entitled "Converging to Bio, let's lead Humanity to its best". Yet, people were ready for a new area of changes, were all kinds of mixing between biology and the future were possible. Each year, the committee gathered in a capital city, both in the United States

and in Europe. Of course, scholars in social sciences began to warn us that before anything should be done, we had to take an interest in what was the meaning of Good. Again, we were facing a large amount of articles harping on the death of the progress of humanity, the need for an area of hopes and enlightenment. Donna Haraway claimed clearly: "At the age of the death of humanity, some get to search for their own privilege and keep up a battle of the past; I believe in a technology leading us to a new freedom of imagination. If we have to design ourselves, let's design ourselves with the remembrance of our fight: Feminism, Freedom, Plurality!", she wrote, as the very first congress scheduled on September 24, 2025, happening in Boston. In Europe, a symposium was held in Paris on September 14, 2027, where they intended to draw new directions, more critical, and raised questions about what makes us human beings, after all?

Thanks to billions of US dollars and euros dedicated to these programs, some Indian scientists finally launched new start-ups on the market, offering services to guide people towards a "Better Toursef". A design made to shape our existences. These were totally personalized. By the year 2028, a new leader called Acadia - having for slogan "we design your life for the best" - began its lifestyle coaching services. Of course, the concept wasn't new, since the Google Play platform was already offering tons of such services. The innovation was the How: here, the method was totally biological. You could change yourself using the very constitutive elements of your body: all your cells.

Far away from online full services, Acadia chooses to mix physical and online trackings. The first step of the service was a complete appraisal of your habits and your goals in life. What are the most important values for you? How do you imagine yourself at the age of 62? Which person do you admire most and why? Ask the service. Each user had its own little companion called an Acadian, designed to help him or her define his or her goals and how he or she wanted to live. They carefully reported their skills, habits, objectives and natural abilities, then launched a huge network of "better hu-

mans starting a new micro-humanity". Together, they shared their best practices, their better abilities. In each country, they intended to create both physical and digital practices for the common good.

Simultaneously, the associated researchers of the company, Biosystem, based in Bangalore, began to become more and more effective. The Better You program was based on a biological model, called for the first time "Human-on-a-Chip" by 2014. They cultivated millions of human tissues. Their donors where the users of the services of Acadia which connected healthcare and life habits, explaining that the users were responsible for their own health and well-being, and that is why they needed to be proactive about it.

La dame brune

Une dame brune lit dans un grand fauteuil en croûte de cuir. La lumière perce à travers de vieilles persiennes en bois. Le jeu des ombres caresse ses épaules. Elle soupire. Une plante vigoureuse court le long d'un mur de pierre, cherche le soleil, s'écrase contre la vitre d'un vélux placé au milieu du plafond de la pièce. Au travers des motifs des feuilles se dessine un ciel chargé de lourds nuages. Il impose son sinistre et souligne la douceur des courbes du végétal. Le monde des vivants et des morts se loge dans l'embrasure de la petite fenêtre. Un imposant livre rouge triomphe sur les genoux de l'endormie. Chacun des objets de la petite tour semble emprunté à une époque lointaine. Mille et une vieilleries de papier couvrent la petite table basse, dont on devine à peine un motif peint à la main. Dans le creux des arabesques aux couleurs salies par les années, la marque des tasses et des verres posés année après année vient compléter ce tableau irréel. La longueur de son corps est soulignée par un léger tissu de soie sauvage. Paupières à demi closes, elle aperçoit ma silhouette. Et sans se dépêcher, elle me porte un regard lourd. Et sans s'excuser de son sommeil, elle me montre l'escalier, et m'invite à monter. Sur un demi-palier, elle entrouvre une épaisse porte en bois, ses pas résonnent sur la pierre.

La clarté violente de la pièce est aveuglante. Un laboratoire immense est aménagé. Dans l'univers plat de pictogrammes et de surface lisse, une structure apparaît plus clairement. Une sorte d'installation principale trône au milieu de la pièce qu'on ne saurait déchiffrer tant la diversité des éléments la constitue. Un grouillement de tuyaux, de fluides, de pompes, de câbles, d'aluminium et d'écrans sont connectés les uns aux autres. C'est comme si les boyaux d'une machine étaient exposés à vif. La structure semble fragile.

Qu'est-ce que c'est ?

Ce que vous êtes venu voir.

La *micro-humanity* ?

Celle-là même.

C'est fascinant ! Combien de tuyaux et de puces y a-t-il là-dedans ? C'est encore vivant ?

Oui, ça vit. Venez, je vais vous expliquer.

Elle s'installe à un poste en face de la structure. Je dirai qu'elle fait au moins deux mètres de haut sur trois de large, mais n'a pas de profondeur. C'est un genre d'opaque rideau fait d'un amas de tubes. Elle allume une unité centrale dont le modèle m'est inconnu. Je ne saurai même plus dire depuis quand ces modèles fixes ont disparu. Un écran à basse résolution demande un mot de passe. La dame brune pianote un long code. Elle exécute un programme intitulé *Humanity+*. De lourdes tâches font vibrer bruyamment le ventilateur. Pendant que les lignes du code font leur travail, elle m'expliqua l'origine de ce projet.

Le laboratoire que vous voyez – là a été construit il y a déjà trente ans pour la culture cellulaire de tissus humains. La construction de ce lieu se produit dans le même temps où la recherche publique arrête totalement son financement des grands instituts. Il faut s'imaginer qu'à ce moment-là ce sont des dizaines de milliers de scientifiques qui se retrouvent sans travail ni subventions. Bien entendu, la majorité d'entre eux a été invitée à travailler dans les entreprises qui ont racheté les équipements et instruments des divers centres scientifiques. Avec quelques amis, nous avons décidé de ne pas nous soumettre à ce barbarisme et de continuer nos recherches en sous-marin dans nos maisons. Peu après, j'ai proposé que nous réaménagions une partie de ma maison de famille pour fabriquer notre laboratoire idéal. Nous

nous sommes mis au travail. Nous avons peu de moyens, mais connaissions dans notre entourage de grands spécialistes dans la question des technologies low cost. Si déjà, nous avions conscience qu'une grande partie de nos données appartenaient aux sociétés mères qui gouvernaient nos nations ; elles n'étaient à nos yeux que les métadonnées de nos actions, que les fantômes et les mirages de nos vies. Nous qui étions scientifiques, nous savions qu'un grand programme de modélisation du vivant et de sa fabrication en modèle réduit avait commencé un peu partout en Chine et en Amérique du Nord. L'hybris humaine n'a pas de limite.

Comment le saviez-vous ?

Cela n'a jamais été un secret. Les politiques des recherches du monde entier affichaient cet objectif avec fierté. À coup de titres racoleurs et de belles histoires, ils ont joué encore un temps sur l'économie des promesses. Ils ont joué des fictions et des récits de nouvelles destinées humaines. Les hauts dirigeants cherchaient une échappatoire à la crise fatale de l'écologie. Ils avaient là une jolie fable à raconter : la possibilité de remodeler les vivants depuis sa plus petite particule jusqu'aux grands écosystèmes. C'était une façon d'échapper au fatalisme ambiant.

Pourtant, le réchauffement climatique était déjà prouvé scientifiquement depuis longtemps, non ?

Oui, vous avez raison, à cela je n'ai pas d'explication. La vérité n'est pas quelque chose de facile à écouter.

Combien de temps a pris la construction du laboratoire où nous nous trouvons ?

Une dizaine d'années, je dirai. Mais nous avons commencé très vite à travailler à l'aide de technologies très basiques, avec un équipement très précaire. C'était d'ailleurs assez intéressant, car nous ne pouvions plus faire une confiance aveugle à nos équipements. Nous avons appris à regarder beaucoup

plus les résultats et nous satisfaire parfois d'une seule expérience là où la méthodologie expérimentale en exigerait des dizaines voire des centaines.

Quel était votre but ?

Nous voulions apporter une solution totalement libre d'analyse des tissus humains et de la miniaturisation du vivant. Nous voulions que ces cultures servent les projets des citoyens et non pas le profit des quelques entreprises qui ont récemment racheté nos États-nations. Pour le dire simplement : nous voulions faire de la science libre pour faire avancer l'humanité.

Impressionnant ! On dirait que cela ne s'est pas si bien fini finalement ? Où est passée votre équipe ?

Effectivement, je suis désormais seule, et ce laboratoire n'accueille plus de scientifiques. Ce n'est pas tellement le manque de moyens qui a coulé notre navire que le manque de soin apporté à notre projet. Les jolies idées sont fragiles, vous savez.

...

Le programme qui s'était entre-temps allumé affiche une base de données complexe. Elle navigue dans une modélisation très précise en comparaison à la vétusté de son appareil. Elle me montre l'organisation de son dispositif. Une modélisation 3D interactive permet d'interagir avec le système. La structure d'apparence anarchique est en réalité à l'image des premiers programmes informatiques, sans machine learning où chacune des fonctions du système peut être gérée séparément. Plusieurs zones semblent fonctionner les unes avec les autres de la macro au micro. Un premier diagramme, appelé environnement, rassemble tout un tas de contraintes physiques : PH, température, molécules chimiques, luminosité, acides aminés, et sucres complexes. Chaque paramètre peut être défini manuellement. Des encarts préprogrammés

sont datés par années et par zone géographique.

Pourquoi y a-t-il marqué : *Mexico, 2023* ?

Grâce à une base de données et un échantillonnage, nous avons pu établir un micro-environnement rassemblant les éléments différenciants de la zone géographique de la ville de Mexico. Vous savez d'ailleurs qu'elle appartient au groupe Coca-cola désormais ?

Me dit-elle en relevant les yeux juste au-dessus du cerclage de ses lunettes.

Non, je ne savais pas...

Donc, nous avons modélisé puis reproduit les conditions réelles de Mexico en 2023, dans un modèle physique. Venez voir.

Je la suis. Nous sommes face à l'immense amas de tuyaux, à la façade incompréhensible pour le néophyte que je suis. Elle me pointe une toute petite zone à l'aide d'un laser, où l'on peut voir des microsillons creusés dans une matière transparente. Elle me dévisage.

Et voilà : c'est le Mexico de 2023 !

Elle me sourit.

C'est étonnant !

Nous retournons devant l'architecture 3D. Les autres zones sont classées en typologies de population, si l'on s'enfonce dans le système, il y a même des noms d'individu connectés au système, et certains sont comme mis en quarantaine dans des systèmes clos.

L'idée va vous paraître démente : nous avons modélisé des individus «types» et des environnements «types» ainsi que des

typologies de défaillance bactérienne, immunitaire et génétique. Ainsi notre système contrairement à ceux développés par les entreprises ne fonctionne pas pour un seul individu, mais pour un spectre élargi de population, il fonctionne pour une tribu si vous voulez. Chaque expérience que nous avons effectuée est répertoriée dans divers carnets de laboratoire et mise en ligne gratuitement. Petit à petit, nous avons prévu de développer des substances chimiques et biologiques et d'ouvrir les compositions chimiques aux populations en demande de ces médicaments.

Pourquoi est-ce que ça ne s'est pas fait ?

Cela s'est fait, pendant un temps, un temps seulement... Nous avons lancé plusieurs compositions, avons commencé à livrer quelques productions aux plus demandeurs. Vous êtes peut-être trop jeunes pour vous en souvenir, mais la grande migration de 2035 a tout bouleversé. Des millions de réfugiés climatiques fuyaient les pays du sud devenus trop chauds et impossibles à habiter. Les besoins de ces populations n'étaient pas la bonne santé, mais la simple survie. Et celle-ci était pratiquement impossible. Les projets de néo-colonialisme qui ont suivi ont permis d'apaiser une partie de la population immigrante, on a promis de retrouver la fertilité de leur sol grâce à des technologies de pointe, ce que l'on a partiellement réussi d'ailleurs. La question de la modélisation du vivant n'est pas encore leur priorité.

Vous avez l'air pensive.

Ce dispositif voyez-vous, n'est pas un simple instrument de recherche. Si je reste ici, malgré les dangers que représente le fait de vivre en ville, c'est pour m'occuper de tous ces vivants. Je viens les nourrir, je prends soin d'eux. Ce que je vois en eux, au-delà de la modélisation de l'humanité sur des puces, c'est bien plus une œuvre de mémoire. Cet objet étrange est la mémoire du passé. La mémoire d'une science de la modélisation, jusqu'à la réplique cellule par cellule d'un environnement. C'est la mémoire d'un environnement, de population,

de l'ADN. Qui sait? Un jour peut-être enverrons-nous cet objet informe dans un autre monde pour repeupler cette nouvelle planète d'une humanité-modèle? Peut-être que cet objet finira dans un musée comme représentation de notre démesure...

Nous nous quittâmes amicalement. Elle me proposa une tasse de thé. Sans savoir me l'expliquer, une fatigue immense s'était emparée de moi. J'aspirais à retrouver le confort des bureaux du journal. Loin de cette ville. Retourner travailler depuis notre micro-espace d'édition à la campagne. Je quittais cet endroit, mes sentiments mitigés. Dehors les épais nuages recouvraient la ville. Je descendais au premier métro. Je quittai à pas furtif cette ville devenue si glauque.

La diseuse de bonne aventure

tu vivras mille vies en une
tu connaîtras chacune des possibilités
tu ne choisiras pas
ce pouvoir ne t'est pas offert
tu serviras aux princes de ce monde
tu seras le test de leur propre vivant
tu ne seras jamais de chair
et parfois
tu sentiras
te pousser le début d'un corps
tes secrets seront vain
les vivants penseront que tu détiens
les informations providentielles
en vain
perfides, ce qu'ils liront de toi
perfide, ce que tu diras d'eux
malheureux
connaissant tes défaillances
ayant placé en toi trop d'espoir
ils feront mourir tes entrailles
toi, petit humain sur puce

5. Discussions et perspective :

Le *Codex* comme outil d'enquête (et non comme médium) expose la bio-impression 3D comme une matrice de pratiques hétérogènes et champ de bio-objets techniques non-finis. Nous exposons ici des points de vigilance et esquissons des perspectives à cette recherche.

Discussions

Le codex de la bio-impression 3D comme agrégat de communautés

Notre analyse montre que la bio-impression 3D n'est pas qu'une technologie. Elle incarne plutôt un agrégat de différentes communautés de recherche en train de voir le jour par l'intermédiaire des objets techniques. Cette conclusion donne à penser que la science des objets techniques devra être prise en compte dans les pratiques des chercheurs, qui ne s'occupent plus d'observation, ni seulement d'expérimentation, mais de la création d'objets techniques et bio-objets techniques à part entière. Par rapport au discours sur la bio-impression 3D posée en amont de ce chapitre comme un imaginaire de la réplique de morceaux de corps, le *Codex* permet de faire exister d'autres réalités de langages et en ce sens constitue un terreau pour de futurs imaginaires de la bio-impression 3D. Le *Codex* a également une existence en tant que sujet de conversation. Il crée avec lui un *matter of concern* des termes employés dans un champ techno-scientifique. Le *Codex* existe, et avec lui existe également, l'idée de devoir dialoguer sur les termes, les valeurs et les visées de la science. Et ceci de façon à ce que ce dialogue soit public. En ce sens, il peut être une *proof of concept* afin d'évaluer la pertinence et la nécessité d'autres formats de publication pour des champs de recherche interdisciplinaire telle que la bio-impression 3D. Nous soutenons cette pertinence de création de formats réflexifs dédiés pour la recherche en train de se faire.

Nous souhaitons mettre en évidence trois éléments de vigilance. Le premier élément concerne le temps (à la fois en termes de recul et de travail d'écriture) qu'exigent des démarches de design contributives. Le second concerne la notion d'interdisciplinarité et le troisième concerne l'aspect définitionnel.

Prendre le temps

Dès la discussion du lancement du projet, un aspect du *Codex* a été soulevé comme délicat. Ce dernier concernait la charge de travail supplémentaire que pouvait représenter une nouvelle forme de publication dans un contexte de travail déjà surchargé. En effet, les activités des chercheurs sont variées et impliquent par exemple suivi de thèse, recherche de financement, rédaction d'articles scientifiques, expérimentations, organisation de colloque, justification des dépenses et diffusions publiques de leur recherche. Dans ce paysage de la recherche scientifique, marqué également par une baisse des recrute-

ments²⁵³, exiger un nouvel effort de la part de la communauté scientifique pour s'engager dans une réflexion éthique et une forme de publication non reconnue scientifiquement semble audacieux. Dans le groupe de travail éthique du laboratoire, il n'y a à ce jour, aucun membre doctorant ou de « jeunes » permanents (MCF ou chargé de recherche). Ainsi, il semble que cette prise de temps pour la réflexion éthique devient envisageable dans un second temps de carrière, chez des chercheurs permanents ayant déjà atteint certains objectifs propres aux carrières scientifiques tels qu'un statut de directeur de recherche (DR) ou l'habilitation à diriger des recherches (HDR). Pourtant, les questions épistémologiques qui ressortent du *Codex* devraient, selon nous, être posées dès le début d'une carrière scientifique, par exemple dès le doctorat²⁵⁴. Le risque de cette inexistence de la réflexivité est de laisser cette partie du travail aux Humanités, qui deviendraient prescriptrices, juges ou encore travailleraient à l'acceptabilité sociale des technosciences. L'enjeu est donc de créer un dialogue entre le faire et des pratiques réflexives. Ainsi, intégrer des contributions pour le *Codex* à travers des moments déjà existants tels qu'école d'été, workshop, etc. semble une perspective intéressante pour la suite. Cela permettrait de mieux réfléchir la dynamique d'animation du *Codex* et l'intégrer à la vie scientifique.

Le projet *Abécédaire des mondes lettrés*²⁵⁵ (figure 46), qui nous a inspirés pour notre propre recherche, est inscrit quant à lui dans les sciences sociales. Nous ne pouvons pas comparer les projets, ils n'ont pas la même envergure. Mais nous soulignons que ces initiatives contributrices semblent fonctionnelles. Bien que de nombreux termes dans l'*Abécédaire des mondes lettrés* ne sont pas associés à des contributions (notices), il existe actuellement 83 notices dans l'*Abécédaire des mondes lettrés*²⁵⁶ pour deux-cents dix-huit termes proposés, ce qui montre la richesse et les potentiels de ces approches.

253 Sur l'année 2020 par exemple, le nombre de chargé de recherche au CNRS a chuté de 5 places (244 à 239 postes).

254 Notons qu'il existe aujourd'hui (en France) une formation doctorale obligatoire intitulée « Éthique et intégrité scientifique ».

255 *Abécédaire des mondes lettrés*, [sans date]. *Abécédaire des mondes lettrés*. [en ligne]. [Consulté le 13 mai 2022]. Disponible à l'adresse: <http://abecedaire.enssib.fr/sky>

256 Ce site fonctionne à partir d'entrées alphabétique comme « une cartographie de la bibliothèque comme instrument de travail pour le chercheur »* Ce travail a été initié par Christian Jacob dans un ouvrage, *Mondes lettrés : fragments d'un abécédaire** paru pour les vingt ans de l'École Nationale Supérieure des Sciences de l'information et des Bibliothèques (ENSSIB).

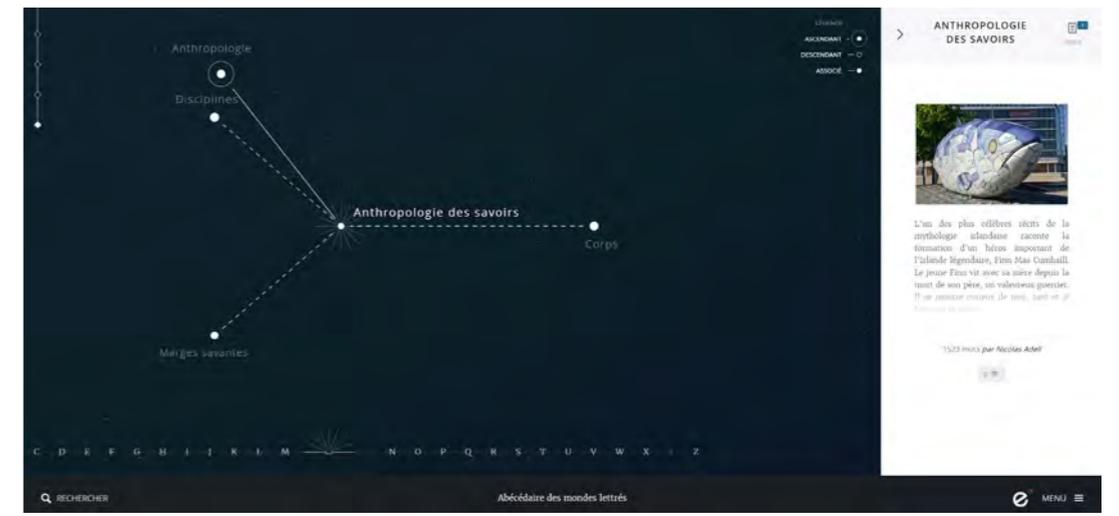


Figure 46 : capture d'écran du site *Abécédaire des mondes lettrés* sur la notice « Anthropologie des savoirs » l'abécédaire fonctionne en cartographie de terme, à la manière de cartographie céleste (ici le terme Anthropologie des savoirs est connecté à : Anthropologie, Disciplines, Corps, Marges savantes).

Une autre possibilité à tester serait de proposer ce projet directement aux instances du CNRS afin de structurer des projets interdisciplinaires émergents. Il nous faudrait imaginer un processus d'amélioration continu du logiciel prenant en compte l'évolution des pratiques et des usages du site. Dans cette éventualité, il serait intéressant de créer une page *Codex* générique, donnant accès au code source du site et aux diverses instances du *Codex* ouvertes, en cours ou finies.

Interdisciplinarité

Nous voudrions soulever un point de vigilance du projet qui faisait l'objet des intentions de départ du *Codex* et qui a été selon nous trop peu exploré. Il s'agit de l'interdisciplinarité du medium. Nous pensons qu'il s'agit d'une interdisciplinarité mineure dont s'accapare le *Codex*, et qu'il devrait pouvoir s'emparer d'une véritable interdisciplinarité, mélangeant humanités et sciences expérimentales. Ceci aurait sans doute permis une plus grande appropriation des formats de contributions libres et donné une autre dimension au projet lui conférant une potentielle robustesse.

Par ailleurs, dans l'ouvrage *Technique et design graphique*, Nicolas Thély explique le souci qui se pose pour les outils des humanités numériques qui doivent devenir suffisamment matures tel que l'outil *Omeka*²⁵⁷ pour permettre à une communauté d'acteurs suffisamment importante de s'en emparer.²⁵⁸ Ici nous n'avons pas eu le temps d'atteindre cette maturité et d'observer comment les communautés de l'impression 3D interagissent véritablement avec le medium du *Codex*. Néanmoins, le *Codex* pourrait se révéler utile pour structurer une réflexion en commun entre chercheurs en sciences humaines et sociales et les communautés de sciences pratiques.

257 Omeka, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 12 mai 2022]. Disponible à l'adresse: <https://omeka.org/>

258 PHILIZOT, Vivien et BIÉ, Jérôme Saint-Loubert, 2020. *Technique et design graphique*. Éditions B42. p. 149

Dans le cadre d'un appel à projets pour la science ouverte²⁵⁹, nous avons présenté le *Codex* dans la catégorie des plateformes informatiques. Nous avons alors proposé une gouvernance partagée entre l'UTC Compiègne, l'Université Toulouse Jean-Jaurès et le LAAS-CNRS. Ce projet non retenu aurait mérité d'être consolidé et poursuivi afin d'obtenir plus de résultats.

Définitions

Si l'action de définir les termes de sa recherche est un élément primordial afin de cerner un contexte, d'en expliquer les enjeux, ces définitions nous apparaissent d'autant plus importantes dans un cadre interdisciplinaire dont les objets et technologies évoluent constamment. D'un côté, les définitions offrent des espaces inter-communicationnels dans des communautés hétérogènes. De l'autre, elles permettent de mettre des mots sur des bio-objets techniques récemment créés. Notre façon de nommer ce qui nous entoure reflète notre vision du monde. Dans *Naming nature : the clash between instinct and science*, Carol Kaesuk Yoon explique que la façon dont nous avons de nommer les éléments qui nous entourent reflète notre vision du monde. Elle suggère que nous puissions nommer les éléments des sciences du vivant afin de se réapproprier notre propre vision du monde vivant.²⁶⁰ Il me semble que la réappropriation par le langage des objets qui peuplent la bio-impression 3D permet de faire exister différentes visions du monde et de favoriser la notion de savoirs situés que nous avons exposée précédemment. Le point de discussion concerne ce qu'il est habituellement entendu comme définition (unique) pour aller vers des définitions dialogiques et plurielles, venant de disciplines et traditions différentes. L'enjeu est en effet de sortir les chercheurs de cette position d'une réponse unique pour les amener à aborder des formes d'écriture et de publication non nécessairement académiques qui les mettraient en capacité de porter un regard différent sur leur production quotidienne. Le manque d'utilisateurs du *Codex* et sa représentativité étiquée que ce soit en termes de genre et de statut social empêchent selon nous le caractère dialogique des définitions. Il nous semble qu'une plus grande représentativité et donc altérité au sein des laboratoires techno-scientifiques accompagneraient mieux notre intention de dialogisme. Il y a un paradoxe non résolu à ce stade de voir les publications scientifiques ouvertes comme des lieux de prise de soin, et d'altérité, quand elles ont pour héritage la mise en compétition des chercheurs entre eux. Des récentes prérogatives telles que la « Déclaration de San Francisco sur l'évaluation de la recherche »²⁶¹, qui suggère de ne plus juger les travaux des chercheurs en fonction de l'indice de calcul de l'*impact factor*, offre des propositions concrètes pour pallier ces biais d'évaluation et de compétition.

259 Appel à projet « Fonds National pour la science ouverte », édition 2019 Appel à projets | Fonds national pour la science ouverte (FNSO), [sans date]. *Science Ouverte*. [en ligne]. [Consulté le 13 mai 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.science-ouverte.cnrs.fr/actualite/appel-a-projets-fonds-national-pour-la-science-ouverte/>

260 YOON, Carol Kaesuk, 2009. *Naming nature: the clash between instinct and science*. WW Norton & Company. p. 297

261 Read the Declaration, [sans date]. *DORA*. [en ligne]. [Consulté le 22 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://sfidora.org/read/>

Transformer les usages en pratiques

Dans l'ouvrage *Bifurquer*, le chapitre sept, co-écrits par Anne Alombert, Vincent Puig et Bernard Stiegler est consacré au « Design contributif et technologies numériques délibératives ». Les auteurs proposent de voir le design comme une manière de proposer une pratique collective, notamment à travers des expériences numériques. Les auteurs proposent une thèse fondamentale pour le design. Cette thèse est la suivante : la mise à distance de la culture technique transforme les expériences esthétiques en conditionnement esthétique. Et la mise à distance de la culture technique transforme les pratiques en usages prédéterminés. Les auteurs de *Bifurquer* rapprochent leurs réflexions de Papanek et Simondon. Pour le premier en effet, une remise en question de l'activité de design est nécessaire et pour le second la relation à l'objet technique devient impossible si celui-ci demeure indéchiffrable et fermé. Ainsi,

« La socialisation des objets de la vie quotidienne, qui s'opérait traditionnellement à travers la transmission intergénérationnelle de savoirs et de pratiques, s'effectue désormais à travers les usages prescrits par des modes d'emploi standardisés et préprogrammés, qui se substituent ainsi aux arts de vivre singuliers et noodiversifiés qui généraient jusqu'alors les processus locaux d'individuation collective²⁶². »

écrivent Anne Alombert, Vincent Puig et Bernard Stiegler dans le chapitre « Design contributif et technologies numériques délibératives : vers une générativité sociale dans les sociétés automatiques »²⁶³ de l'ouvrage collectif, *Bifurquer*. Les auteurs insistent sur une différence fondamentale entre ce qui d'un côté est manière prédéterminée et fermée de faire du design, où le designer devient un prescripteur d'usages, et ce que de l'autre seraient une manière de faire du design ouvert et imprévu, où le designer rend possible des pratiques. Pour les auteurs, il y a « culture technique nécessaire pour transformer les usages en pratique. »²⁶⁴

Par ailleurs, les auteurs font la promotion de pratiques de design contributif ou encore de design participatif et des technologies numériques contributives afin

« d'amorcer le développement d'une nouvelle culture technique (fondée sur des pratiques collectives, et non sur des usages individuels) et d'une nouvelle politique industrielle et technologique (soutenant le développement de dispositifs ouverts, délibératifs et contributifs et de communautés soigneuses et apprenantes) — en vue d'une économie psychique et politique contributive. »²⁶⁵

262 STIEGLER, Bernard et COLLECTIF INTERNATION, 2021. *Bifurquer*. Les Liens qui Libèrent. poche. p. 241

263 Bernard STIEGLER et COLLECTIF INTERNATION, *Bifurquer*.

264 Bernard STIEGLER et COLLECTIF INTERNATION, *Bifurquer*, p. 241

265 Bernard STIEGLER et COLLECTIF INTERNATION, *Bifurquer*, p. 245

Une des voies proposées par les auteurs pour mettre en œuvre ce projet est une forme de design numérique contributif afin de favoriser la confrontation des points de vue, les processus de discussion, de débat, de délibération collective. Il semble en effet important qu'à l'endroit même où se dessinent les pratiques de nos objets techniques, il puisse advenir quelque chose de collectivement discuté, et que ces espaces de découvertes, s'engagent dans la vie collective, en dehors du laboratoire, pour aller dans la vie citoyenne. Également, les auteurs de *Bifurquer* insistent sur une idée que nous avons tenté de mettre en œuvre dans le cadre de notre thèse. Pour eux, il y a une nécessité d'invention de nouveaux formats, il écrivent en effet

«de nouveaux dispositifs de publication doivent être élaborés, expérimentés et pratiqués dans toutes les sphères de la vie quotidienne et urbaine aussi bien dans les communautés académiques et artistiques, redonnant aux technologies numériques issues du *world wide web* la fonction d'un espace de controverses et de débats publics qui était leur vocation initiale, avant qu'elles ne deviennent des dispositifs de contrôle et de surveillance des populations.»²⁶⁶

Les auteurs citent deux exemples : le logiciel *Lignes de temps*, et *Hypothes.is* pour appuyer leur propos. Nous voyons qu'il y a des similitudes entre ces projets et la proposition du *Codex* et que l'étude de media dialogiques pour les communautés de recherche constitue un sujet de recherche à part entière qui pourra être poursuivi.

Perspectives

Design d'interface et mode d'interaction

Un travail d'approfondissement des modes d'interaction des contributions entre elles et de la manière dont elles pourraient prendre forme à l'écran peut également être mené. Un premier point concerne un espace de visualisation des différentes définitions dans la partie droite du *Codex*, qui a été dessiné et pensé, mais pas intégré²⁶⁷ sur la version actuelle du *Codex* (figure 47).

266 Bernard STIEGLER et COLLECTIF INTERNATION, *Bifurquer*, p. 256

267 Le projet s'étant fait sans budget particulier avec l'aide des informaticiens du LAAS-CNRS, certains éléments n'ont pas pu être codés et testés dans la version actuelle.

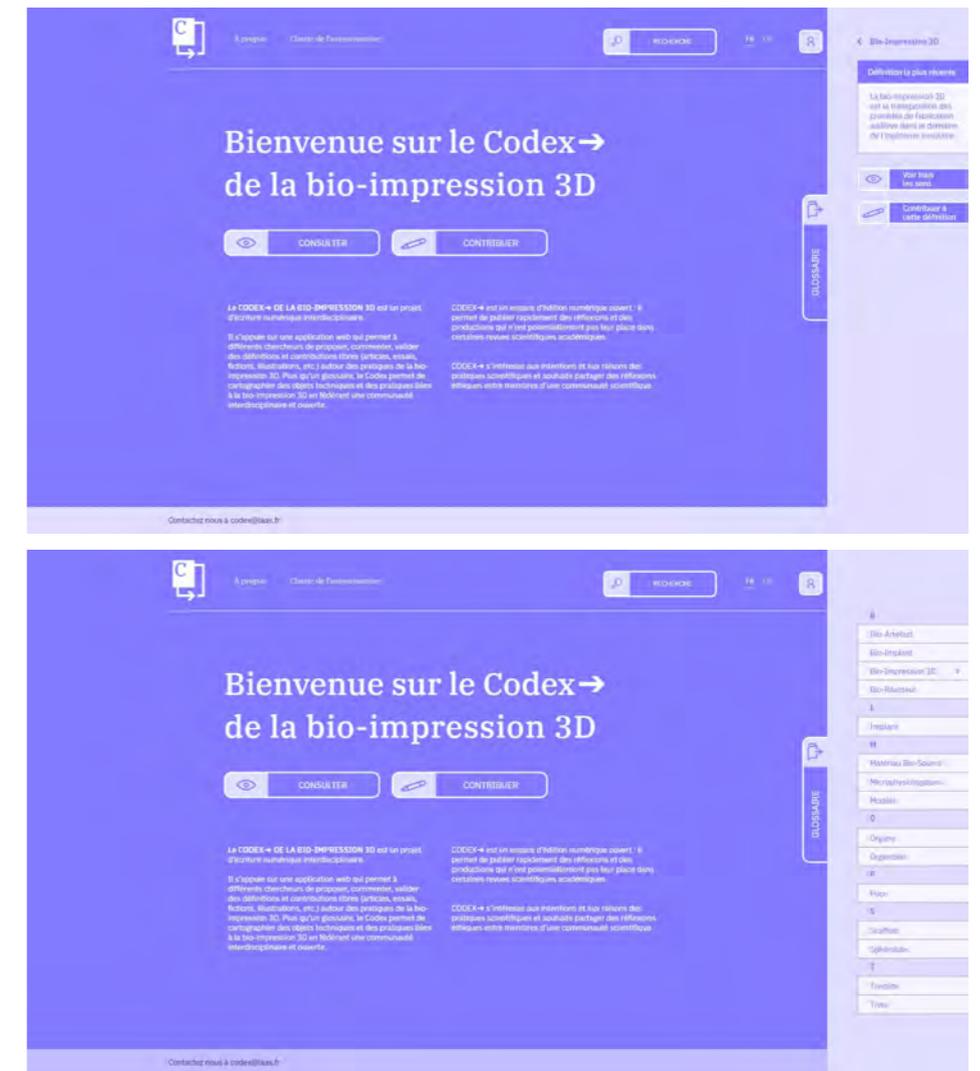


Figure 47 — : Captures d'écran de l'interface du Codex avec menu déroulant à droite.

Cela permettrait notamment des modes de lecture qui peuvent rapprocher des typologies de contributions entre elles. Nous avons proposé cette piste en travaillant les liaisons entre les termes définis dans le Codex dans un croquis préparatoire, en utilisant du web sémantique. Des modes de visualisation en diagrammes pourraient être investis pour traiter cette partie.

Des modes de lectures pourraient faire intervenir des catégories conceptuelles dans lesquelles se retrouvent les objets décrits dans le Codex tels que technologies, objets techniques, matériaux, modèles, artefacts, etc.

La fonctionnalité *web-to-print* pourrait également davantage être mobilisée afin de créer des microéditions sur des sujets particuliers et avec des mises en perspective rassemblant des contributions venant des formats littéraires et des auteurs très différents.

Espace de diffusion

Plusieurs stratégies de déploiement du *Codex* peuvent être mises en place. Nous en voyons deux qui n'impliquent pas les mêmes activités et qui seraient intéressantes à comparer.

La première consiste à intégrer le *Codex* comme un médium au service de la structuration de la réflexion éthique dans les laboratoires de technosciences. Ces espaces de diffusions pourraient être internes (pas de visibilité du public) au laboratoire afin d'amener des espaces de dialogues réflexifs au sein des activités des laboratoires.

La seconde consisterait à ouvrir plus largement la réflexion au-delà du laboratoire aux groupements de recherche (GDR). Ce sont des structures d'animation de communauté (5 ans) créées pour favoriser les échanges entre scientifiques et les différents partenaires. À mon sens, il faudrait coupler à cette stratégie un tissage de ces GDR avec les sciences sociales et *Science and technology studies* (STS). Dans le domaine qui nous intéresse, il y a des GDR où ce tissage est déjà opérant tel que le GDR « Réparer l'humain »²⁶⁸ Le projet pourrait également prendre place dans le réseau Fabrication Additive du CNRS (RFA) précité.

Le *Codex* s'il est un médium dialogique pour communauté, bien qu'il s'appuie sur un modèle contributif mériterait une animation particulière. Un appel à contribution pourrait par exemple être lancé afin d'agrèger certaines contributions externes et d'analyser quelle typologie de publication appelle ce *Codex*.

268 Réparer l'Humain | Groupe de recherche national (GDR), [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 12 mai 2022]. Disponible à l'adresse: <https://reparer-humain.insa-lyon.eu/>

Conclusion Chapitre 2

Nous avons montré dans ce chapitre ce que serait une proposition d'un média dialogique s'appuyant sur la définition de termes pour une communauté de pratiques interdisciplinaires. Nous avons mené une expérimentation dans le champ de la bio-impression 3D. La méthodologie de cette recherche-création nous a permis de faire une enquête au sein de ce milieu en questionnant les formats de mise en visibilité et de publication des matérialités des pratiques scientifiques rattachées à la bio-impression 3D. Le médium du *Codex* pourrait être généralisé pour partager un vocabulaire de base, des zones de concentration et ouvrir des modalités dialogiques au sein de communauté hétérogènes.

Notre travail a également consisté en une description et une compréhension de la bio-impression 3D sous le prisme de l'imagination, de la spéculation et de la définition. Nous avons, à ce titre, esquissé une généalogie de cette pratique. Nous pensons que cette étude mérite d'être poursuivie en étendant le terrain d'observation et d'enquête à d'autres équipes, ce qui permettrait d'avoir des données plus représentatives et variées.

Nous avons également tenté de montrer que le *Codex* en tant que médium dialogique peut engager une création de *matter of concern* pour les communautés de chercheurs afin de partager un certain souci pour l'emploi des mots. La chercheuse Maria Puig de la Bellacasa prolonge le concept de Bruno Latour des « sujets de préoccupation » pour en faire « sujet de soin » dans son ouvrage *Matters of Care in Technoscience*. Elle précise ce passage de la préoccupation latourienne première au « soin »²⁶⁹ dans *Matters of care : Speculative ethics in more than human worlds* :

« Même parmi ceux qui s'accordent à dire que “prendre soin” est vital dans les mondes de la naturecultures et de la technoscience et qui veulent nous amener à nous préoccuper de la représentation des choses, le soin n'a pas nécessairement la même connotation. La notion de soin est également marquée par les politiques de genre et de race; elle évoque des travaux particuliers associés au labeur féminin et à ses complexités éthiques. En raison de ces significations chargées, si les “sujets de préoccupation” peuvent fonctionner comme une notion générique pour la politique des choses (c'est-à-dire que tout peut être potentiellement considéré comme un sujet de préoccupation), les “questions de soins” ne peuvent pas l'être. »²⁷⁰

Ce que nous amène à penser Bellacasa avec cette notion de questions de soin, c'est que l'objet n'est pas simplement que les chercheurs puissent se sentir concernés, mais qu'ils incarnent concrètement dans leur action ce soin de la langue et donc ce soin envers l'imaginaire de leur domaine, qu'ils puissent envisager que ces images « comptent » pour

269 Le terme *care* n'est pas égal à soin en français et revet d'une dimension bien plus étendue comme qualité attentionnelle aux choses et aux êtres.

270 ma traduction, « Even among those who agree that “to care” is vital in the worlds of naturecultures and technoscience and who want to bring it to our concern in the representation of things, caring does not necessarily have the same connotations. But the notion of care is also marked by gender and race politics; it brings to mind particular labors associated with feminized work and its ethical complexities. Because of these charged meanings, if “matters of concern” can function as a generic notion for the politics of things (i.e., everything can be potentially thought as a matter of concern), “matters of care” might not. » DE LA BELLACASA, Maria Puig, 2017. *Matters of care: Speculative ethics in more than human worlds*. U of Minnesota Press.

la société. Nous pensons que le concept du *Codex* peut s'appliquer à d'autres communautés de recherche et permettrait de les équiper sur la question du langage.

Cette tentative de recherche, ce médium non finalisé que constitue le *Codex*, trouvera-t-il une place dans le paysage de la recherche scientifique ? Nous pensons qu'il est emblématique d'une volonté réflexive qui doit s'étendre plus largement au sein de la recherche afin de réfléchir davantage à la non-neutralité éthique des techniques et technologies. Il peut participer d'un élan vers un désir de faire science autrement et une possibilité concrète de structuration de communautés permettant d'améliorer le caractère interdisciplinaire des projets scientifiques avenir.



**LE CORAIL
EN HÉRITAGE**

« Ce sont les images qui font l'atlas, mais ce sont aussi les images d'atlas qui font la science. Les atlas sont les dépositaires des images d'archive des sciences empiriques. [...] Les atlas sont les ouvrages de référence que tous les professionnels consultent pour identifier les objets qui valent la peine d'être regardés, savoir à quoi ils ressemblent, et ce qui est sans doute essentiel, apprendre à les regarder. » Lorraine Daston et Peter Galison, *Objectivité*, Dijon, 2012, p. 32

« Désormais, nous sommes toutes et tous des coraux²⁷¹. » écrit la philosophe et biologiste Donna Haraway en 2016. Nous sommes toutes et tous des coraux, car nous sommes, à l'image des coraux, toutes et tous connectés à un ensemble d'espèces, d'écosystèmes, de conditions terrestres qui rendent notre existence en tant qu'êtres humains possibles. Comme les coraux, nous partageons cet horizon incertain où le réchauffement climatique global de la température terrestre oscillerait entre +1 °C et +4 °C²⁷² par rapport à l'ère préindustrielle sur la période à venir entre 2022-2080 telle que visible **figure 47**. Nous pouvons voir sur la figure que ces projections dépendent largement des scénarios d'étude à partir desquels sont faites ces projections. A titre indicatif, RCP 2,6 correspond un à un scénario strict d'atténuation des émissions de polluants atmosphériques et RCP 8,5 correspond à un scénario d'émissions très élevées de gaz à effet de serre.

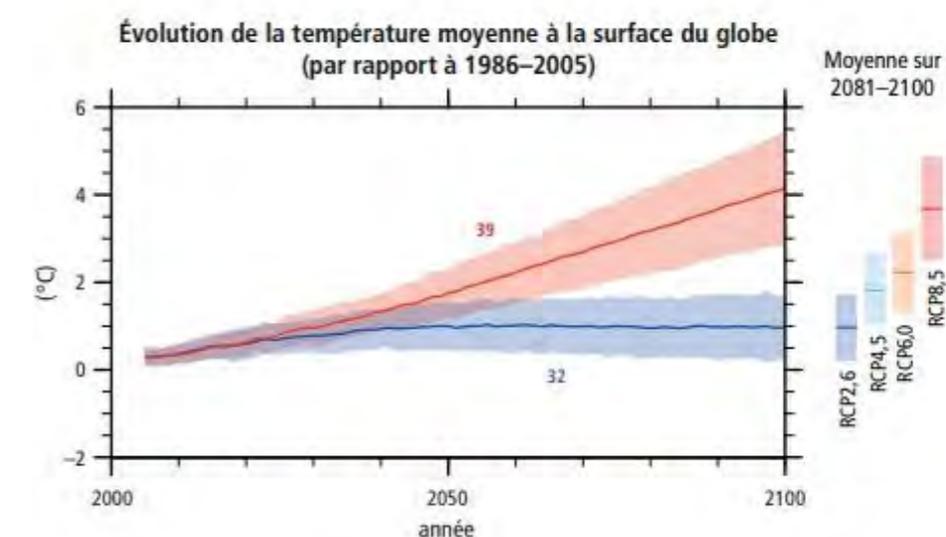


Figure 47 — : extrait du rapport de synthèse de 2014 du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

Cette *condition d'incertitude* concernant la conservation des conditions d'habitabilité de la Terre est relativement nouvelle. On peut la dater aux années 1970²⁷³. Ce moment particulier a été appelé « Anthropocène ». Ce terme a été créé dans les années 1980 par Eugène F. Stoermer, écologiste et a été popularisé à la fin des années 1990 par deux scientifiques, Paul Joseph Critzen, chimiste et météorologue, et Eugène Stoermer, biologiste, qui date l'Anthropocène à la révolution industrielle. Historiquement, le design est aussi daté au début de cette nouvelle ère, dont le symbole reconnu historiquement est l'architecture du Crystal Palace de Joseph Paxton présenté dans le cadre de l'exposition univer-

271 Donna Haraway, *Vivre avec le Trouble*, p. 152 (la première édition en anglais date de 2016)

272 Projections extraites du rapport de synthèse du GIEC déterminés par des simulations multimodèles, par rapport à la période 1986-2005. GIEC, 2014: Changements climatiques, Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p

273 BEHRENS William, MEADOWS Donella H., MEADOWS Dennis L. et RANDERS Jørgen, 1972, « The limits to growth », New York

selle de Londres en 1851. Dans cette couche géologique, les activités humaines (y compris celle du design) y sont un marqueur visible des dernières années de vie de notre planète. La notion d'Anthropocène fait de l'activité humaine une force géologique à part entière²⁷⁴. Pour les activités de design, d'ingénierie et les sciences naturelles, la prise en compte des conséquences de nos activités change les conditions de travail et les perspectives. D'un côté, les objets d'étude des sciences naturelles sont en train de disparaître avec le déclin de la biodiversité, et de l'autre, la finalité et les moyens des pratiques (du design et de l'ingénierie) sont remis en question en participant de ce même déclin.

Prenant comme point de départ un écosystème fortement menacé par le réchauffement climatique, l'acidification des océans et la pollution plastique, nous avons mis en place un projet de recherche-création transdisciplinaire (design, biologie, ingénierie) autour d'un des écosystèmes les plus importants pour la biodiversité terrestre : les récifs coralliens. Nous avons expérimenté quelles formes peuvent prendre les pratiques scientifiques dans ce temps très particulier. Quelles images ? Quels formats ? Quels types de documents ? Sans présager du résultat, c'est en écoutant les zones d'importances des différents acteurs et instituts convoqués, que nous avons choisi de travailler autour du corail. Ce projet, intitulé *Corallum fabrica*, s'est petit à petit cristallisé sur la constitution d'une archive en ligne en libre accès, mettant notamment à disposition des modèles 3D des squelettes de coraux.

Le choix de « produire une archive » est résolument tourné vers un geste de transmission et de mémoire. Il s'est à la fois agi de prendre la mesure de ce dont nous héritons à travers des collections déjà connues (des scientifiques) des squelettes de coraux, mais aussi en termes de gestes naturalistes passés, et de ce que nous allions construire comme œuvre de mémoire collective. La création d'un *commun*, une archive en ligne, permet selon nous, d'ouvrir des données issues d'un patrimoine mondial à l'ensemble de la communauté internationale des scientifiques et des citoyens. Au-delà de cet aspect de recherche ouverte, c'est la matérialité 3D de l'image qui est interrogée et le statut de ces artefacts animaux. Si les fragments de squelettes scannés ont une importance pour leur étude et les décisions politiques et environnementales qui peuvent en découler, ces derniers sont aussi des ambassadeurs de leur espèce. Ils incarnent les architectures de vivants dont l'histoire croise celle des êtres peuplant notre Terre il y a plus de 380 millions d'années.

Nous nous sommes intéressés aux architectures animales pour ce qu'elles révèlent des capacités propres de ces animaux d'agir sur le monde. Dans cette étude, nos catégories sont troublées. Il n'y a plus un grand partage entre la raison d'un côté et la sensibilité de l'autre, mais la volonté de dépasser la binarité de la pensée moderne. Tout ceci peut sembler utopique tant la culture scientifique s'est construite, entre le XVI^e siècle et aujourd'hui, sur une éviction du domaine du sensible²⁷⁵, lui préférant la rationalité d'une description mathématique du monde. Tentant de nous résoudre à ce paradoxe et d'expérimenter un projet de recherche tenant par les deux bouts des questions de perception sensible (par les sens) et de création de connaissances d'ordre scientifique (partageable), nous nous sommes collectivement projetés *dans le corail*.

Je souhaite commenter ici le titre de ce chapitre. « Le corail en héritage », c'est bien

274 L'usage du terme Anthropocène (composé des mots grecs, *anthrôpos*, signifiant être humain et *kainos* signifiant nouveau) fait débat dans la communauté géologique, notamment au sein de l'Union internationale des sciences géologiques (UISG).

275 Isabelle Stengers, *Une autre science est possible! Manifeste pour un ralentissement des sciences*

sûr la disparition très probable de cet écosystème sur la surface de nos océans ; mais c'est aussi, hériter d'une manière de le regarder comme un problème à régler, comme une injonction à sauver ce qui a été détruit par l'accélération des activités humaines et industrielles. Plutôt que des propositions solutionnistes²⁷⁶ à cette disparition, nous souhaitons interroger les manières de percevoir, d'étudier et d'envisager le corail. Le solutionnisme est une position courante dans les projets technologiques consistant à envisager la technique comme une solution pour un problème global qui puisse toucher au domaine médical, social, économique, etc. Nous pensons en effet qu'il est nécessaire d'offrir un nouveau régime d'attention à cet animal symbiotique. C'est à travers des modes de perception utilisant des technologies 3D que nous avons exploré cette hypothèse. Nous devons tout de suite préciser en quoi ne pas participer à trouver une solution est important dans le contexte où nous nous trouvons. Le terrain de cette thèse est un laboratoire d'ingénierie du CNRS, c'est un lieu de production de connaissance, mais aussi un lieu de production d'objets techniques tels que nous l'avons défini dans les chapitres précédents de cette thèse. Ainsi, la technologie est perçue dans un tel lieu comme porteuse de solutions, et la recherche en ingénierie participe de ce solutionnisme problématique (notamment quand ce dernier participe à accroître le problème qu'il est censé résoudre). Une position, où les technologies, notamment les technologies 3D appliquées au vivant, sont utilisées dans une position heuristique n'est pas un simple vœu pieu mais déjà un acte en soi. Également, une recherche sur les perceptions permises par les technologies 3D pour la biologie est d'autant plus pertinente si l'on comprend la biologie comme une science de la visualisation²⁷⁷.

Les questions qui forment la trame de cette recherche sont multiples. Nous listons ici les plus saillantes, celles sur lesquelles nous construisons la discussion scientifique de ce travail de recherche. Quelles postures pouvons-nous établir en tant que chercheurs face à l'effondrement de la biodiversité ? En quoi l'utilisation de dispositifs de perception spécifiques participe-t-elle à l'élaboration de nouvelles connaissances sur le vivant ? De quelles natures sont ces connaissances ? L'élaboration de savoirs issus de préoccupations à la fois esthétiques et scientifiques peut-elle participer à un renouveau culturel de la science ? Qu'est ce que cela change pour la pratique du design de travailler sur une archive de recherche des architectures coralliennes ?

276 Le terme a été discuté dans les recherches de Evgeny Morozov dans son ouvrage MOROZOV, Evgeny, 2014. *Pour tout résoudre, cliquez ici: l'aberration du solutionnisme technologique*, Fyp

277 Anne-Lyse RENON, *Design & sciences*

1. Contexte : Le corail comme symbole et marqueur de l'Anthropocène

Avant de discuter les hypothèses, réalisations et résultats du projet de recherche *Corallum Fabrica*, j'exposerai d'abord des considérations génériques sur le corail. Cet animal colonial, bâtisseur de récifs, aujourd'hui menacé par le réchauffement climatique et les effets de l'Anthropocène, tient en effet une place particulière dans notre histoire scientifique et culturelle pour au moins deux raisons. La première, c'est qu'il constitue l'une des plus vieilles formes de vie sur cette planète ; la seconde, c'est que dès l'Antiquité, mythes et histoires ont entouré le corail. Les premières traces de vie apparentées au corail remontent en effet aux premiers récifs construits par des éponges fossiles il y a environ 560 millions d'années. Par la suite, les coraux se sont développés jusqu'à recouvrir plus de 5 millions de kilomètres carrés au Dévonien (de -398 à -385 millions d'années). Prenons la mesure de ce que nous héritons, à travers le corail, nous qui sommes apparus en tant qu'espèce bien après ces premières formes de vie animale.

Nature du corail, entre culture et nature

Les coraux peuvent être coloniaux (constitués de milliers de polypes qui se clonent les uns les autres), à l'image des coraux tropicaux formant des récifs visibles depuis l'espace. Ils peuvent également être des animaux solitaires (constitués d'un seul polype), ou former un agrégat de plusieurs coraux solitaires, comme c'est souvent le cas pour les espèces que l'on trouve dans les grandes profondeurs. Comme on peut le voir sur la **figure 48**, Lacaze-Duthiers dessine les polypes comme des animaux pouvant se réfugier dans leur exosquelette et constitués d'une bouche entourée de tentacules. Ainsi qu'en atteste cette illustration, les naturalistes du XIX^e siècle sont attachés à décrire l'anatomie du corail et son fonctionnement en dehors de son milieu.

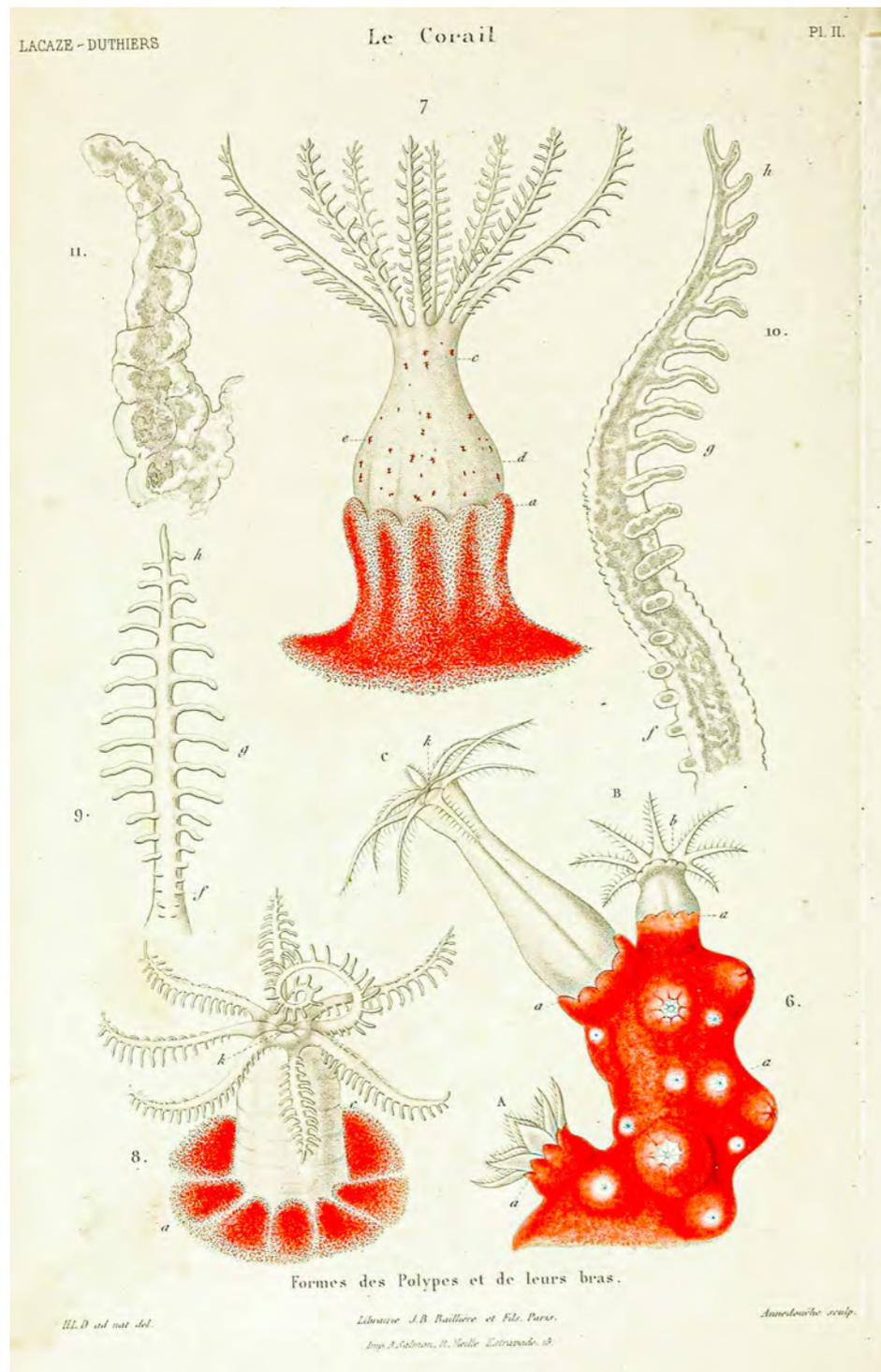


Figure 48 — LACAZE-DUTHIERS (de), Henri. *Histoire naturelle du corail : organisation, reproduction, pêche en Algérie, industrie et commerce*, Paris : J.-B. Baillière et Fils, 1864. Planche 2, p. 349.

Les polypes sont des petits animaux (quoique visibles) aux tentacules urticants, pouvant se mouvoir afin de capturer des petites proies pour se nourrir telles que du plancton et des minéraux. Les coraux peuvent avoir un squelette dur et rouge comme le corail rouge de Méditerranée, ou un corps souple comme les Gorgones. Ils peuvent avoir l'allure d'un arbre et un corps sombre comme les coraux noirs. Ils peuvent être encroûtants, branchus, robustes ou complexes. Ils constituent en cela des formes de vie extrêmement variées, ce qui participe à leur résilience²⁷⁸. Les études ne semblent pas s'arrêter à ce jour sur une estimation stable du nombre d'espèces. Les estimations sont comprises entre 2 000 et 8 000 selon les sources. Cela est sans compter sur les nouvelles formes et espèces de coraux que les récentes campagnes recensent également de leur côté. Par exemple, les coraux les plus profonds exigent des conditions particulières de prélèvement qui n'ont été permises que récemment²⁷⁹. Cette diversité méconnue du grand public²⁸⁰, en fait, selon nous un sujet d'étude pertinent.

Comprendre que les coraux habitent les mers, qu'elles soient tropicales ou non, permet d'envisager ces animaux dans leur globalité, c'est-à-dire comme des habitants des océans et des mers du monde. Comprendre qu'ils y constituent les premières formes de vie sur Terre nous place dans une forme d'héritage et de mémoire à leur égard.

Les coraux sont des animaux symbiotiques. Toutes les espèces entretiennent des symbioses avec des bactéries²⁸¹. Les espèces dites tropicales, qui forment les grandes barrières de corail de surface, ont une symbiose avec des microalgues (dinoflagellés) leur permettant de profiter de la photosynthèse dans les eaux de surface. Ces milliards de dinoflagellés trouvent leur logis dans les tentacules des polypes. La photosynthèse des microalgues fournit une grande source d'énergie pour les polypes qui peuvent ainsi sécréter une structure rigide calcaire, croître, et se multiplier par milliers. Le phénomène de rupture de cette symbiose est connu sous le nom de blanchiment du corail. Cette rupture apparaît lors d'événements traumatiques d'augmentation soudaine de la température de l'eau. Les études scientifiques notent actuellement une accélération de ces événements à mesure du réchauffement climatique d'origine anthropique, venant s'ajouter au réchauffement « naturel ». Ce que l'on appelle réchauffement « naturel » est la tendance climatique selon laquelle nous sortons actuellement d'une période glaciaire et allons vers une période tropicale. Ce réchauffement « naturel » est actuellement accéléré et renforcé par les activités anthropiques menées depuis le début de l'ère industrielle, telles que les émissions de

278 En écologie environnementale, la résilience est la capacité d'un système vivant ou d'un écosystème à retrouver ses fonctions et structures initiales après un événement perturbateur.

279 Le dragage ou l'emploi de véhicules sous-marins téléguidés (tels que les ROV - *Remotely Operated Underwater Vehicle* - qui peuvent par exemple descendre depuis 2008 jusqu'à 6 000 mètres de profondeur) sont utilisés pour étudier et récolter les coraux les plus profonds.

280 Les coraux les plus connus du grand public et les plus médiatisés sont les coraux tropicaux présents sur les grandes barrières de corail.

281 Ces symbioses ne sont pas encore bien connues et occupent un pan de la recherche actuelle. En effet, « The core microbiome framework is still a young concept for corals. » (Le principe fondamental du microbiome est encore un concept jeune pour les coraux. [traduction personnelle]). Voir HERNANDEZ-AGREDA, Alejandra, Ruth D. GATES et Tracy D. AINSWORTH. 2017. Defining the Core Microbiome in Corals' Microbial Soup. *Trends in Microbiology* Vol. 25, n° 2.

CO2²⁸².

« Placé successivement dans chacun des trois règnes de la nature [le corail] offrait, on doit bien le penser, des caractères tout à fait opposés à ceux qui voyaient en lui, soit un minéral, soit une plante, soit enfin un animal²⁸³. », écrit Henri de Lacaze-Duthiers, naturaliste français du xix^e siècle. Le corail échappe aux trois règnes de classification utilisés à cette époque pour décrire la nature : le règne animal, végétal et minéral²⁸⁴. On sait aujourd'hui qu'il est un animal vivant en colonie et fabricant son propre exosquelette calcaire. Dans son ouvrage *Histoire naturelle du corail*, Lacaze-Duthiers montre comment il fait également l'objet de pêche, de réglementation, de manufacture, de commerce et de travaux artistiques. Le corail brouille la binarité de la pensée moderne entre ce qui appartient à la nature et ce qui est œuvre de la culture. Le collier de perles de corail est-il naturel ? Les architectures coralliennes sont-elles issues d'une culture corallienne ? On voit bien qu'il n'est pas possible de considérer le corail du seul point de vue biologique. Sa nature, si elle est étudiée par les sciences naturelles, est mise en déroute par l'usage culturel du corail et sa pêche intensive — en Algérie par exemple à la fin du xix^e siècle pour le corail rouge de Méditerranée. Ainsi, le corail mêle culture et nature. On peut ainsi reprendre les termes de Donna Haraway, citée précédemment, et dans son sillage affirmer que les coraux sont « natureculture ». Cette hybridité est intéressante parce qu'elle constitue un socle riche pour un projet dont le but est de lier la recherche scientifique et la recherche en design.

Relation corail-humain : sortir du cadre sujet/objet

Les coraux font l'objet de récits fondateurs. L'anthropologue Davide Torri revient sur les mythologies rattachées au corail dans les savoirs et les pratiques des peuples indigènes des océans Indien et Pacifique. Selon lui, ces savoirs rendent évidentes les *agencies* autres qu'humaines. *Agency*, terme anglais, peut se traduire par « agentivité », mais on préférera laisser ce terme en anglais dans le texte, et lui donner le sens de « puissance d'agir ». Ces *agencies* sont des objets d'études pour l'anthropologie contemporaine. Ils permettent d'étudier d'autres sujets que les humains en prenant en considération leur puissance d'agir propre, les considérants comme des « agents », c'est-à-dire comme des sujets agissants, plutôt que comme des objets d'étude passifs. En ce sens, « les coraux constituent des piliers visibles des écosystèmes marins, mais aussi des marqueurs et des signes évidents

282 Nous devons tout de suite moduler notre propos, en tant que non-spécialistes du climat. Nous posons ici des considérations générales qui peuvent être mises en regard avec des études spécifiques. Par exemple, dans l'article de Raphael Neukom et al. (No evidence for globally coherent warm and cold periods over the preindustrial Common Era, 2019), les auteurs montrent que contrairement à l'époque à laquelle nous vivons, les changements climatiques n'avaient pas lieu dans le même espace spatio-temporel sur les 2 000 dernières années. Ainsi, le réchauffement anthropique actuel diffère à la fois en ce qui concerne la température absolue, mais également en ce qui concerne la cohérence spatiale et représente un événement climatique sans précédent qui ne peut pas être comparé à un réchauffement climatique d'ordre « naturel ». Voir NEUKOM, Raphael et al. 2019 No evidence for globally coherent warm and cold periods over the preindustrial Common Era. *Nature*. Vol. 571, n° 7766.

283 LACAZE-DUTHIERS (de), Henri, *Histoire naturelle du corail*.

284 Ce caractère inclassable du corail en fera un objet de choix dans les cabinets de curiosité du xviii^e siècle où il était rangé à la fois comme *naturalia* et *artificialia*, se présentant à la fois sous la forme de sculpture et d'objet d'étude naturel.

d'enchevêtrement entre humains et non-humains²⁸⁵. » Le corail est pluriel. Il est, pour les indigènes étudiés par Torri, à la fois un paysage, un animal, un être, un espace sacré, un monstre, une métaphore. D'après Torri, les relations qu'entretiennent les peuples indigènes avec les coraux révèlent la notion d'interdépendance mise à jour par les pratiques et questions de l'ethnographie multispèces contemporaine. En effet, l'interdépendance implique une vision où les coraux et les humains sont liés par une relation de dépendance et de soin mutuels.

Un conte maldivien rapporté par Torri et recueilli par Xavier Romero-Frias²⁸⁶ peut rendre compte de cette interdépendance :

« Un conte recueilli par Xavier Romero-Frias raconte l'histoire du célèbre marin Bodu Niyami, qui, traînant une tête de poisson à la surface de l'océan, finit par arriver à l'endroit où le monde se termine et où des masses d'eau tombent du bord, dans les abysses. À cet endroit précis, un arbre de corail émerge des abysses, et il est connu sous le nom de Dagas, ou l'arbre de corail de la fin du monde. Il s'agit d'un corail noir géant (*Antipatharia*), appelé *enderi* en langue maldivienne. Bodu Niyami et ses marins parviennent à attacher le navire à l'aide d'une corde à une branche de l'arbre et réussissent à éviter la chute fatidique dans le vide. Le lendemain matin, ils se retrouvent au milieu de petites vagues et de vents légers, flottant dans des eaux remplies de poissons encore jamais vus. En naviguant en direction de chez eux, ils se sont aperçus que les poissons les suivaient, si nombreux que l'eau autour du navire se réverbérait à cause de la lumière du soleil qui se reflétait sur les poissons. Après de nombreuses aventures en haute mer, ils sont arrivés sains et saufs chez eux. Et depuis cette époque, le poisson merveilleux (le thon listao, *Katsuwonus pelamis*) est la nourriture principale des Maldiviens²⁸⁷. »

L'arbre de corail de la fin du monde, *enderi*, est un héros pour l'équipage de Bodu Niyami. L'arbre de corail noir est ici l'animal qui apporte la subsistance (thon) pour les humains et les sauve des enfers des abysses. Les Maldiviens en dépendent pour se nourrir et en retour, le corail noir et les récifs en général exigent une forme de protection de la part des peuples maldiviens. Bien qu'exposées rapidement ici, les histoires auxquelles se rattachent les coraux montrent d'une part qu'il existe une relation importante entre coraux

285 Voir TORRI, Davide. 2020. The Coral Tree at the End of the World: Introductory Notes to Coralline Mythology and Folklore from the Indian and Pacific Oceans. In : *Perspectives on the Marine Animal Forests of the World*. Springer. p. 4 : « Corals stand as visible cornerstones of marine eco-systems but also as a clear markers and signs of human/non-human entanglements. » [traduction personnelle].

286 ROMERO-FRIAS, Xavier. 2012. *Folk tales of the Maldives*. Copenhagen : NIAS Press. 300 p. Cité par TORRI, Davide, The Coral Tree at the End of the World.

287 « A tale collected by Xavier Romero-Frias tells the story of the famous sailor Bodu Niyami, who, trailing a fish head across the ocean, ended up to the place where the world end and masses of water fall down the edge, into the abyss. On that very place, a coral tree emerges from the abyss, and it is known as Dagas, or the coral tree at the end of the world. It is a giant black coral (*Antipatharia*), called *enderi* in Maldivian language. Bodu Niyami and his sailors manage to secure the ship with a rope to a branch of the tree and managed to stay away from the fateful fall into the void. The morning after, they found themselves amidst gentle waves and breezes, floating in waters full of fishes never seen before. Sailing back toward home, they found the fishes were following them, so abundant that the water around the ship was reverberating from the sunlight reflecting on the fishes. After many adventures on the high seas, they reached home safely. And since that time, the wondrous fish (skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*) was the main food for the Maldivians. » [traduction personnelle]. Xavier ROMERO-FRIAS, *Folk tales of the Maldives*. cité par Davide TORRI, The Coral Tree at the End of the World, p. 13-14.

et humain. D'autre part, ces récits décrivent les faits et gestes des coraux, qui apportent refuge et forment des écosystèmes complexes. La probable disparition des écosystèmes coralliens n'est pas seulement une donnée écologique, que l'on pourrait comptabiliser en matière de coût environnemental ; c'est aussi une donnée culturelle, historique, symbolique, qui bouleverse les manières de vivre des humains et non humains vivant en interrelation avec ces animaux. Quelle est donc cette condition d'existence que nous partageons avec les coraux ?

L'effondrement du corail

L'histoire du corail aura traversé une vingtaine de crises biologiques, dont cinq extinctions majeures. La problématique actuelle, à savoir l'effondrement probable de cet écosystème, vient d'une accélération des fréquences auxquelles les bouleversements climatiques adviennent. L'effondrement du corail est directement lié à la crise de la biodiversité que nous traversons actuellement et à la sixième crise d'extinction d'espèces. La crise actuelle diffère par sa rapidité, sa globalité et ses causes qui sont, pour la première fois de l'histoire terrestre, des causes anthropiques.

Les agents perturbateurs du corail sont nombreux. Le premier est l'élévation de la température liée au dioxyde de carbone rejeté par les activités anthropiques. « Dans les mers tropicales, les températures estivales peuvent localement dépasser de 1 °C à plus de 3 °C les températures moyennes²⁸⁸. » Ce phénomène n'est pas égal en tous points de la planète et il peut largement varier d'un épisode traumatique à un autre. Selon Bertrand Martin-Garin et Lucien Montaggioni, paléontologue et biologiste marin, l'intensité, la fréquence et la durée de ce phénomène ont augmenté depuis 1970, mais ne devraient pas s'aggraver au cours du xix^e siècle. Un second élément perturbant est le cycle des carbonates. Le troisième est l'acidification océanique, qui, à terme, corrélée avec un réchauffement de surface, amènerait l'aragonite qui constitue les squelettes des coraux à se dissoudre. Bertrand Martin-Garin et Lucien Montaggioni listent d'autres agents perturbateurs tels que le rayonnement solaire, les régimes pluviométriques, les systèmes dépressionnaires, les régimes circulatoires océaniques et les mouvements du niveau marin. Enfin, les auteurs évoquent d'autres perturbations d'origine humaine :

« Déversement d'eaux enrichies en nutriments, pesticides, herbicides d'origine agricole et en divers produits chimiques — solvants, métaux lourds, hydrocarbures —, surexploitation des ressources hydrologiques et halieutiques. S'ajoutent à ces perturbations chimiques, les dégradations physiques telles que l'extraction de sable, les constructions portuaires, le tourisme de masse »²⁸⁹.

Nous savons également depuis peu que les coraux sont également sensibles à la pollution des macroplastiques et microplastiques présents dans les océans. En effet :

« [L]es macroplastiques s'accrochent facilement à la structure tridimen-

288 MARTIN-GARIN, Bertrand et Lucien F. MONTAGGIONI. 2020. *Coraux et récifs : des origines à un futur incertain*. Aix-en-Provence : Presses universitaires de Provence, p. 253.

289 Bertrand MARTIN-GARIN, et Lucien F. MONTAGGIONI. *Coraux et récifs : des origines à un futur incertain*. p. 258

sionnelle des récifs et peuvent recouvrir de grandes parties des colonies coralliennes. Les microplastiques sont transférés dans les tissus des polypes directement (lorsqu'ils sont capturés par les tentacules) ou indirectement (ingérés par le zooplancton qui est ensuite mangé par les coraux) et peuvent potentiellement perturber leurs fonctions physiologiques »²⁹⁰.

Les multiples facteurs qui affectent le devenir des coraux incarnent parfaitement les enjeux des dérèglements climatiques que nous traversons : ces derniers exigent une totale reconfiguration de nos manières d'habiter.

Nous pensons que cet effondrement est une conséquence du modèle économique capitaliste adopté pendant les révolutions industrielles. Avec Jonathan Justin Strayer²⁹¹, nous sommes revenus sur le rapport *Meadows*²⁹² écrit en 1972 qui prédisait les limites de ce modèle économique basé sur une croissance infinie. En 1972, le Club de Rome — qui regroupe un consortium de magnats de l'industrie automobile européenne — demande au MIT²⁹³ d'étudier les perspectives de la croissance à long terme. Le rapport *Meadows* intitulé *Les limites à la croissance (dans un monde fini)*, fruit de ce travail, paraît en 1972. C'est le premier ouvrage qui étudie l'évolution dynamique à long terme de six variables macroéconomiques à travers huit scénarios différents. Cette étude remet en cause l'idée dominante d'une croissance infinie, nécessairement bornée dans un monde qui est, lui, fini. Selon le scénario « business as usual » de ce rapport, dans lequel aucune mesure particulière ne serait prise (scénario médian), l'humanité ne connaîtrait tout au plus qu'un siècle de croissance avant d'atteindre un seuil, après lequel un effondrement du nombre de richesses par individu — et, par conséquent, un effondrement du nombre d'individus — deviendrait inévitable. Quarante ans plus tard, ainsi que le prédisait ce rapport, les effondrements que nous vivons et notamment ceux des milieux vivants, dont celui du corail, sont directement liés à l'impact de notre activité nourricière et économique sur le réchauffement et les dérèglements climatiques.

Le cas du corail est symbolique, exemplaire, et redoutable : 40 % des récifs ont déjà disparu et d'ici 2050, selon les prévisions du GIEC²⁹⁴, c'est la quasi-totalité de cette forme de vie qui aura quitté la surface de nos océans.

« [D]e nombreux éléments indiquent que 70 à 90 % des coraux tropicaux d'eau chaude présents aujourd'hui risquent d'être éliminés même si le réchauffement est limité à 1,5 °C. Un réchauffement de la planète supérieur à 2 °C entraînera la disparition de 99 % des coraux constructeurs de

290 « Macrodebris easily gets caught in the three-dimensional structure of the reefs and can cover large portions of coral colonies. Microplastics are directly (when captured by tentacles) or indirectly (ingested by zooplankton that is eaten by coral) transferred to polyp tissues and potentially disturb their physiological functions. » [traduction personnelle]. LARTAUD, Franck et al. 2020. *Plastics: An additional threat for coral ecosystems*. In *Perspectives on the Marine Animal Forests of the World*. Cham : Springer International Publishing, p. 469-485.

291 Élise RIGOT et Jonathan JUSTIN STRAYER. Retour vers 1972 : rouvrir les possibles pour le design et l'économie face aux effondrements. *Sciences du Design*.

292 MEADOWS, Donella et al. 1972. *Limits to Growth, a report for the club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York : Potomac Assoc. Books.

293 *Massachusetts Institute of Technology*.

294 Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC).

réécifs »²⁹⁵.

Il convient de nuancer ce propos par deux choses. La première tient à ce que ces prédictions soient annoncées comme des moyennes globales et ne tiennent pas toujours compte des effets localisés des changements climatiques²⁹⁶. Dans le cas des récifs coralliens, cette donnée est particulièrement importante dans le sens où les récifs s'inscrivent dans des géographies particulières, à l'image de la Grande Barrière de corail australienne. La seconde tient en ce qu'elles restent des prédictions qui peuvent tout à fait s'avérer optimistes ou au contraire, qui ne peuvent anticiper des réseaux de relations que les vivants tisseront entre eux pour organiser leur résilience. En mer Rouge, il a par exemple été observé une augmentation du nombre de coraux face au réchauffement climatique²⁹⁷. La différence cruciale des impacts des changements de température à l'échelle planétaire entre +1,5 °C²⁹⁸ et +2 °C a également été soulignée dans des rapports spéciaux²⁹⁹.

Si l'on évoque un effondrement probable du corail, il ne faut sans doute pas parler ici en termes numériques, mais plutôt en termes de diversité. Le blanchiment des coraux affecte notamment la plupart des coraux branchus tandis que les coraux profonds souffriront davantage de l'acidification des océans. Il y a fort à parier que les récifs de demain seront très différents de ceux que nous connaissons aujourd'hui ; les Octocoralliaires telles que les Gorgones couvriront par exemple davantage d'espace, là où les coraux à corps rigide auront disparu. Ce ne sont bien sûr que des spéculations et l'avenir des récifs coralliens, s'il semble faire face à un très probable effondrement, reste ouvert. Parce que le corail incarne ce marqueur du réchauffement climatique, il m'a semblé particulièrement intéressant d'interroger cet organisme et la façon dont il était étudié.

Corail et tridimensionnalité

L'équipe d'accueil dans laquelle je fais ma thèse est spécialisée dans l'étude 3D des microenvironnements tissulaires et de divers organes. Ces recherches, habituellement appliquées au domaine médical, servent notamment à faire de « meilleurs » modèles pour étudier des pathologies en prenant en considération la topographie 3D qui entoure les cellules. Ce « tournant 3D », pour reprendre l'expression qu'emploient les chercheurs de

295 Voir : HOEGH-GULDBERG, Ove et al. Impacts of 1.5 C global warming on natural and human systems. In *Global warming of 1.5 C. An IPCC Special Report*. Genève : IPCC, 2018, cité dans : HOEGH-GULDBERG, Ove et al. 2019. The human imperative of stabilizing global climate change at 1.5 C. *Science*. Vol. 365, n° 6459. : « there are multiple lines of evidence indicating that 70 to 90% of warm-water tropical corals present today are at risk of being eliminated even if warming is restrained to 1.5 °C. Exceeding 2.0 °C of global warming will drive the loss of 99% of reef-building corals » [traduction personnelle].

296 Ceci est également à vérifier, car dans son rapport de 2021, l'IPCC propose une carte interactive (*Interactive Atlas*) qui permet de voir l'évolution du climat selon des lieux géographiques très précis. Voir : IPCC WGI Interactive Atlas. *Site de l'Atlas interactif de l'IPCC* [en ligne]. [Consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

297 LOWER, Edited by Brian H., SHAUL, Travis R., SHAUL, Kylienne A. et WEAVER, and Ella M., [sans date]. 4.5 Red Sea Coral Reefs Survive Amidst Climate Change. [en ligne]. [Consulté le 24 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://ohiostate.pressbooks.pub/sciencebitesvolume2/chapter/4-5-red-sea-coral-reefs-survive-amidst-climate-change/> Book Title: Environmental ScienceBites Volume 2

298 Ces données sont à mettre en perspective avec les accords de Paris de 2015 ; les prévisions les plus récentes annoncent une hausse de la température à +1,5 °C dès 2030.

299 C'est notamment le cas du rapport spécial de l'IPCC (concernant le réchauffement à 1,5 °C). Voir : IPCC. Special Report: Global Warming of 1.5 °C. *Site de l'IPCC* [en ligne]. [Consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <https://www.ipcc.ch/sr15/>

cette équipe, permet notamment de s'affranchir du modèle 2D de la boîte de Pétri. Cette recherche a permis aux scientifiques d'obtenir une diversité de savoir-faire et de pratiques qui sont présentés dans le chapitre 2 de la thèse. Intégrer une conception 3D pour les questions de biologie renouvelle à la fois les résultats et les instruments employés. La 3D exige de nouvelles connaissances en fabrication additive³⁰⁰, pour reproduire par exemple des topographies particulières. Afin de dessiner des microenvironnement sur-mesure, l'équipe a acquis une expertise à la fois en modélisation 3D, que ce soit par des techniques d'imagerie ou de création de fichiers 3D, en fabrication additive de différentes échelles, en résolutions et matériaux, en matériaux biosourcés, etc. Ces connaissances et pratiques seront réinvesties dans le projet de recherche *Corallum Fabrica*, permettant ainsi de voir quelles nouvelles questions biologiques et quels nouveaux moyens de perception les technologies 3D nous permettent de poser sur les coraux.

Le corail, quant à lui, construit des récifs ; sa relation à son environnement est une relation de biominéralisation : celle-ci donne des structures tridimensionnelles très particulières, dont la configuration spatiale et les études écologiques qui en découlent restent encore aujourd'hui à étudier (écoulement des fluides, modèles de croissance, etc.). Les pratiques 3D (que nous avons discutées au chapitre 2) de notre équipe d'accueil sont pertinentes pour l'étude du corail. Les technologies 3D permettent de se rapprocher d'études plus justes du point de vue des animaux, plantes, cellules étudiées, car elles prennent en considération l'environnement avec lequel les êtres vivants sont en interaction.

L'importance de la tridimensionnalité du corail est à prendre en considération selon plusieurs échelles : une première échelle concerne son stade de développement larvaire, qui correspond aux premières semaines de la vie du corail. Des études se consacrent ainsi à l'interaction de la larve devenue planula avec son support d'accroche (*mecano-sensing*, ou mécano-détection)³⁰¹. C'est au cours de cette étape décisive que le corail débute sa biominéralisation. D'un côté, l'emploi d'outils de mesure à des échelles nanométriques et micrométriques permet de mieux caractériser la relation de la larve avec son environnement. De l'autre, les pratiques de fabrication 3D, avec des résolutions pouvant aller à quelques centaines de nanomètres, permettent d'envisager des supports d'adhérence sur mesure afin d'étudier la relation du jeune corail à son environnement et potentiellement de mieux comprendre les supports d'accroche à même de favoriser le développement du corail juvénile³⁰². Une seconde échelle de développement est à percevoir au niveau des différentes espèces, qui ont chacune des géométries et des modèles de croissances qui diffèrent. Ces différences sont également à corrélérer au niveau de la colonie en fonction des conditions du milieu. L'étude 3D de ces structures peut permettre d'observer des modes de croissance spécifiques. Une troisième échelle de développement est à comprendre au niveau du récif en lui-même et de la fonction de refuge et de milieu qu'il occupe pour une grande partie des habitants du récif. En élargissant cette considération, ces études 3D

300 La fabrication additive est un procédé technique consistant à fabriquer un objet en trois dimensions par l'addition de couches successives de matières. Pour plus de détails sur cette technique, se référer au chapitre 2.

301 Cette piste donne actuellement lieu à l'écriture d'un projet de thèse qui croise des recherches sur des procédés de fabrication en salle blanche par Victor Fabre, actuellement doctorant dans l'équipe, avec les sujets de recherche d'Isabelle Domart-Coulon et Alain Paris au Musée National d'Histoire naturelle de Paris.

302 Cette étape est importante à comprendre, à la fois pour étudier les premiers stades de vie du corail ou pour caractériser les supports d'accroche sur des récifs artificiels par exemple, mais aussi dans le cas de boutures artificielles.

s'intéressent à la notion de forêts animales³⁰³ et de canopées appliquées à ces animaux marins. Forts des pratiques de l'équipe ELiA, se concentrant sur ce paradigme 3D de la recherche en biologie, nous avons souhaité renouveler les approches et les outils pour les études écologiques portant sur le corail. Ces perspectives et considérations techniques ont amené l'équipe à qualifier sa posture dans le cadre de cette recherche.

Quelle posture adopter en tant que chercheur (en design, ingénierie et biologie) sur le corail ? En effet, une partie de la communauté scientifique et citoyenne se demande si nous serions en capacité de sauver le corail grâce à la science et la technologie.

Faut-il sauver le corail ?

« Faut-il sauver le corail ? » Si je souhaite poser la question en ces termes, c'est que je pense important d'interroger l'injonction qui consiste à nous placer en sauveur des non-humains. Il me semble que cette position héroïque est discutable. Comme le souligne la biologiste Lynn Margulis, le corail n'a pas besoin d'être sauvé. C'est plutôt nous qui avons besoin de lui et pour cela nous ferions mieux de nous « protéger de nous-mêmes ».

« Pour moi, le mouvement humain qui consiste à prendre la responsabilité de la Terre vivante est risible. [...] Nous devons plutôt nous protéger de nous-mêmes³⁰⁴. »

L'idée selon laquelle nous devons « sauver le corail³⁰⁵ » est largement répandue. Ce qui peut apparaître au premier regard comme un élan collectif de protection environnementale bienveillant peut en réalité se révéler être une action dépolitisée. Aussi, nous verrons plus loin dans ce chapitre en quoi une position moraliste de l'art ou du design, qui viendrait *sauver* le corail, est problématique. Des approches en design et en art peuvent, au contraire, renouveler notre regard sur le corail, n'en faisant pas un écosystème en dehors de nous, que nous aurions pour mission de préserver, mais avec lequel nous devrions apprendre à vivre sur une planète abîmée.

Se placer en sauveur, c'est se placer en position de dominant ; or, cette position est problématique. Sauver, c'est éviter la perte, la disparition, la destruction. C'est donc un acte qui nécessite que nous ayons une réelle prise sur la situation. Or, dans le cas du corail, prétendre que nous sommes en capacité de sauver ces écosystèmes peut relever d'une part d'un mensonge, et d'autre part, d'une vision dominatrice moderne où les humains se placent en dehors de la nature³⁰⁶. Pour la jeune génération « privée de rêves »³⁰⁷, « sauver le corail » pourrait être un cri de ralliement qui rassemble une envie partagée de prendre

303 Nous discutons de ces recherches dans le chapitre 4 de la thèse.

304 Voir MARGULIS, Lynn. 2008. *Symbiotic Planet: a New Look at Evolution*. New York : Basic Books, p. 143 : « To me, the human move to take responsibility for the living Earth is laughable. [...] Rather, we need to protect us from ourselves. » [traduction personnelle].

305 Le hashtag « #savingcoral » est utilisé sur le réseau social Instagram pour montrer de la solidarité envers ces animaux menacés. De nombreuses associations, entreprises et organisations proposent diverses activités aux citoyens pour participer à l'effort de sauvegarde des récifs coralliens, en adoptant par exemple une jeune bouture ou en finançant l'entretien de « fermes à coraux ».

306 DESCOLA, Philippe, 2015. *Par-delà nature et culture*. Editions Gallimard.

307 STIEGLER, Bernard. 2020. *Qu'appelle-t-on Panser ? T2 : La leçon de Greta Thunberg*. Paris : Éditions Les liens qui libèrent.

soin des écosystèmes. Est-ce un rêve qui peut nous conduire, à la manière des utopies³⁰⁸, sur des pistes créatives et enrichissantes ? Est-ce une illusion dangereuse, une idée manipulatrice, qui nous écarte du réel problème ?

Pour répondre à cette question, je m'appuie sur un article publié en avril 2021 dans le journal *Biological Conservation*, intitulé « Concevoir un plan pour la survie des récifs coralliens³⁰⁹ ». Vingt et un auteurs venant de vingt instituts de recherche et de pays différents proposent un plan d'action pour la survie des récifs coralliens en prenant en compte le réchauffement climatique sur une durée de vingt à trente ans. Le plan proposé nécessite à la fois la réduction du réchauffement des océans et l'augmentation de la résilience des coraux. Les auteurs sont invités à évaluer de manière exhaustive les solutions de conservation des récifs coralliens selon six critères : efficacité, disponibilité, co-bénéfice, acceptabilité et échelle. Traiter les causes du changement climatique est l'action privilégiée par tous les auteurs, tandis que les actions les moins recommandées sont celles relevant de la géo-ingénierie³¹⁰. Si le processus de réchauffement climatique est à remettre en considération sur le temps long de l'histoire de notre planète, le rythme des traumatismes vécus par les coraux ne permet pas l'adaptation de ces derniers aux nouvelles conditions climatiques. De fait, « [L]e principal avantage de la stratégie de réduction des émissions est qu'elle laisse le temps aux coraux de s'adapter à l'augmentation de la température par des processus naturels et des interventions humaines³¹¹. » Selon les modèles prédictifs utilisés dans cette étude, il est possible que les coraux puissent survivre dans un environnement à faibles émissions avec de l'adaptation. La période d'un plan d'action pour la survie des récifs coralliens s'étend d'aujourd'hui à 2050.

Il est donc grand temps d'« agir ». Ce verbe d'action est à souligner, car justement des idées pour l'action ne manquent pas, les ingénieurs, scientifiques, designers et artistes étant très créatifs à l'endroit du corail qu'il s'agit de sauver, protéger ou sauvegarder. Pourtant, ces agissements ne prennent pas souvent en compte l'échelle globale de ces écosystèmes et semblent un espoir vain face à l'ampleur du problème. Si ces actions permettent de nous tenir occupés, en éveil, elles occultent un autre pan du faire qui doit nous préoccuper aujourd'hui : défaire, démanteler, réparer, etc., ce qui consiste justement à arrêter nos modes de production extractivistes et productivistes.

Les auteurs de l'article insistent sur trois éléments pour ce plan d'action. Premièrement, les récifs futurs seront très différents de ceux du passé. De plus, même si nous

308 L'utopie est une forme narrative initialement développée par Thomas More en 1516 dans un récit éponyme qui décrit un monde idéal. Le terme « utopie » est composé du préfixe privatif *u* et du préfixe *eu* signifiant « bon ». L'utopie est à la fois le lieu du bon, mais aussi le lieu de nulle part (*u-topos*, qui n'est d'aucun lieu). William Morris, que l'on considère comme le père du design, en fera l'usage dans son roman *News from Nowhere* publié en 1890. Dans les années 1960, cette forme narrative a été reprise par des groupes de designers et architectes, les designers radicaux italiens, comme une manière de faire du design.

309 KLEYPAS, Joan et al. Designing a blueprint for coral reef survival. In : *Biological Conservation* [en ligne]. Mai 2021. [consulté le 14 avril 2022] Vol. 257. Disponibilité : <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109107>

310 La géo-ingénierie est un terme utilisé pour qualifier des techniques dont l'objectif est de modifier le climat de notre planète.

311 Voir POLOCZANSKA, Elvira et al. The IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. In : *2018 Ocean Sciences Meeting*. AGU, cité par KLEYPAS, Joan et al., Designing a blueprint for coral reef survival : « The main advantage of the low-emissions trajectory is that it buys time for coral to adapt to rising temperature through both natural processes and human interventions. » [traduction personnelle].

arrivons à maintenir la température à +1,5 °C³¹² par rapport à l'ère préindustrielle, 100 % des coraux ne pourront être restaurés ou protégés. Deuxièmement, il nous faudra passer de ce qui est désirable à ce qu'il est possible de faire. Troisièmement, cette stratégie devra être organisée et soutenue de manière institutionnelle et financière. Les auteurs comparent la mission « sauver le corail » à la mission Apollo 11 ou la lutte contre le cancer ; ils rappellent cependant que la sauvegarde d'un écosystème relève d'une exigence tout autre. Au-delà du défi technique, sauver les récifs coralliens demande une capacité à se déployer sur des milliers de sites différents. Une métaphore plus appropriée, selon les auteurs, serait de « déployer un système de santé », ce qui passe à la fois par des traitements, mais aussi par une action publique de meilleure alimentation et de nouvelles habitudes. Les auteurs relèvent le besoin d'augmenter à la fois la connaissance du public sur les enjeux liés aux océans et le besoin d'une meilleure coordination entre les disciplines, à l'image de consortiums internationaux déjà existants (*International Coral Reef Society*, 1980 ; *Reef Resilience Network*, 2006 ; *International Coral Reef Initiative*, 1994 ; *the Coral Restoration Consortium*, 2016). Les auteurs pensent que la stratégie doit se déployer selon un système de priorités et non en ayant un but mal défini comme le serait celui de « sauver les récifs coralliens ». D'un point de vue budgétaire, cela représente des milliards de dollars américains qui doivent être investis, et qui sont à mettre en regard des milliards que nécessitent les aménagements des littoraux liés à la montée des eaux et les milliards de bénéfice³¹³ qu'apportent les récifs eux-mêmes.

Cet article est particulièrement intéressant, car il remet largement en question la capacité des innovations technologiques à préserver des écosystèmes coralliens. La **figure 49** fait apparaître les diverses solutions envisagées comme les stratégies de géo-ingénierie (non testées) visant à modifier le rayonnement solaire en reflétant la lumière du soleil vers l'espace ou encore l'ombrage de la surface des océans à l'échelle locale, sont considérées comme risquées, et les auteurs relèvent que cela ne réglerait de toute façon pas le problème d'acidification des océans. Les auteurs favorisent, en complément de la baisse des émissions, le travail sur la gouvernance des littoraux, la réglementation de la pêche et des réserves marines.

D'autres solutions sont analysées dans l'article, telles que l'adaptation et l'évolution assistées ainsi que la fécondation et le recrutement assistés, qui sont jugés comme ayant un impact relativement modéré pour leur niveau de maturité et leur échelle de déploiement potentielle³¹⁴. Les auteurs modulent l'impact de ce qu'ils appellent des actions de restauration active qui « se concentre[nt] encore sur trop peu d'espèces et se limite [nt] à de petites échelles spatiales : même les efforts importants peinent à restaurer un hectare par an³¹⁵. »

312 À ce sujet, voir HOEGH-GULDBERG, Ove, JACOB, Daniela, TAYLOR, M., BOLAÑOS, T. Guillén, BINDI, Marco, BROWN, Sally, CAMILLONI, Ines Angela, DIEDHIOU, Arona, DJALANTE, Riyanti et EBI, Kristie, 2019. The human imperative of stabilizing global climate change at 1.5 C. *Science*. Vol. 365, n° 6459.

313 À titre d'exemple, aux États-Unis la valeur économique attribuée au corail par année est de 3,6 milliards d'euros. Nous ne sommes personnellement pas convaincus qu'il faille mesurer financièrement ce que « rapportent » les écosystèmes coralliens, mais nous comprenons que les données économiques constituent un argument supplémentaire à celui du réchauffement climatique qui a l'avantage de parler la langue des décideurs actuels.

314 Ces solutions sont uniquement locales.

315 Joan KLEYPAS et al., *Designing a blueprint for coral reef survival*.

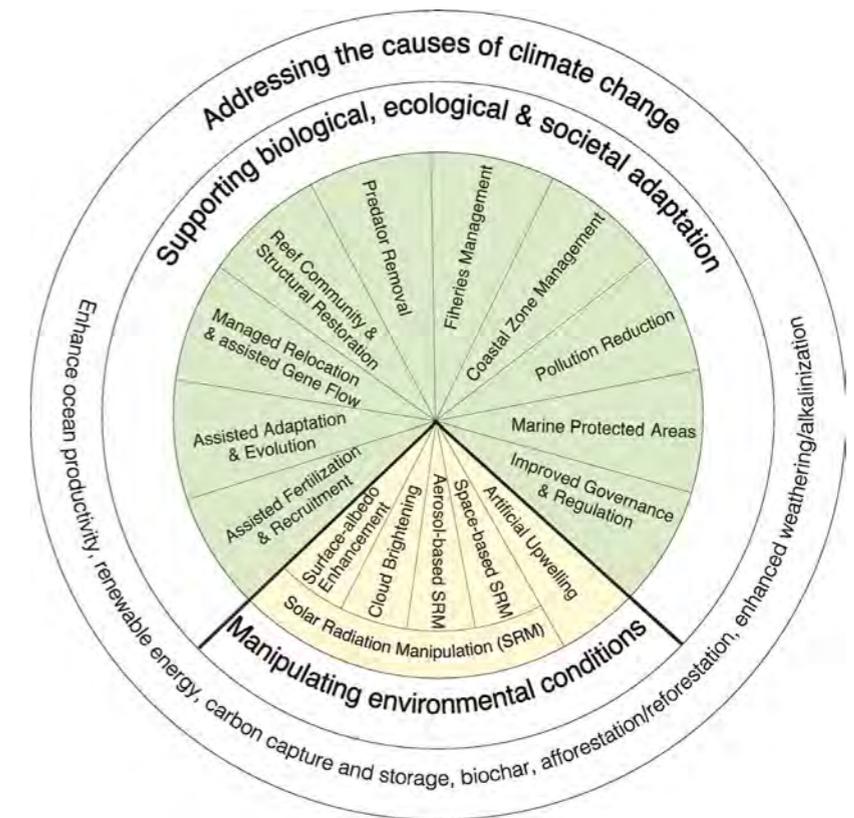


Figure 49 — Extrait de l'article « *Designing a Blueprint for Coral Reef Survival* » présentant les actions potentielles pour concevoir un plan dédié à la survie des récifs coralliens.

Quand on comprend l'ampleur de ce qu'implique un plan pour la survie des récifs coralliens, je pense que l'on a le devoir d'une grande humilité quant à la prétention de pouvoir sauver ces écosystèmes. Plutôt que de sauver, il nous faudrait apprendre à « penser » ces derniers et à imaginer pour eux d'autres futurs.

Dans ce travail de recherche doctoral, mener le « projet corail » n'est donc pas un vain défi qui consisterait à se porter en héros et à sauver cet écosystème. Il s'agit plutôt d'une collaboration mêlant design, sciences naturelles et pratiques techniques afin d'envisager une manière de faire recherche qui ne soit pas solutionniste, mais régénératrice ; une manière de faire qui ne soit pas compétitive, mais collaborative. Le « projet corail » s'est structuré autour d'une archive, *Corallum Fabrica*, donnant en accès libre les structures internes des squelettes de coraux. Pour l'équipe ELiA dans laquelle je mène mes recherches, le projet opère un transfert d'une forme de *care* liée à la médecine humaine vers une forme de *care* de la biologie marine³¹⁶, permettant un partage de pratiques et de questions entre des études océanographiques et les pratiques technologiques du laboratoire LAAS-CNRS³¹⁷.

316 Ces deux formes de soin ne sont d'ailleurs pas incompatibles.

317 Les liens entre les laboratoires de technologies et de biologie marines sont récents, du moins dans la recherche publique française, comme en attestent les études menées durant l'expédition de TARA 2009. Voir à ce sujet KARSENTI, Éric et al. A Holistic Approach to Marine Eco-Systems Biology. In : *PLOS Biology* [en ligne]. Octobre 2011. [consulté le 14 avril 2022] vol. 9, n° 10. Disponibilité : <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001177>

2. Hypothèse : Produire une archive de recherche

Corallum Fabrica est le nom que prend l'archive de recherche que j'ai proposée comme hypothèse pour favoriser la collaboration entre design, ingénierie et biologie. Nous y interrogeons l'apport des technologies 3D pour l'étude du corail, pouvant répondre à des questions d'ordre théorique, mais aussi des questions de perception de ces organismes à travers un projet de science en train de se faire. Ce projet prend la forme d'une archive accessible en ligne (*open science*) pour tout citoyen. Je reviens dans cette partie sur certaines étapes intellectuelles et instrumentales qui ont guidé cette hypothèse : produire une archive comme format de recherche collaborative.

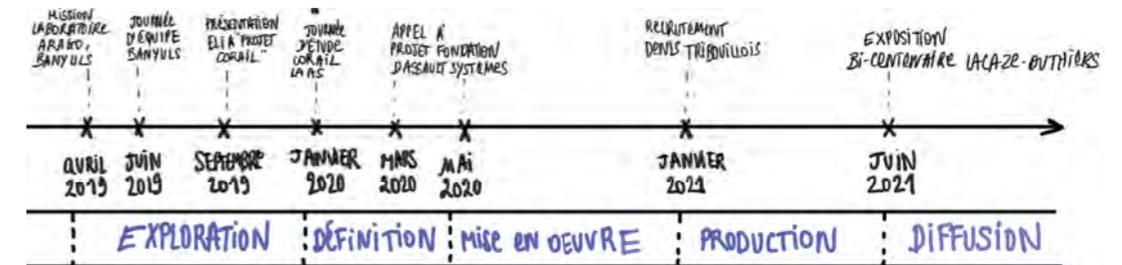


Figure 50 — Frise chronologique du projet corail.

Dans la **figure 50**, nous retraçons quelques dates et phases du projet *Corallum Fabrica*. On peut voir sur la chronologie que différentes phases organisent la temporalité du projet : une première phase exploratoire d'avril 2019 à janvier 2020 puis une phase de définition jusqu'à mai 2020, une phase de mise en œuvre jusqu'à janvier 2021 puis une phase de production jusqu'en août 2021, suivie d'une phase de diffusion.

Le 20 janvier 2020, j'organise une journée d'étude au LAAS-CNRS. J'y invite trois biologistes : Isabelle Domart-Coulon, rattachée au Muséum national d'Histoire naturelle de Paris et qui s'intéresse au développement larvaire, Franck Lartaud, rattaché au laboratoire Arago et dont le sujet d'étude porte sur les coraux profonds, et Serge Planes, rattaché au CRILOBE et dont l'étude se concentre sur la génomique des coraux tropicaux. J'y invite également un designer, David Enon, dont la démarche me semble être intéressante pour éclairer les discussions. Six personnes du laboratoire (LAAS-CNRS) sont présentes, dont un postdoctorant, trois membres permanents et deux ingénieurs de recherche. La journée s'est déroulée en deux temps : une matinée consacrée à des communications individuelles et une après-midi dédiée à un temps de réflexion commun. C'est un moment d'échanges important entre trois disciplines très différentes (le design, l'ingénierie et la biologie) que j'ai tenté de mettre en synergie. La convocation simultanée de ces trois domaines me paraît être un point important de cette recherche. Le design réfléchit les formats et les formes de la recherche scientifique en train de se faire et sa potentielle réception ; il interroge également les usages techniques et leurs finalités. La technologie, quant à elle, participe au renouvellement des gestes techniques, des modèles d'étude, et ouvre de nouvelles questions pour la biologie. La biologie, enfin, au-delà du fonctionnement sur le

vivant sur lequel portent ses recherches, peut renouveler notre regard et notre mode de compréhension du vivant tout en participant à l'élaboration de formes de savoir qui s'appliqueront dans les aménagements des littoraux.

Les formes de l'agir collectif ont été discutées durant la journée d'étude du 20 janvier 2020 à travers ces trois questions : Pourquoi travailler ensemble ? Quelles hypothèses pouvons-nous faire ? Quelles idées soutenons-nous ? Nous définissons, à ce moment et par la négative, l'objet de notre entreprise commune en explicitant ce à quoi nous ne souhaitons pas contribuer. Ainsi, le collectif de chercheurs ne souhaite pas contribuer à une vision « technosolutionniste » des pratiques et visées scientifiques. Les techniques que nous mobilisons ne s'orientent pas vers la recherche de solutions venant remédier par une implication directe aux problèmes des récifs coralliens. En ce sens, le collectif ne souhaite pas participer à la production de récifs bioartificiels, qui consisterait à créer ex nihilo des formes de vie depuis le laboratoire³¹⁸.

La **figure 51** représente le compte-rendu graphique de cet atelier de travail. On peut y lire des motivations très générales telles qu'« ouvrir les possibles et les recherches » ou encore « transférer les technologies et les connaissances ». Ce que ne représente sans doute pas ce compte-rendu graphique, c'est un mode de réflexion commun, où il importait aux personnes invitées de réfléchir à la posture de cette recherche. Nous avons eu l'occasion de partager nos « zones d'importances ». Les participants venant de disciplines et d'instituts très différents, nous définissons ainsi « ce à quoi nous tenions » pour ne pas participer à une forme de travail déséquilibrée où une discipline viendrait instrumentaliser une autre.

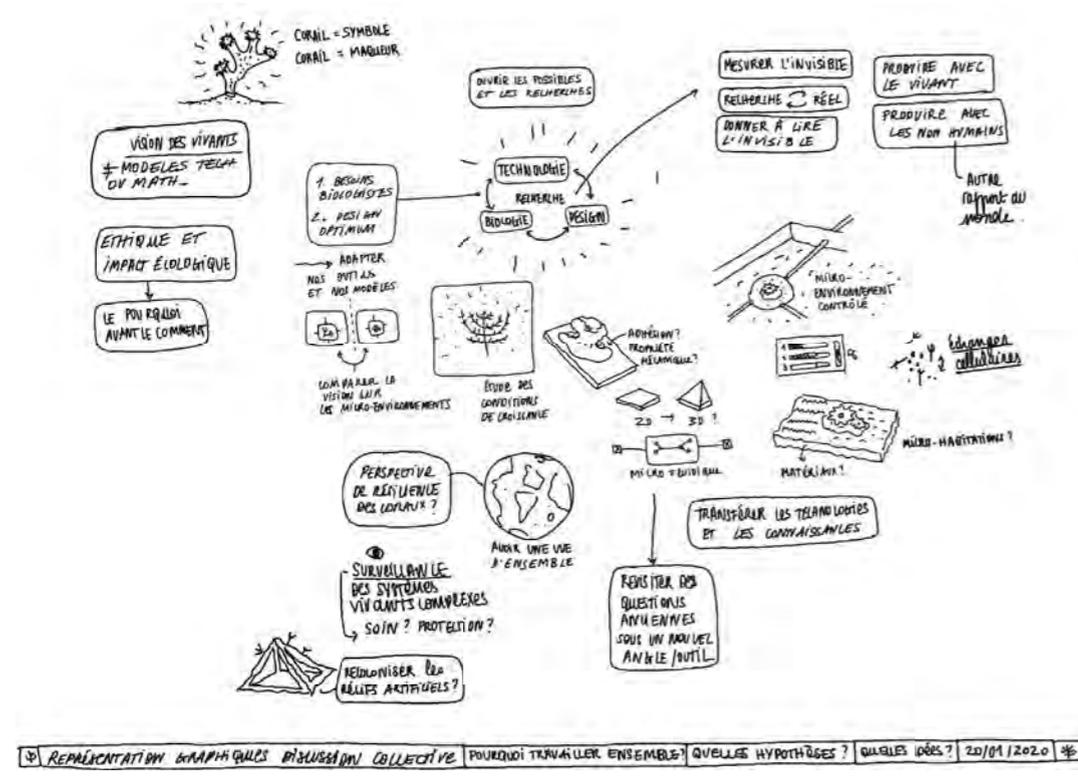


Figure 51 — Compte-rendu graphique de l'atelier de travail du 20 janvier 2020.

318 Ces hypothèses ne seraient pas tant farfelues venant d'une équipe travaillant à la bio-impression 3D et à la réplification de formes de vie afin de les étudier plus finement.

Nous n'avions, à ce moment-là, pas défini de projets ou d'objectifs communs. Nous avons en revanche conclu cette journée par des expérimentations que nous pourrions mener pour enrichir mutuellement nos recherches. Une de ces expérimentations consistait en la modélisation de squelettes de coraux à l'aide d'une technique bien connue de l'équipe, la tomographie à rayons X. C'est cette technique qui m'a donné l'envie de formuler l'hypothèse d'une archive de recherche.

Je suis revenue par la suite vers ce collectif en proposant de travailler sur une « bibliothèque 3D des coraux », une forme d'atlas, à la fois dispositif scientifique et dispositif de diffusion pour les citoyens. À ce stade du projet, le terme d'archive n'est pas proposé pour qualifier cette entreprise commune. La figure de l'« atlas » plus connue des chercheurs en biologie est une forme qui nous permet de nous projeter collectivement dans un objet commun. Ce terme d'abord utilisé pour décrire un ensemble de recueils de cartes géographiques a par la suite été utilisé comme forme scientifique. Lorraine Daston et Peter Galison reviennent sur cette forme dans l'ouvrage *Objectivité*³¹⁹. Pour ces deux historiens américains des sciences, « Les images d'atlas scientifiques sont des images « au travail », qui s'appliquent depuis des siècles à toutes les sciences de l'œil, de l'anatomie à la physique, en passant par la météorologie et l'embryologie. » Cette manière d'être en acte, d'être une science en train de se construire est une forme qui convient bien au projet collectif que nous étions alors en train d'entreprendre. « Les atlas sont des compilations systématiques d'objets de travail. Ce sont les dictionnaires des sciences de l'œil³²⁰. » Dans le mail³²¹ de compte-rendu de cette journée d'étude, voici ce que je propose :

« En s'appuyant sur la tomographie à rayons X, il s'agirait d'imager les structures coralliennes dans leur diversité afin d'obtenir des informations structurales dans la droite lignée des bibliothèques à ADN en cours de constitution pour la mission TARA, et de manière complémentaire en permettant l'accès à d'autres informations sur le mode de croissance du squelette et sur sa fluidique interne. Cette bibliothèque s'inscrit dans un désir d'archivage des formes du vivant, en lien avec la baisse de leur diversité dans nos océans.

En termes artistiques, il nous intéresse de donner à voir cette disparition, et de donner à lire des informations habituellement non visibles. Nous voudrions, à terme, proposer une installation multimédia, mélangeant images scientifiques, reconstitutions 3D, impressions 3D d'objets fantômes ou bio-inspirés, etc., afin de produire l'expérience d'une bibliothèque 3D des coraux. »

J'expose dans ce mail la double portée de ce projet qui d'un côté permet d'obtenir des informations complémentaires sur les récifs coralliens et de l'autre me permet de réfléchir aux modes de perception et d'étude des formes du vivant. Il me semble alors important de définir un projet, que je vois comme une entreprise commune. Je pense en effet que l'espace de collaboration du « projet corail » est une activité de *commoning* qui peut se définir comme « un processus social qui réunit les gens afin de trouver des solutions à des

319 DASTON, Lorraine et Peter GALISON. *Objectivité*

320 DASTON, Lorraine et Peter GALISON. *Objectivité*

321 Mail professionnel du 25/02/2020 : « Compte-rendu réunion Corail au LAAS-CNRS - 20 janvier 2020 ».

problèmes communs³²². » Ainsi, la réunion d'un collectif de chercheurs issus de disciplines différentes, rassemblés autour des pratiques de technologies 3D appliquées à l'étude des squelettes de coraux permet de mettre en commun les savoir-faire techniques, les connaissances théoriques et les sensibilités.

Un axe de recherche est alors créé au sein de l'équipe pour soutenir ce collectif, appelé « Corail 3D », afin d'étudier comment les technologies 3D (réalité virtuelle, impression 3D multiéchelles et multimatériaux, tomographie à rayons X, microenvironnement 3D, etc.) peuvent participer à l'étude du corail. Cet axe de recherche bénéficie du soutien financier de la Fondation Dassault Systèmes.

Une raison supplémentaire, et sans doute la plus importante, bien qu'elle soit premièrement apparue comme secondaire, est de s'apporter mutuellement plus d'autonomie et un *empowerment* (une capacité nouvelle, un « empouvoirement ») au sein du collectif. Pour les biologistes, les technologies déployées au LAAS-CNRS permettent en effet d'imaginer de nouveaux modèles d'étude utilisant des microenvironnements plus pertinents, ou encore d'avoir accès à des technologies de caractérisation de haute résolution qui sont souvent chères pour les études écologiques qui ne bénéficient pas de l'accès à ce type de technologies, tandis qu'elles sont le lot commun pour les laboratoires développant ces techniques. Pour les technologues, cela permet d'ouvrir leur recherche sur des sujets d'étude non imposés, faisant sens par rapport à leurs valeurs de chercheurs, d'une science qui se doit d'être, selon leurs termes, « utile à la société ». Également, et plus trivialement, il s'agit d'avoir une copie numérique de certains représentants de coraux particulièrement importants si les archives physiques, telles que celles de la zoothèque dont nous aurons l'occasion de parler plus tard, venaient à disparaître.

Pour ma recherche en design, l'objectif de ce projet est bien d'opérer un changement culturel au sein des pratiques scientifiques où l'art et le design ne sont pas perçus par les chercheurs comme un simple moyen d'illustrer leur recherche ou d'en faire la vulgarisation, mais participent à l'élaboration même de la science en train de se faire. C'est au fond l'hypothèse que l'archive de recherche, considérée en tant que forme artistique, puisse orienter les questions de recherche et permettre une autre sensibilité scientifique.

Transferts de pratiques : technologies 3D et biologie

J'ai détourné les techniques habituellement utilisées dans l'équipe afin de générer une archive en ligne des architectures internes des coraux. D'un point de vue scientifique, les données produites permettent de répondre à des questions taxonomiques et morphologiques. D'un point de vue culturel, les modèles 3D ainsi obtenus participent à une action d'archivage nécessaire pour documenter la disparition de ces espèces.

Avec Laurent Malaquin, nous avons commencé l'exploration de cette piste à partir d'échantillons de coraux d'eaux froides. Deux fragments de squelettes des espèces *Madrepora oculata* et *Lophelia pertusa* étudiés par le maître de conférences et biologiste marin Franck Lartaud ont été imagés et modélisés par tomographie à rayons X. La tomographie à rayons X est une technique d'imagerie non destructive qui permet d'obtenir des

images 3D des coraux. Cette technique permet d'avoir accès à des informations sur sa structure interne, sa composition, voire ses propriétés mécaniques. La **figure 52** est une composition en diptyque représentant à gauche une projection de l'ensemble de l'échantillon et à droite une coupe obtenue à partir de la tomographie. On peut voir la loge du polype avec une biominéralisation interne particulière.

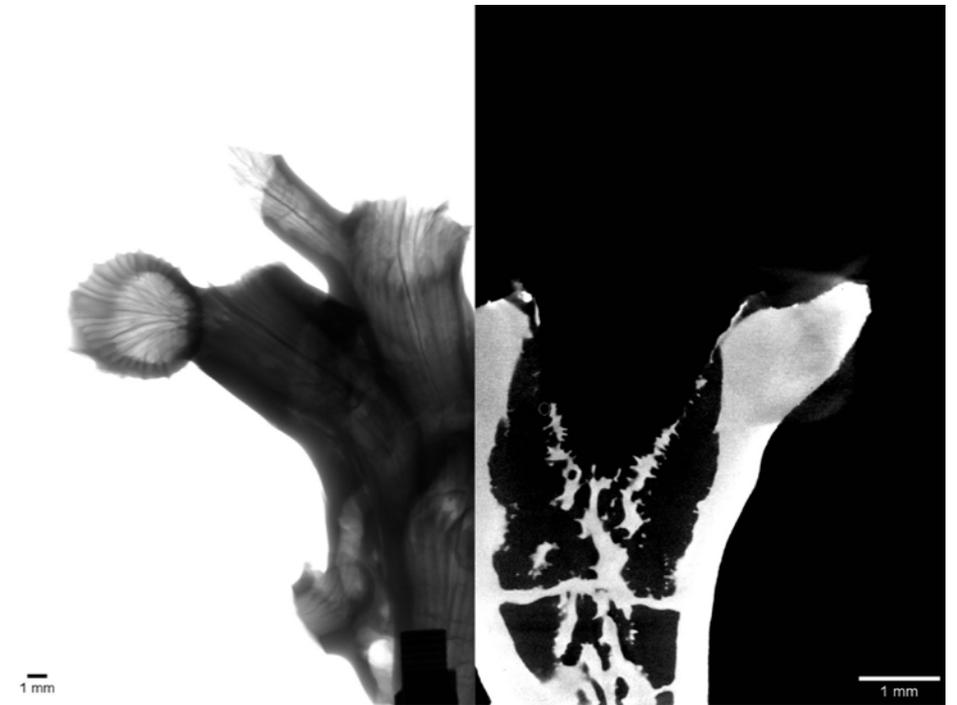


Figure 52 — Projection et extraits d'un stack d'images obtenu par tomographie à rayons X à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse, à partir d'un échantillon de squelette de l'espèce de corail profond *Lophelia pertusa* donné par Franck Lartaud.

Avec cette première expérimentation, j'ai commencé à explorer les manières de visualiser ces architectures internes ainsi imagées. J'ai testé ces images dans un casque utilisant une technologie de réalité virtuelle avec un autre laboratoire, l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse, qui travaillait alors à la visualisation 3D pour la recherche médicale. Les images générées par le tomographe ont une plastique et un vocabulaire esthétique puissants, donnant accès à l'invisible et à l'inconnu de ce qui se joue à l'intérieur des structures.

322 Silke Helfrich et David Bollier dans CORNU, Marie, Fabienne ORSI et Judith ROCHFELD. 2021. *Dictionnaire des biens communs*. Paris : Presses universitaires de France.



Figure 53 — Extrait d'un stack (pile d'images) du scan d'un squelette de profondeur de l'espèce *Madrepora oculata* réalisé par tomographie à rayons X. Ce procédé permet de reconstituer un modèle 3D à haute résolution. Ces images ont été réalisées à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT). Le spécimen appartient à la collection de travail de Franck Lartaud (LECOB).

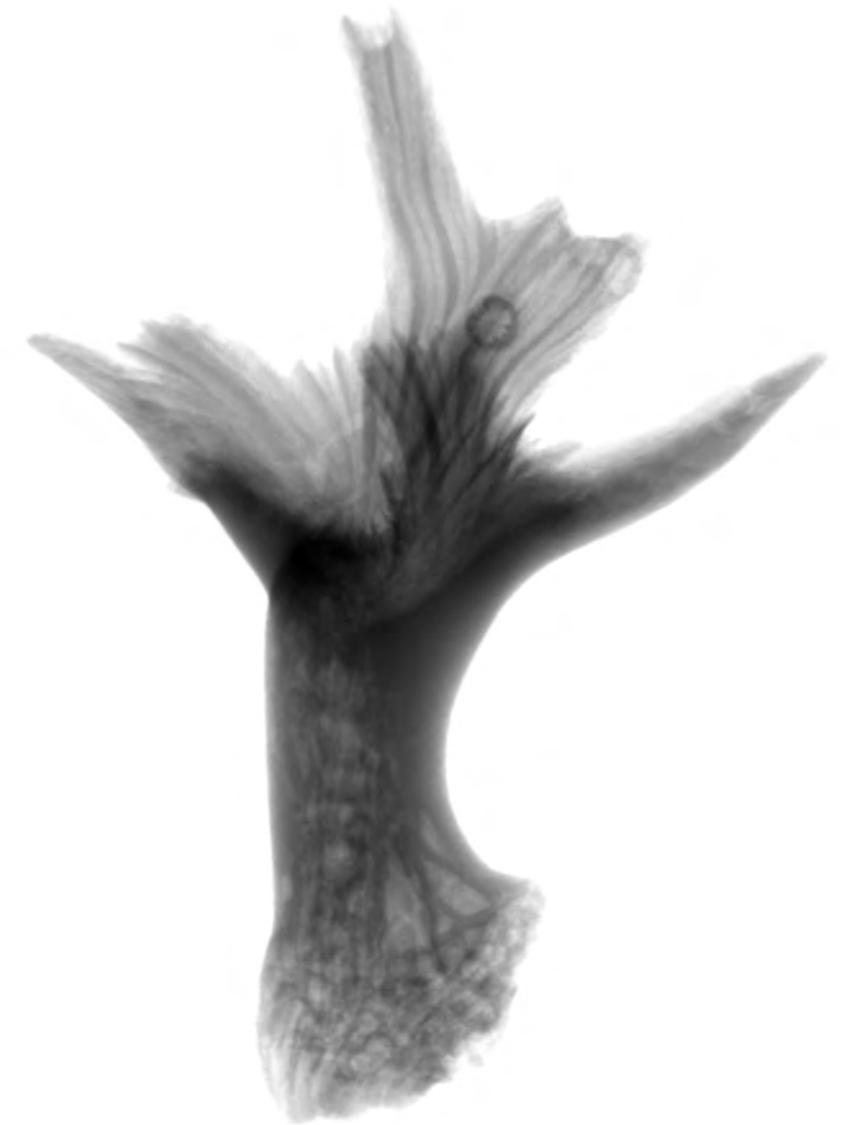


Figure 54 — Vue du squelette obtenu par projection de *Dactylotrachus cervicornis* (MNHN-IK-2009-1863) (Moseley, 1880) réalisée par tomographie à rayons X. Ce procédé permet de reconstituer un modèle 3D à haute résolution. Ces images ont été réalisées à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT). Corail issu de la collection patrimoniale de coraux Scléactiniaires de la zoothèque du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris (MNHN).

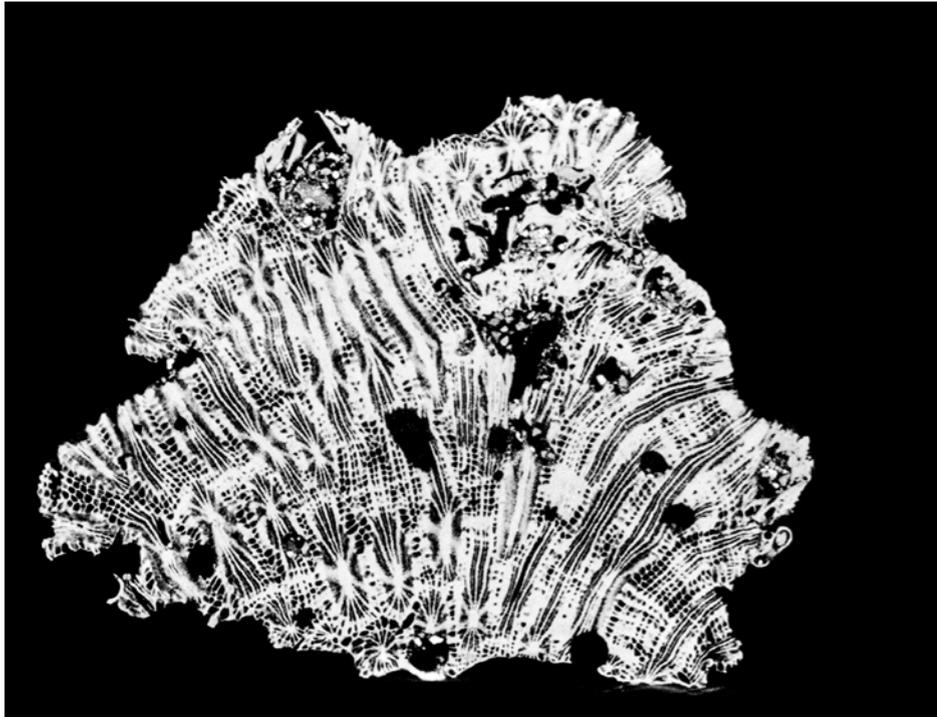


Figure 55 — Extrait d'un stack du scan du squelette de *Stephanocenia michelini* (Milne Edwards & Haime, 1848) réalisé par tomographie à rayons X. Ce procédé permet de reconstituer un modèle 3D à haute résolution. Ces images ont été réalisées à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT). Corail issu de la collection patrimoniale de coraux Scléactiniaires de la zoothèque du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris (MNHN).

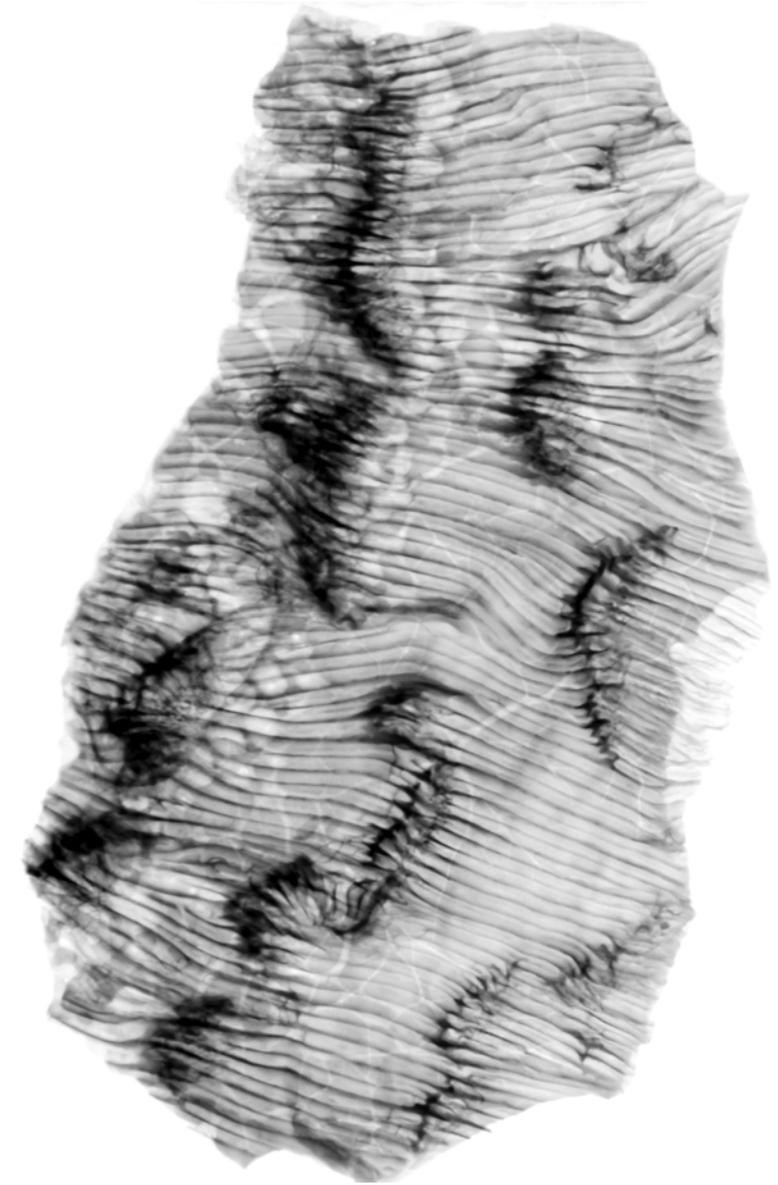


Figure 56 — Vue du squelette par projection de *Mycedium okeni* (Milne Edwards & Haime, 1851) accepté comme *Mycedium elephantotus* (Pallas, 1766) réalisée par tomographie à rayons X. Ce procédé permet de reconstituer un modèle 3D à haute résolution. Ces images ont été réalisées à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT). Le spécimen appartenait à la collection Milne Edwards, c'est un fragment du type. Collection patrimoniale de coraux Scléactiniaires de la zoothèque du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris (MNHN).

Traverser leurs corps : tomographie à rayons X et modélisation 3D

La technique de tomographie à rayons X est une technique d'imagerie qui consiste à réaliser des milliers de clichés radiographiques d'un même objet à des angles différents à l'aide d'une table tournante. Le traitement de ces piles d'images permet de reconstruire un modèle 3D prenant en considération les enveloppes externes et internes des objets imagés. Comme on peut le voir sur la **figure 57**, la reconstruction du modèle 3D est opérée par segmentation de l'image 3D afin de créer un maillage 3D. Une opération d'optimisation du maillage (en réduisant le nombre de faces du maillage) est par la suite nécessaire afin d'améliorer les performances d'affichage de l'objet 3D pour permettre sa visualisation sur un navigateur ou dans un environnement 3D.

Dans notre cas, l'utilisation du tomographe pour l'archivage des structures internes des coraux est adaptée au matériau calcaire des squelettes, car ce matériau est assez dense pour créer une image contrastée entre ce qui est « vide » et ce qui ne l'est pas. La technique conditionne par ailleurs la taille des échantillons que nous pourrions faire figurer dans la bibliothèque. Ainsi, la technique utilisée est utile pour aller chercher des informations à petite échelle, de l'ordre de quelques microns (10^{-6}). Cette échelle de grandeur est pertinente pour étudier les structures internes des coraux au niveau des calices (zones où logent les polypes).

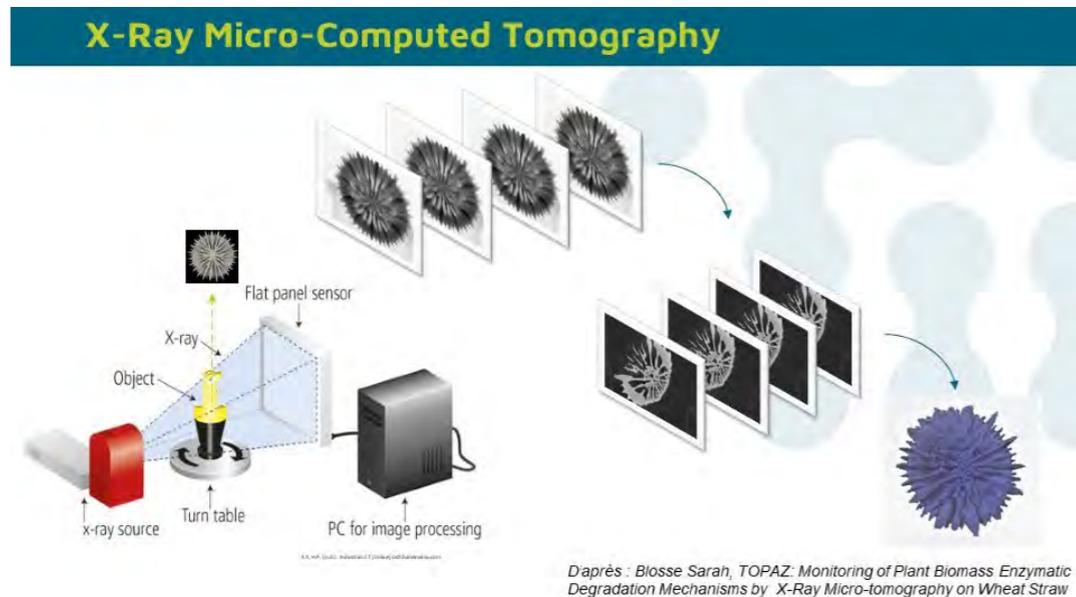


Figure 57 — Schéma récapitulatif de la technique de tomographie à rayons X, d'après une présentation de Sarah Blosse, Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse. Crédits : Sarah Blosse.

La mise en visibilité des détails des structures internes et ce mode d'attention au tout petit font de la tomographie à rayons X un dispositif aux dimensions poétique et esthétique, prêtant attention à la moindre aspérité, qui devient un monde à part entière une fois agrandie.

La résolution est également à mettre en relation avec la taille des détails qui caractérisent les architectures internes des coraux. Plus la résolution sera importante³²³, plus finement nous apparaîtra cette architecture, générant une masse d'informations très importante.

323 Les fichiers 3D sont générés avec X-Act, le logiciel de reconstruction utilisé ; ils peuvent faire plusieurs gigaoctets, et une fois optimisés entre 10 et 400 Mo.

Cahier d'images

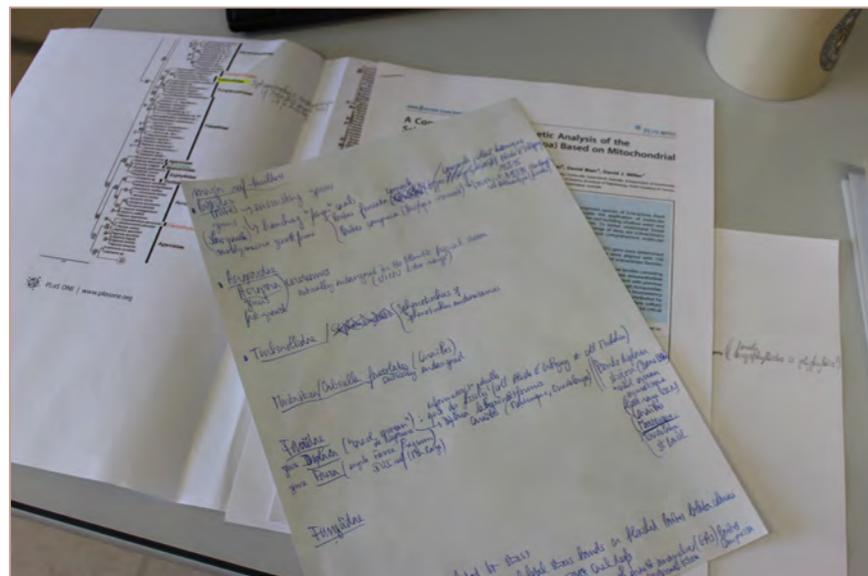
Ce cahier d'images revient sur le travail de terrain permettant le choix des spécimens de coraux et de conception des modèles 3D qui intègrent l'archive Corallum fabrica. Il s'agit d'un travail en archive menée sous la supervision d'Isabelle Domart-Coulon.



01



03



02

04



05

06

8. Madrépore corne-de-cerf. *Madrepora cervicornis*.

M. ramosa ; ramis subsimplicibus , teretibus , acutis , crassis , variè curvis ; papillis stelliferis , brevibus.

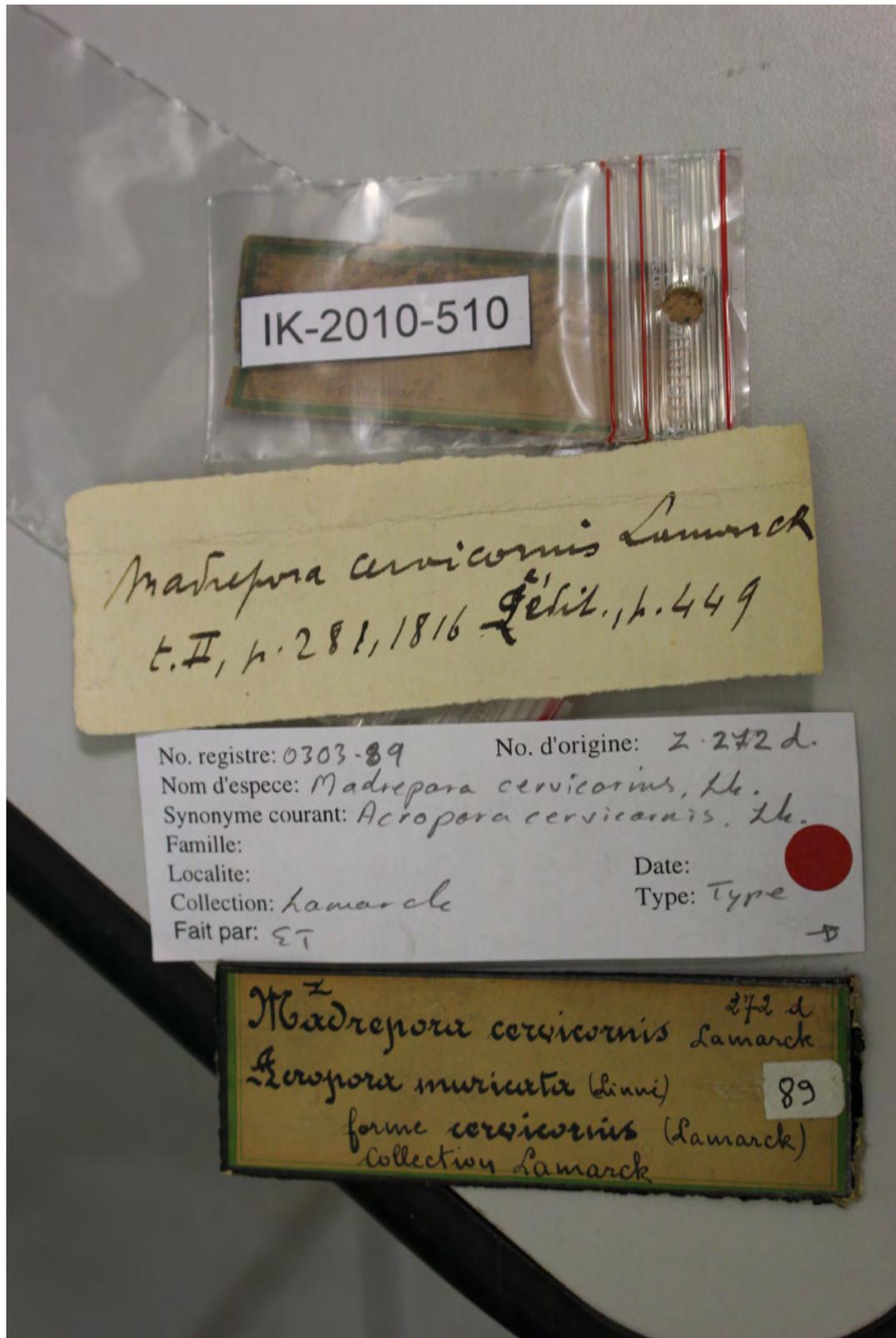
Corallium album , porosum , maximum muricatum. Sloan. jam. hist. 1. tab. 18. f. 3. Seba. mus. 3. tab. 114. f. 1.

2. eadem ramis divisis.

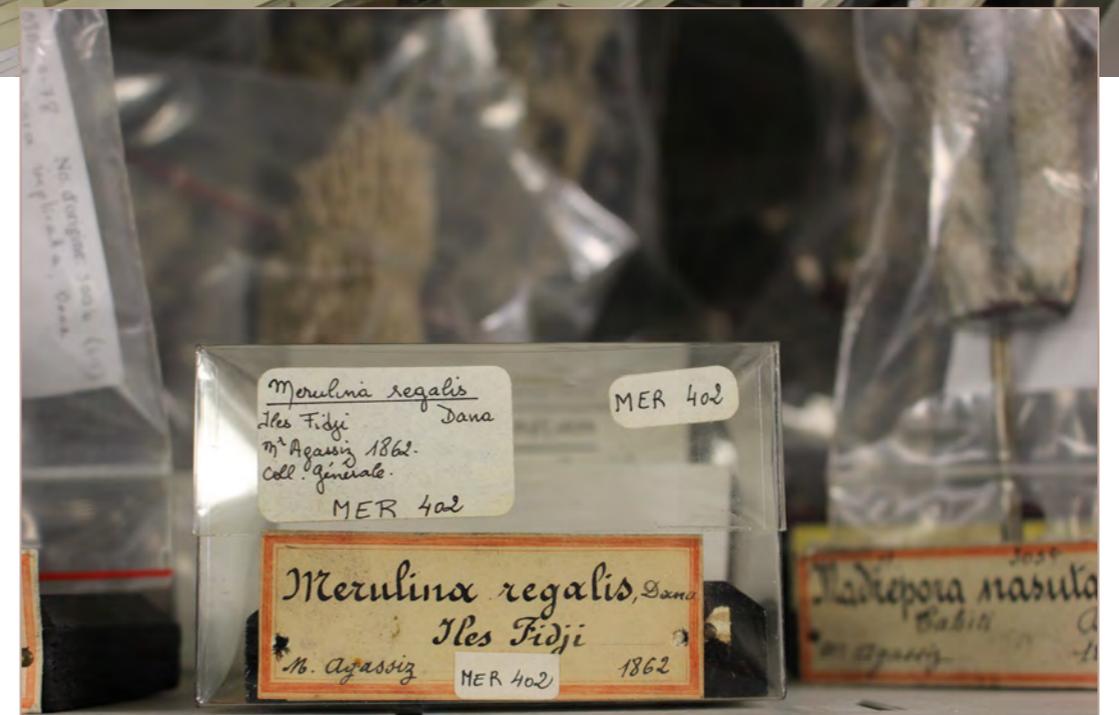
Esper. suppl. 1. tab. 49.

Mus. n.°

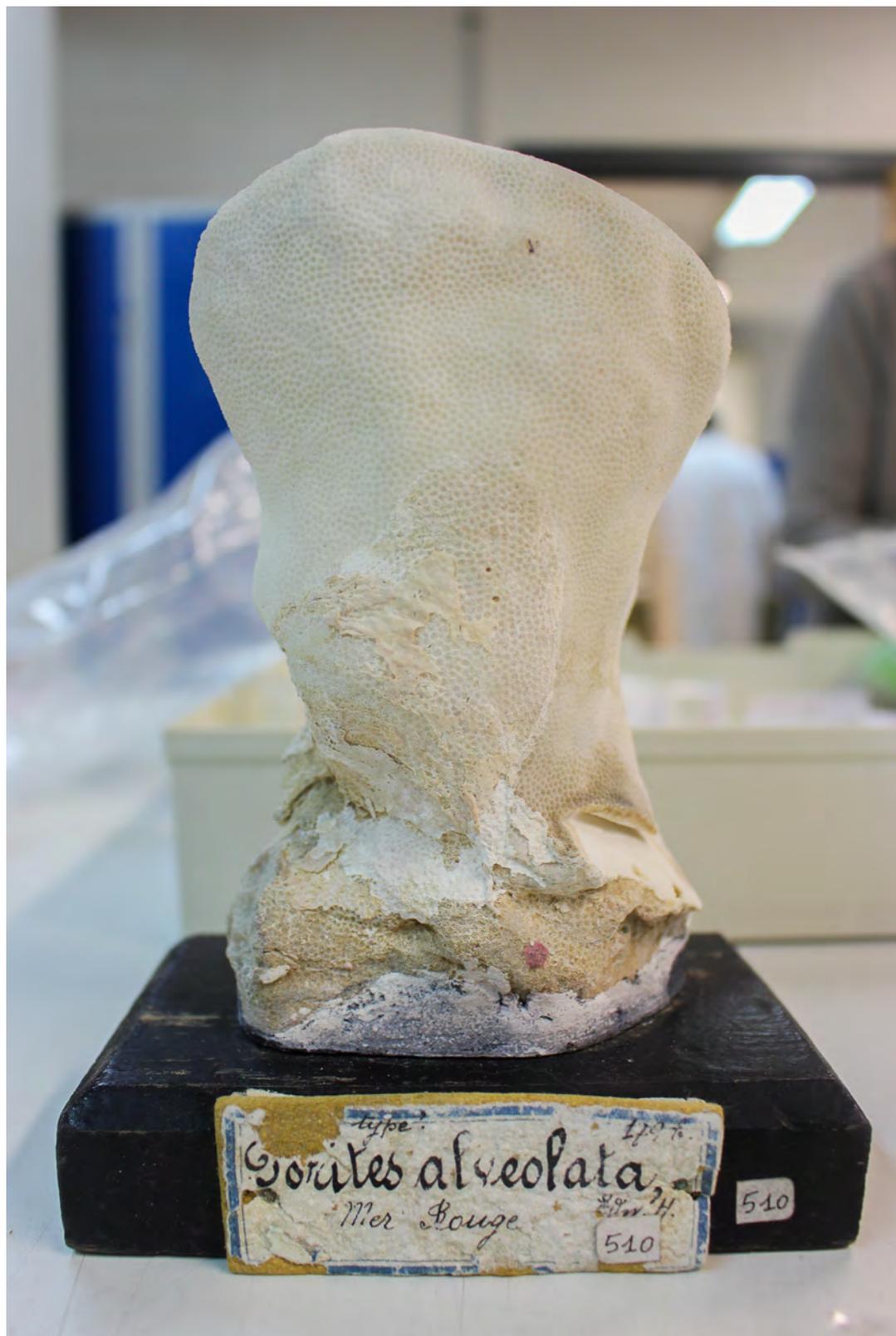
Habite les mers d'Amérique. Mon cabinet. Ce madrépore et le suivant n'ont pas leurs branches couvertes de ramuscules courts et nombreux comme le précédent. Celui-ci a des branches simples ou peu divisées, cylindriques, épaisses, pointues, scabres, à papilles courtes, sans étoiles superficielles dans les interstices.



07



09



10



11



12



13



14



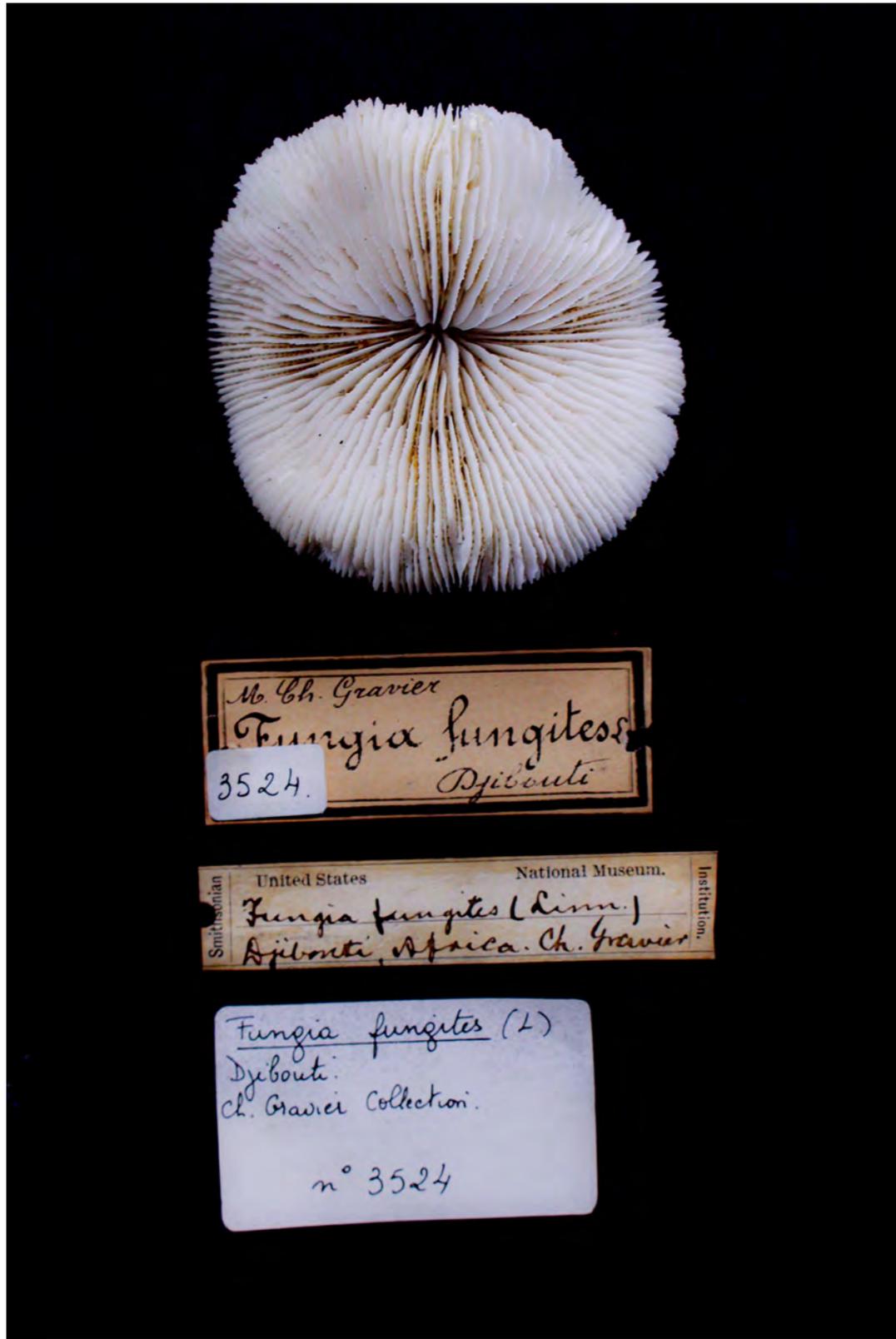
15



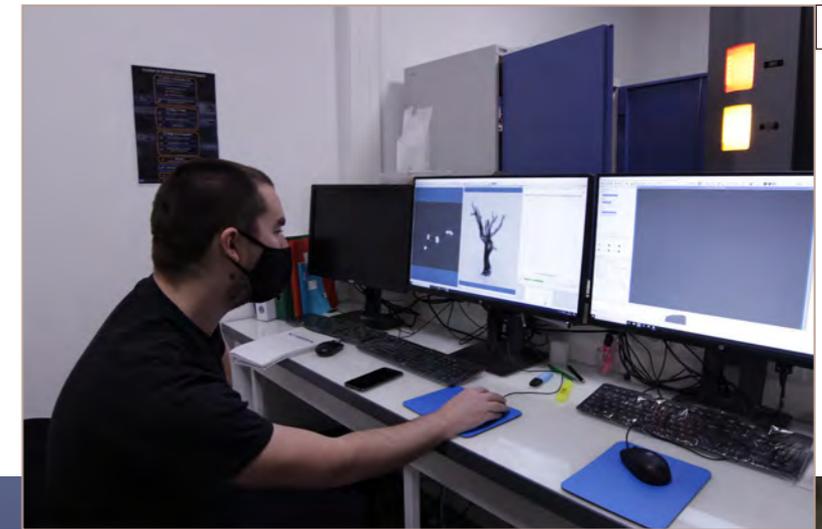
16



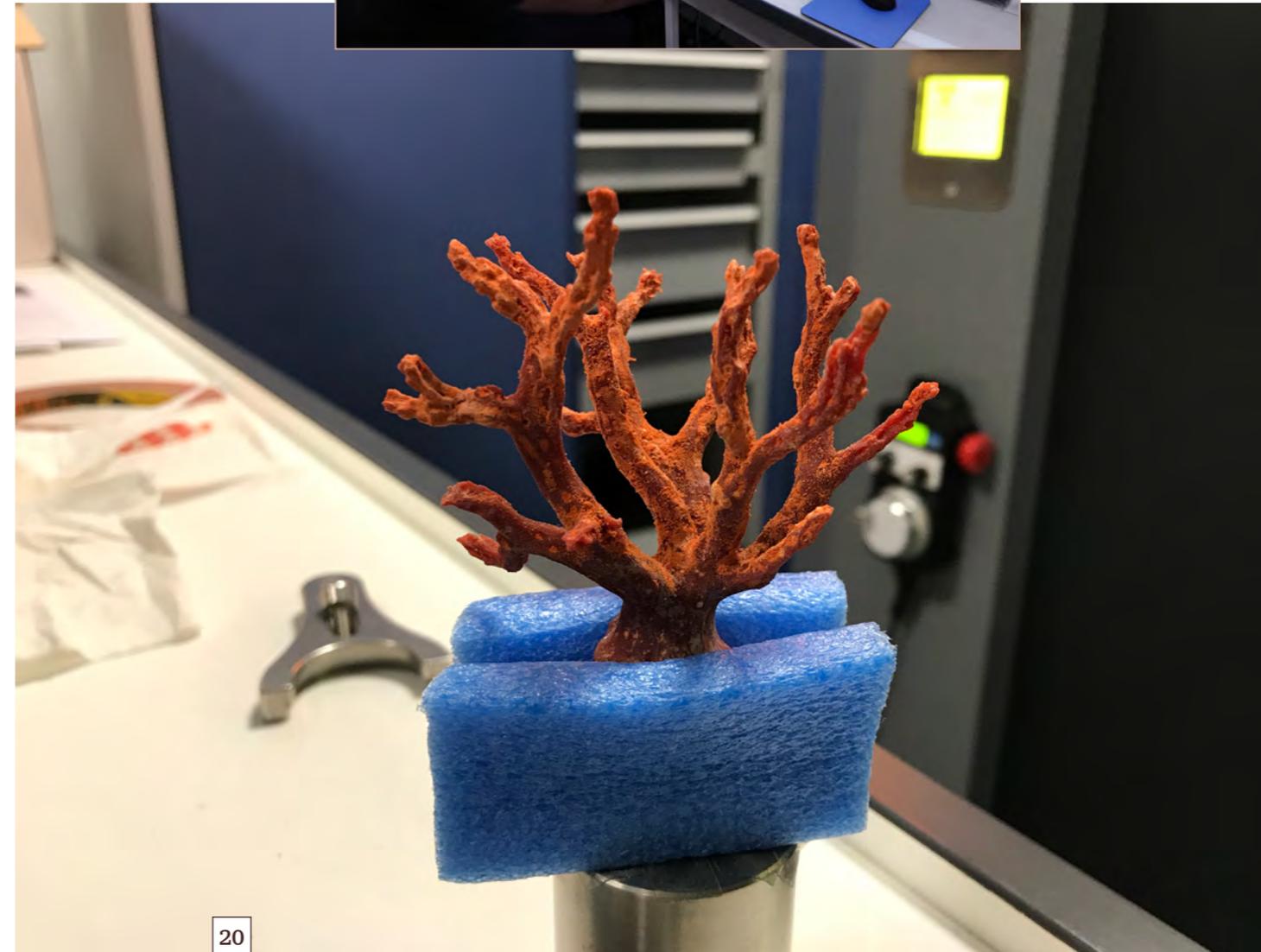
17



18



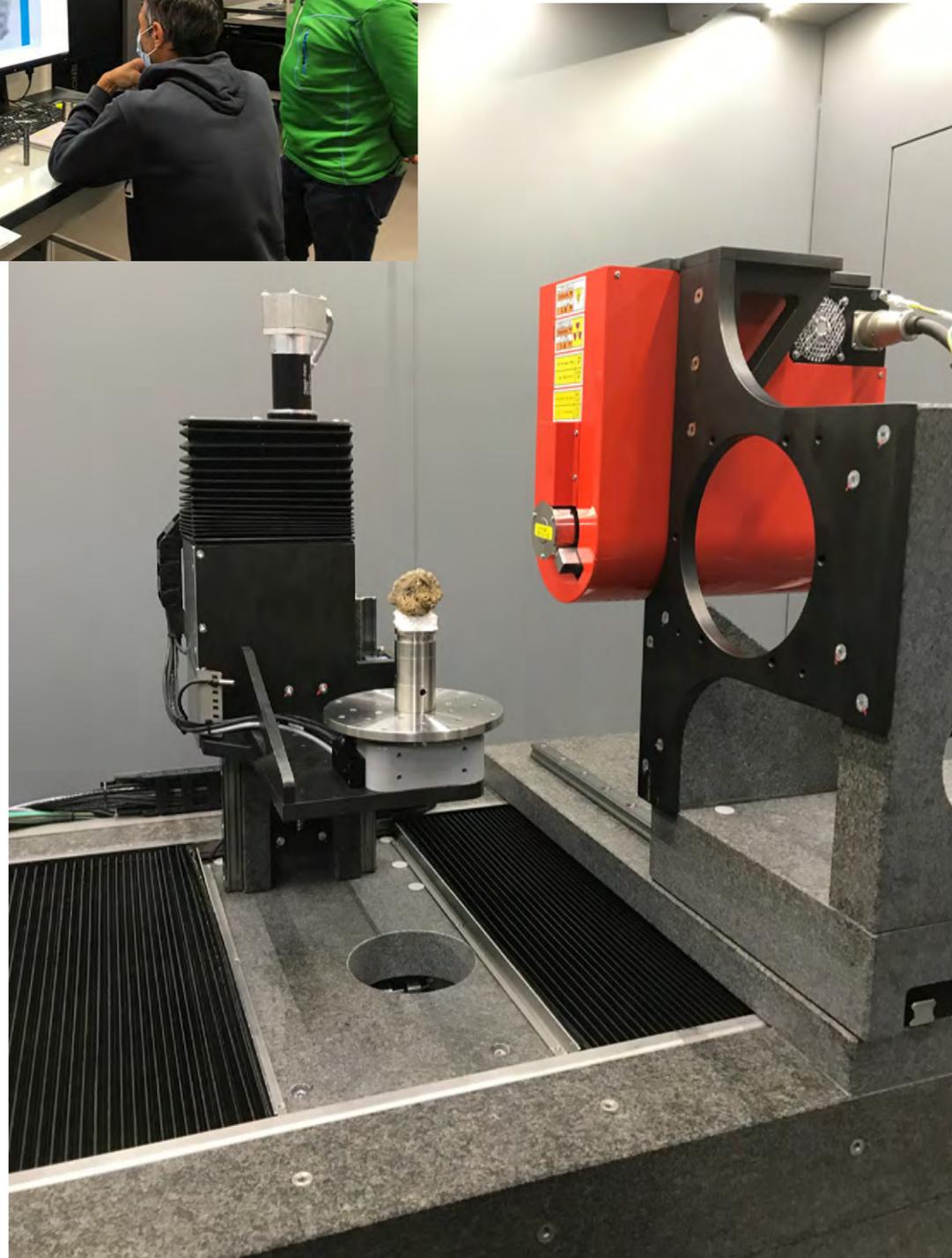
19



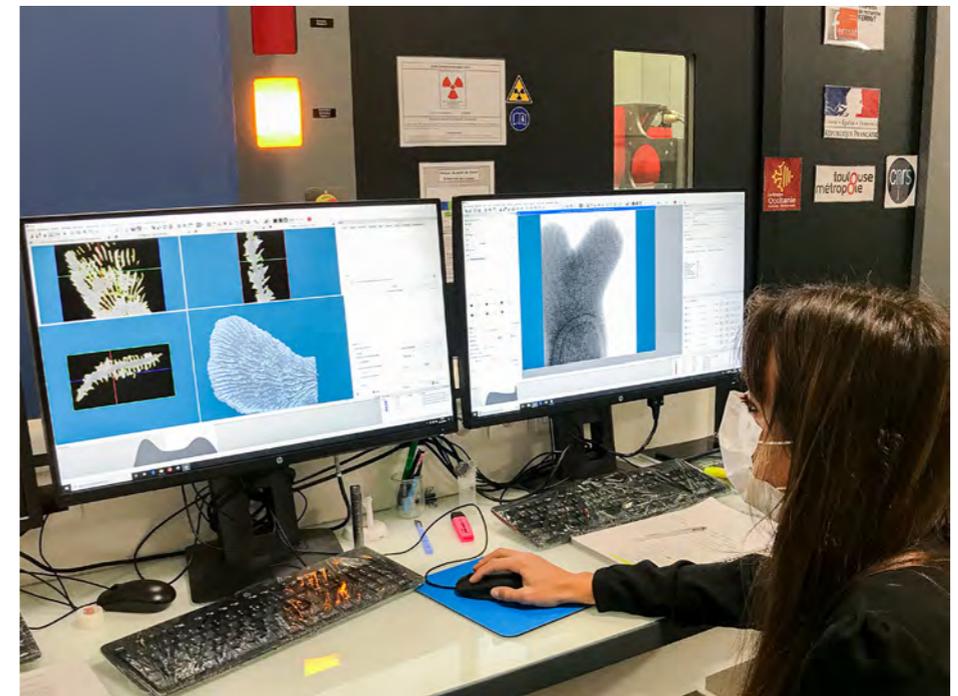
20



21



22



23

01. Photographie prise dans le Jardin des Plantes à Paris. Porte d'accès de la zoothèque du Muséum national d'Histoire naturelle.

02. Photographie prise dans le bureau de la chercheuse Isabelle Domart-Coulon, MCAM UMR 7245 CNRS-MNHN.

03. Photographie prise dans le Jardin des Plantes à Paris.

04. Photographie prise dans les collections naturalistes — collection patrimoniale de coraux Scléactiniaires — et le laboratoire MCAM CNRS-MNHN (Paris) du spécimen MNHN-IK-2014-1302 *Caryophyllia (Caryophyllia) smithii* (Stokes & Broderip, 1828).

05. Photographie de Magalie Castelin et Isabelle Domart-Coulon dans les collections naturalistes — collection patrimoniale de coraux Scléactiniaires — MNHN (Paris).

06. Extrait de LAMARCK (de), Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet. Histoire naturelle des animaux sans vertèbres... précédée d'une introduction offrant la détermination des caractères essentiels de l'animal, sa distinction du végétal et des autres corps naturels, enfin, l'exposition des principes fondamentaux de la zoologie. Paris : Verdière, 1815-1822. p. 281.

07. Photographie des différentes étiquettes du spécimen MNHN-IK-2014-1374 *Acropora cervicornis* (Lamarck, 1816).

08. Photographie prise dans les collections naturalistes — collection patrimoniale de coraux Scléactiniaires — MNHN (Paris).

09. Photographie prise dans les collections naturalistes — collection patrimoniale de coraux Scléactiniaires — MNHN (Paris).

10. Photographie prise dans les collections naturalistes — collection patrimoniale de coraux Scléactiniaires — du MNHN (Paris) du spécimen type MNHN-IK-2010-595 *Porites alveolata* (Milne Edwards, 1860).

11. Photographie prise dans les collections naturalistes — collection patrimoniale de coraux Scléactiniaires — du MNHN (Paris) des spécimens paratypes MNHN-IK 2009-1838 *Deltocyathus crassiseptum* (Cairns, 1999).

12. Photographie prise dans les collections naturalistes — collection patrimoniale de coraux Scléactiniaires — et le laboratoire MCAM CNRS-MNHN, (Paris) des spécimens paratypes *Anthemiphyllia spinifera* (Cairns, 1999).

13. Photographie prise dans les collections naturalistes — collection patrimoniale des éponges — étiquette issue de l'expédition du Talisman, Aphrocallistes, Sahara, profondeur 882 m.

14. Photographie prise dans les collections naturalistes — collection patrimoniale des éponges — spécimen issu de l'expédition du Talisman, Aphrocallistes, Sahara, profondeur 882 m.

15. Photographie prise dans les collections naturalistes — collection patrimoniale de coraux Scléactiniaires — MNHN (Paris).

16. Photographie prise dans les collections naturalistes — collection patrimoniale de coraux Scléactiniaires — MNHN (Paris).

17. Photographie prise dans les collections naturalistes — collection patrimoniale de coraux Scléactiniaires — du MNHN (Paris) des spécimens IK-2009-1694 *Trochocyathus (Aplocyathus) brevispina* (Cairns & Zibrowius, 1997).

18. Photographie des étiquettes et du spécimen MNHN-IK-2012-11951 *Fungia fungites* (Linnæus, 1758).

19. Photographie dans la salle du tomographe à rayons X de l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse.

20. Photographie d'une branche de corail rouge étudiée par Lorenzo Bramanti et préparée pour être photographiée dans la salle du tomographe à rayons X de l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse.

21. Photographie prise dans la salle du tomographe à rayons X de l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse avec le responsable du tomographe, Paul Duru, et Benjamin Reig, ingénieur salle blanche du LAAS-CNRS.

22. Photographie du tomographe à rayons X de l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse, un modèle EasyTom XL, où l'on voit au centre un spécimen et à droite à la source de rayons X.

23. Photographie prise dans la salle du tomographe à rayons X de l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse, devant les moniteurs affichant le scan en cours (à droite) et les différentes vues pour la reconstruction 3D (à gauche).

Récit d'archive : dans la zoothèque

Dans *La cour des miracles : ethnologie d'un laboratoire japonais*³²⁴, l'ethnologue Sophie Houdart propose des scénographies pour décrire le laboratoire qui est son terrain d'étude. La première scénographie est un récit à la première personne et fait part du premier regard, celui de l'étonnement, que porte Sophie Houdart sur ce milieu inconnu. Les deux autres sont les descriptions produites par les acteurs du terrain, qui mettent en visibilité d'autres éléments que l'impression première n'avait pas pu saisir. J'ai choisi de reprendre cette pratique ethnographique du récit à la première personne qui mêle points d'étonnement personnels et relevés de certains éléments de langage. Choisir ce régime d'écriture me permet de montrer comment les choix de design qui seront incarnés dans le projet **Corallum Fabrica** sont éclairés par l'observation participante. L'enjeu de cette thèse n'est pas de produire une analyse des fonctions de la collection sèche des Scléractiniaires de la zoothèque du Muséum national d'Histoire naturelle, des motivations des acteurs ou encore des besoins de ces derniers ; ce récit n'a donc pas cette prétention ethnographique, mais il en emprunte les méthodologies.

324 HOUDART, Sophie. 2008. *La cour des miracles : ethnologie d'un laboratoire japonais*. Paris : CNRS Éditions, p. 58-63.

Nous sommes un matin de janvier 2021, je retrouve Isabelle Domart-Coulon, biologiste et chercheuse au Muséum national d'Histoire naturelle, également chargée de collection de la zoothèque des éponges. Je me rends à son bureau, à côté du Jardin des Plantes de Paris. L'endroit est hors du temps, il me faut passer par de petits chemins de pierre arborés, avant d'arriver devant le laboratoire qui fait suite à d'anciennes bâtisses. Nous partageons rapidement un café et commençons à imaginer quels échantillons pourraient peupler notre archive collective. Nous évacuons assez vite le sujet de la beauté des formes des coraux. Bien sûr, je comprends pourquoi il s'agit du premier sujet de discussion que nous ayons partagé ensemble. Une designer qui souhaite créer une archive 3D sur les coraux est sans doute intéressée par la diversité et la complexité des formes de ces écosystèmes. Pourtant, quelque chose d'autre m'intéresse ici. Il s'agit plutôt de mémoire, d'héritage et d'histoires que je souhaite transmettre à travers cette sélection des architectures internes des squelettes de coraux qui nous viennent des collections historiques du Muséum national d'Histoire naturelle. Nous excluons d'ailleurs rapidement une approche exhaustive qui consisterait à scanner un représentant de chaque espèce de corail. Bien qu'il y ait un inventaire en ligne, Isabelle me prévient que nous ne trouverons certainement pas ce que nous étions venus chercher. Il faut s'attendre à trouver autre chose dans la zoothèque. La zoothèque, c'est l'archive matérielle dans laquelle se trouvent les spécimens d'animaux et de végétaux du patrimoine national. Isabelle recherche dans des publications scientifiques certaines espèces qu'il serait nécessaire d'archiver. Des espèces qui seraient par exemple difficilement identifiables durant les campagnes et expéditions scientifiques en mer. Nous évoquons le nom de différentes bases de données, notamment pour trouver les noms des espèces que nous irons chercher dans la zoothèque dans l'après-midi. La science de la taxonomie étant une science vivante, nous devons nous référer au site World Register of Marine Species pour croiser les différentes informations que nous trouvons. C'est d'autant plus troublant pour les spécimens historiques tels que ceux issus des expéditions du XIX^e siècle. Les spécimens portent

plusieurs noms et leur classification évolue selon les méthodes (génétique, morphologie, etc.) qui ont permis de les analyser. Une des pistes pour travailler la mémorialité des coraux est de nous intéresser à la liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature (IUCN). Créée en 1964, cette nomenclature met à jour les données concernant la conservation globale des espèces végétales et animales mondiales. Dans la catégorie danger critique d'extinction³²⁵, nous relevons quatre espèces. Deux d'entre elles font partie des expéditions historiques de Lamarck et Michelin dont Isabelle sait que des spécimens sont conservés au Muséum. Je comprends qu'il s'agit de quelque chose d'important, mais il me faudra du temps pour apprécier la matérialité des recherches issues de ces expéditions océanographiques. Ce que les taxonomistes appellent des «holotypes», ce sont les fragments de squelettes qui pour la première fois ont été décrits et publiés par les sciences naturelles occidentales. C'est ce que l'on nomme la «découverte» d'une nouvelle espèce. Ces fragments récoltés lors des diverses campagnes scientifiques ont soigneusement été conservés pendant des siècles et constituent toujours la base de référence si l'on veut vérifier que l'on a affaire à telle ou telle espèce lors d'une étude spécifique.

Plus tard, dans l'après-midi, nous traversons le Jardin des Plantes. À côté des serres se trouve une porte protégée par des barreaux en fer. Isabelle ouvre la porte à l'aide de sa carte pour s'introduire dans le bâtiment. Celui-ci occupe plusieurs niveaux sous le sol pour permettre la conservation à une température maintenue autour de 15 °C. Après une annonce de notre présence auprès des pompiers, chargés de s'occuper de la sécurité du lieu dans lequel une grande partie des espèces est conservée dans l'alcool, nous descendons trois étages. Derrière une porte de la salle de dépôt se trouvent de lourdes étagères en métal montées sur roulettes que l'on peut faire coulisser à l'aide d'une manivelle manuelle.

325 La liste rouge IUCN classe le niveau d'extinction selon huit niveaux : disparu, en danger critique d'extinction, menacé d'extinction, vulnérable, près de la menace, préoccupation mineure, données déficientes, pas évalué. Une définition du niveau de danger critique d'extinction se fait quand un taxon est en grand risque d'extinction à l'état sauvage. Pour ce faire, des indicateurs sont mis en place ; dans le cas de certaines espèces de coraux étudiées et/ou découvertes récemment, un manque de données important ne permet pas d'attester du niveau d'extinction.

Ici commence un délicieux moment d'exploration. Dans divers contenants en bois, en plastique ou directement sur les étagères se trouvent des centaines de morceaux de squelettes de coraux. Emballés dans des boîtes individuelles, ils sont affublés de différentes étiquettes qui fonctionnent par addition de couches d'informations. À mesure qu'évoluent les manières de cataloguer ces espèces, une nouvelle étiquette vient compléter la série déjà en place.

Isabelle trouve un échantillon d'un holotype que nous pourrions archiver. L'émotion présente dans l'intonation de sa voix traduit l'importance de cette possibilité.

Bien qu'il s'agisse d'une activité scientifique, la pratique de l'archive révèle une intimité avec les objets de recherche des biologistes avec lesquels je me trouve. Ce ne sont pas de simples objets d'étude. C'est un héritage historique, culturel et scientifique.

Magalie Castelin est également présente avec nous, en tant que chargée de collection des Scléractiniaires de la zoothèque. Magalie retrouve des fragments des expéditions d'une chercheuse, Francesca Benzoni. J'apprends que Francesca Benzoni fait partie des personnes qui font un travail important pour la conservation des espèces. Elle a été formée par le français Michel Pichon. Ce détail de filiation peut sembler anecdotique, mais le fait qu'il soit mentionné révèle une relation de confiance cruciale dans ce domaine. La manière dont les chercheurs vont renseigner les données et échantillons issus de leur campagne est un acte fondamental pour les conservateurs qui doivent en prendre soin par la suite. Magalie et Isabelle évoquent également le nom de Stephen Cairns, qui est une référence dans le domaine de la taxonomie des coraux.

Nous avons envie de créer des dialogues entre la recherche en train de se faire et les premières descriptions historiques au sein de l'archive. Nous pensons qu'il y aura là un intérêt pour montrer des manières de faire science en fonction des temps historiques.

Il y a de longs moments de silence, lourds, imposants. Les deux chercheuses semblent mal à l'aise, gênées par cette collection qu'elles estiment mal rangée. Un catalogue papier ? Il

aurait disparu. Un disque dur ? Sans doute quelque part. Sans doute, pour celui qui ne trouve pas l'échantillon, la tâche doit être agaçante.

Pourtant, ce repère physique des collections permet la confrontation des différents spécimens, ouvre un dialogue à lui tout seul, et les disparités de classement créent des rencontres inédites.

«Tu ne trouves jamais ce que tu recherches, mais tu fais toujours de belles découvertes» relate Isabelle.

Les heures filent à vive allure dans cet espace hors du temps. Nous avons sélectionné une quinzaine d'échantillons après un jour de recherche. Nous essayons de tenir le fil de notre histoire, entre des coraux en danger critique d'extinction, des expéditions contemporaines, des expéditions historiques, des coraux profonds. Nous aimerions aussi faire apparaître des fossiles et des échantillons interespèces où l'on verrait par exemple une relation de parasitage ou de compagnonnage.

Le lendemain, nous emballons soigneusement chaque échantillon, et je recopie minutieusement toutes les informations présentes sur les étiquettes dans un tableau.

«On ne doit jamais séparer les étiquettes des échantillons. Jamais.» m'explique Magalie.

Nous complétons un tableau qui deviendra par la suite le premier modèle pour la base de données du projet Corallum Fabrica.

L'un des objets de ce récit est de souligner pour le lecteur la situation de notre entreprise. Ensuite, le récit présenté ici est une expérience personnelle. L'expérience de la zoothèque serait sans doute très différente pour un utilisateur scientifique, par exemple pour un biologiste qui viendrait y effectuer ses recherches.

Nous créons une archive en ligne, en nous appuyant en partie sur une archive existante. Avec les chargés des collections de Scléractiniaires du Muséum, nous choisissons de faire apparaître tel squelette de corail, qui porte en lui une histoire plutôt qu'une autre. Cette histoire peut être la trace de l'histoire coloniale française où il apparaît que chaque expédition scientifique n'est permise que dans un contexte culturel et sociétal particulier. Le nom d'un humain s'accroche à celui du morceau de corail découvert. C'est souvent le nom d'un homme occidental de sexe masculin. Il est accroché, comme accolé, ainsi qu'en atteste la manière de citer le nom d'une espèce de corail : *Mycedium okeni* (Milne Edwards & Haime, 1851) ; *Madrepora cervicornis* (Lamarck, 1816) ; *Porites lutea* (Quoy & Gaimard, 1829). Il est également accroché de manière littérale sur la graphie de l'étiquette qui accompagne l'échantillon.



Figure 58 — Photographie prise à la zoothèque du MNHN d'un type de l'espèce de corail *Hydnoophora lobata* (Lamarck, 1816) ramené lors de la campagne d'Égypte menée par Bonaparte et décrite par le zoologiste Lamarck.

Celui qui « découvre » et décrit pour la première fois des espèces qui pourtant appartenaient déjà sans doute à l'histoire d'autres peuples fait ainsi figurer son nom à côté de celui du corail découvert. Sur la **figure 58**, on déchiffre « Terrains récents d'Égypte » sur le type de l'espèce *Hydnoophora lobata* (Lamarck, 1816) correspondant à la campagne d'Égypte de Bonaparte qui a eu lieu entre 1798 et 1801. Une Commission des sciences et des arts était chargée d'accompagner l'entreprise militaire avec pour but de produire un savoir encyclopédique sur l'Égypte. On retrouve ce travail dans les planches de cet ouvrage³²⁶, *Description de l'Égypte : ou recueil des observations et des recherches qui ont été faites en Égypte pendant l'expédition de l'armée française, publié par les ordres de Sa Majesté l'Empereur Napoléon le Grand*, dont nous avons extrait une planche **figure 59**. Nous ne souhaitons pas effacer les traces de ce passé colonial, et devons au contraire rendre visibles les anciennes relations de pouvoir afin d'en proposer de nouvelles.



Figure 59 — Extrait d'une planche d'illustration de coraux retrouvés en Égypte dans l'ouvrage de JOMARD, Edme-François et Pierre JACOTIN, *Description de l'Égypte*.

326 JOMARD, Edme-François et Pierre JACOTIN. *Description de l'Égypte, ou Recueil des observations et recherches qui ont été faites en Égypte pendant l'expédition de l'armée française. Antiquités-Descriptions*. Paris : Imprimerie impériale, 1818.

Rôle politique de l'archive

Le choix d'un fragment de ce spécimen au sein de la zoothèque n'est pas anodin ni innocent de notre part. L'archive n'est pas une expérience de la mémoire, mais comme l'écrit le philosophe Jacques Derrida, c'est plutôt la « constitution d'une instance et d'un *lieu d'autorité* ». Le philosophe souligne en effet le caractère productif des archives : « [l']archivage produit autant qu'elle enregistre l'événement³²⁷. »

Les coraux sont au centre de relations de pouvoir. Les peuples insulaires qui dépendent directement de la pêche et donc des refuges que constituent les coraux pour les poissons, crustacés et autres animaux marins des côtes ne sont pas forcément ceux qui sont auteurs du savoir à leur endroit, mais ils sont en revanche ceux qui subissent le réchauffement climatique causé en grande partie par les pays les plus industrialisés. « Aujourd'hui, les 10 % de citoyens européens les plus riches ont une empreinte carbone par habitant plus de 10 fois supérieure au niveau requis d'ici 2030 pour limiter le réchauffement [climatique] à 1,5 °C, tandis que l'empreinte des 1 % les plus riches est 30 fois plus élevée³²⁸. » Ce nombre est relaté dans le rapport de l'ONG Oxfam³²⁹ publié le 8 décembre 2020.

L'archive pourrait-elle être un moyen de donner une parole aux coraux ? Comment cette dernière peut-elle faire en sorte que nous partageons un niveau de connaissance égal envers ces écosystèmes marins dont nous dépendons ?

L'artiste d'origine iranienne Morehshin Allahyari utilise le concept de *digital colonialism*³³⁰ que l'on peut traduire par « colonialisme numérique » pour caractériser la tendance des technologies de l'information à être déployées de manière à reproduire les relations du pouvoir colonial. Plus généralement, « le colonialisme numérique désigne l'utilisation de technologies numériques à [des] buts de domination politique, économique et sociale d'une nation ou d'un territoire³³¹. » Une restriction d'accès à certaines données peut en être un exemple. Au contraire, pour Allahyari, les dispositifs de scan utilisés par les archéologues ou les conservateurs de musée peuvent également devenir des dispositifs politiques rendant accessibles et manipulables des informations parfois propriétaires. Ici, les opprimés, ce sont les coraux bien sûr, mais ce sont aussi sans doute les peuples qui dépendent directement des coraux pour la pêche de subsistance. Une manière de ne pas perpétuer un pouvoir colonial est d'ouvrir les données et de les rendre appropriables par d'autres.

327 DERRIDA, Jacques. [1995] 2008. *Mal d'archive*. éditions Galilée

328 Ban KI-MOON et Hindou OUMAROU IBRAHIM, in : OXFAM. *Combattre les inégalités des émissions de CO2* [en ligne]. Septembre 2020. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <https://oxfamlibrary.openrepository.com/bitstream/handle/10546/621052/mb-confronting-carbon-inequality-210920-fr.pdf>

329 Oxfam est une ONG qui rassemble des personnes luttant contre les inégalités de pauvreté et d'injustice à travers le monde.

330 KWET, Michael. 2018. Digital Colonialism: US Empire and the New Imperialism in the Global South. *SSRN Scholarly Paper*. Pour la version finale de l'article, voir : *Race & Class* Vol. 60, n° 4

331 KWET, Michael. Digital colonialism: The Evolution of US empire. *Site de Longreads* [en ligne]. Mars 2021. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <https://longreads.tni.org/fr/digital-colonialism-the-evolution-of-us-empire>

Usages scientifiques de l'archive

Les extraits sur lesquels je vais m'appuyer sont issus d'une lettre³³² d'intention d'Isabelle Domart-Coulon. Je souhaite ici apporter un éclairage sur la particularité des objets naturels que nous archivons. En effet, ces derniers sont pour certains des « holotypes » présents dans les collections du Muséum national d'Histoire naturelle. Ils ont le statut de type porte-nom ayant servi à décrire l'espèce. Comme l'explique Isabelle Domart-Coulon, ces derniers sont particulièrement importants pour les études taxonomiques :

« En effet, ces types, déposés au *Muséum national d'Histoire naturelle de Paris* ou dans les autres grandes institutions comme le *British Museum de Londres* ou la *Smithsonian Institution de Washington DC*, ont une valeur scientifique irremplaçable, en tant que spécimens de référence pour l'appui à l'identification de nouveaux spécimens et [pour] les études de systématique et de phylogénie. »

Trois territoires se dégagent de ce court témoignage : Paris, Londres, Washington, tous les trois marqués par une culture occidentale et une histoire coloniale. Un des enjeux de l'archive, et de la numérisation des collections d'histoire naturelle en général, est de partager ces spécimens historiques à toutes les cultures et tous les continents.

Au-delà de l'accessibilité à ces types, par définition uniques, l'archive permet la création d'un *muséum* singulier et numérique sur les architectures internes des coraux. Ce geste est collectif, il est le reflet de l'expérience des chargés de collection ainsi que celui de mon travail de designer. Isabelle Domart-Coulon ouvre la collection à des espèces proches, telles que les éponges, qui participent également à la création des récifs.

« En tant que chargée de collection au MNHN des éponges (Porifères), je proposerai également certains spécimens d'éponges particulièrement représentatifs sur les récifs, et impactés comme les coraux par les dérèglements climatiques. »

Pour la biologiste Isabelle Domart-Coulon, la communauté scientifique et les gestionnaires de parcs marins pourront s'appuyer sur une telle archive afin d'identifier des spécimens dans le cadre de leur mission.

« Une possibilité unique est offerte dans ce projet : [celle] de combiner la technologie de tomographie aux rayons X développée au LAAS à la modélisation 3D des données de structure squelettique et leur archivage en libre accès pour la communauté scientifique et les gestionnaires de parcs naturels marins, pour aider à l'identification de spécimens en s'appuyant sur la comparaison avec l'information de structure tridimensionnelle et les lames minces virtuelles extraites de ces piles d'images. »

Le témoignage de la biologiste Isabelle Domart-Coulon met également en avant plusieurs éléments qui seront repris dans les choix de design de l'archive en ligne. Le premier choix concerne la mise en dialogue de la description historique originale avec une

332 La lettre a été écrite pour la constitution d'un appel à projets que nous avons soumis en juin 2021 pour prolonger les recherches du projet et qui n'a pas abouti.

technique de modélisation 3D utilisant la tomographie à rayons X (ayant sa dimension esthétique et technique propre). Nous avons également ajouté la classification de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) qu'il nous semblait important de faire apparaître pour traiter de l'effondrement de la biodiversité en cours.

En résumé, les usages scientifiques de l'archive visent à rendre accessibles des spécimens uniques à la communauté internationale des chercheurs en biologie marine, en ayant des applications directes pour l'identification d'espèces. L'ouverture de cette archive aux citoyens permet de rendre accessibles des données scientifiques et de participer potentiellement à l'élaboration de formes de savoir³³³.

Par ailleurs, le terrain de la zoothèque a également permis de comprendre qu'il serait intéressant que différentes voix³³⁴ puissent contribuer à ce projet de bibliothèque en pouvant ajouter des contenus de type informationnel tels qu'une description actualisée, des sources et ressources numériques. Selon moi, il y a également un intérêt à créer un espace d'expression plus libre, de type *blogging*, autour de cette archive — des sortes d'*agoras*.

Le cas de *Porites alveolata*

Dans certains cas, ce sont des fragments de quelques millimètres carrés qui apparaissent dans l'archive en ligne, comme c'est le cas pour l'espèce *Porites alveolata*. De ce point de vue là, l'archive en ligne n'est pas la simple réplique d'objets physiques numérisés. Le fichier numérique a en effet des propriétés qui lui sont propres et qui diffèrent du régime matériel du squelette de corail. Le squelette est calcaire alors que le fichier 3D est un nuage de points ou un maillage de surfaces. Le squelette est fait d'atomes, le fichier 3D est fait de pixels. Cette matérialité numérique est le fait de pratiques bien particulières qui prennent une partie des informations de l'objet premier pour le transformer en un objet second, en partie issues du premier objet et qui en même temps en diffèrent complètement. Dans notre cas, ce processus technique est impliqué dans la manière de générer les objets 3D présents dans l'archive. Dans un premier temps, il y a le choix de l'objet physique à scanner, dont nous avons vu certains critères de sélection scientifiques et culturels. Des critères techniques accompagnent ce choix, tels que : la taille de l'échantillon (qui doit être de l'ordre de quelques centimètres carrés si nous voulons avoir une résolution intéressante, qui dans notre cas est importante pour observer les corallites où se trouvent in vivo les polypes des coraux), sa nature (le tomographe voit des différences de densité, le calcaire dont sont constitués les squelettes de coraux a la particularité d'être bien visible aux rayons X), sa structure (si le spécimen est très poreux, tel que c'est le cas pour la famille des coraux tropicaux des *Porites*, l'ensemble de cavités de la structure augmente le nombre d'informations scannées, car le tomographe permet d'imager à la fois la surface, mais aussi l'intérieur du squelette). Par ailleurs, le logiciel *X-Act* associé à l'ordinateur traitant les données du tomographe³³⁵ que nous avons utilisé à l'Institut de

333 Nous discuterons de ce point plus loin.

334 Différents utilisateurs peuvent compléter la base de données, selon un point de vue plus biologique, anthropologique, historique, etc.

335 Modèle *EasyTom XL* équipé d'une source microrésolue.

Mécanique des Fluides de Toulouse permet de générer un modèle 3D au format .stl³³⁶. Ces fichiers sont très lourds (jusqu'à plusieurs gigaoctets de données) et ne sont pas manipulables par un ordinateur personnel. Dans un second temps, nous retravaillons alors les images issues du scan pour générer un objet 3D de plus petite taille. Nous manipulons ainsi les images issues du scan, qui ont elles-mêmes leur propre matérialité, faite de la puissance du rayon X, du temps d'acquisition, et de la quantité de courant utilisé, comme on le voit **figure 60**.

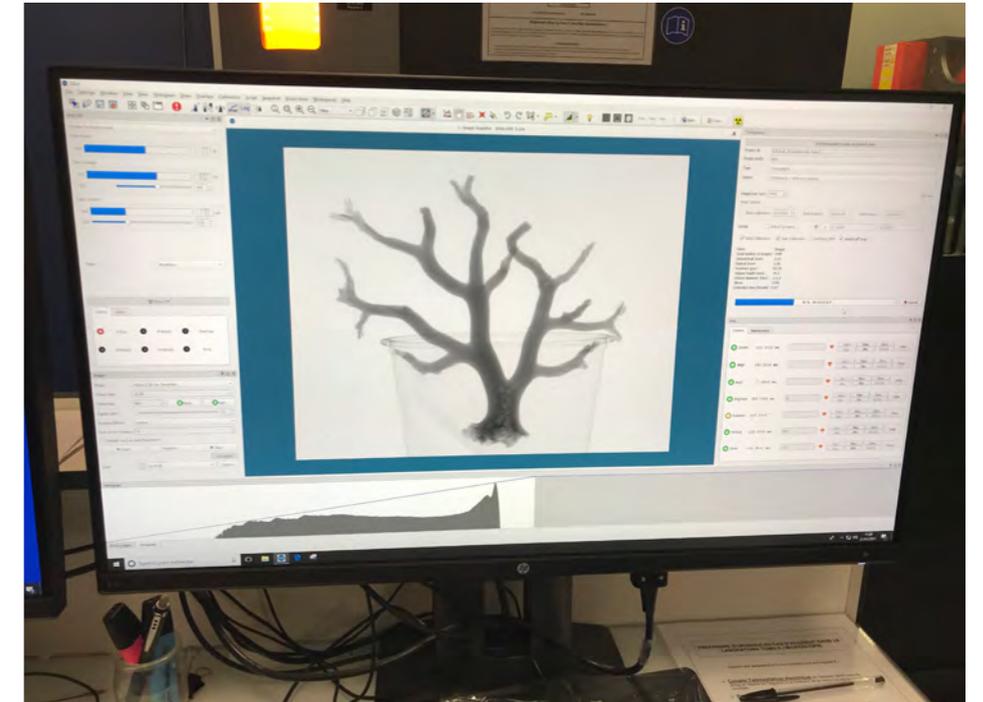


Figure 60 — Photographie de l'écran du moniteur de l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse avec le logiciel d'acquisition de scans en tomographie à rayons X *X-Act*. Sur la partie gauche de l'écran, on peut choisir plusieurs paramètres d'acquisition tels que : la focale, la puissance du tube, le voltage du tube, le courant du tube, la fréquence de trame, le nombre d'images nécessaires à la calibration des noirs et des blancs et le nombre d'images nécessaires pour chaque scan. Ces différents paramètres sont choisis en adéquation avec le matériau de l'échantillon, sa taille et la résolution souhaitée, afin d'obtenir un spectre d'information étendu, qui se traduit ici par l'histogramme visible sur la partie basse de l'écran.

À la fin d'une acquisition en tomographie à rayons X, on obtient plusieurs typologies d'images : les projections et les *stacks* de radiographies (en X, Y et Z). Nous retravaillons par la suite une séquence d'images d'un des *stacks* à l'aide du logiciel *ImageJ*. Ces images sont réduites en taille (passage à 8-bits et du format de fichier .tiff au format de fichier .jpg). Elles sont par la suite assemblées en un fichier 3D avec le logiciel 3D *Slicer*. Puis, cet objet 3D sera retravaillé avec le logiciel *Meshlab* afin d'optimiser le nombre de faces en fonction de la géométrie de l'objet pour le rendre manipulable sur un navigateur web³³⁷. Ces différentes opérations impliquant des choix d'appareillage et de paramétrage créent

336 Le STL est un format de fichier qui représente une surface en une série de petits triangles, appelés facettes ; il est couramment utilisé en fabrication assistée par ordinateur et pour l'impression 3D.

337 Ces différentes opérations sont décrites dans le protocole de reconstruction 3D mis au point par Denis Tribouillois et moi-même, disponible sur le GitHub du projet.

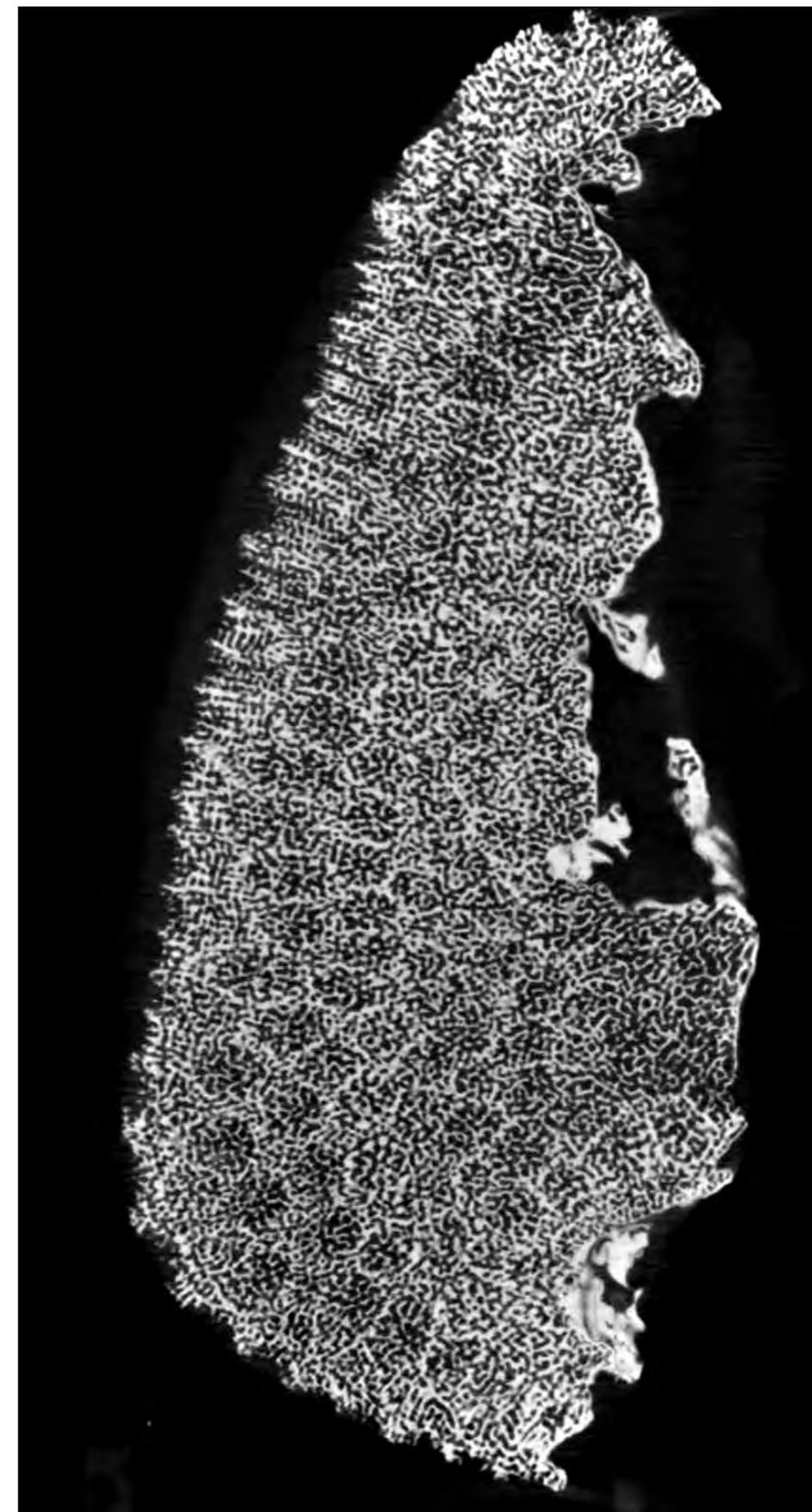
un objet 3D qui a sa matérialité propre. On pourrait faire ici le parallèle avec la pratique de la photographie. L'exemple de l'appareil photographique est à ce titre souvent convoqué par le philosophe Pierre-Damien Huyghe³³⁸ afin d'explicitier un geste technique permettant de considérer l'appareil photographique comme un appareil impliquant un ensemble de choix techniques, plutôt que comme un dispositif technique fermé, ne permettant pas d'exploration authentique. Pierre-Damien Huyghe s'exprime en ces termes, lors d'un entretien avec la chercheuse en design Tiphaine Kazi-Tani : « L'appareil, lui, n'est pas immédiat. Il me fait des propositions et je ne fais avec lui qu'en m'interrogeant sur la façon qui sera la mienne. Je choisis en le réglant³³⁹. » Ainsi, l'appareil du tomographe implique un certain rapport à l'objet matériel, au spécimen de corail scanné, qui fait appel à des opérations techniques. De ces opérations naissent des objets 3D à la matérialité et au régime perceptif nouveaux.

Les coraux issus du clade des complexes³⁴⁰ (groupe de coraux qui ont la particularité d'avoir des squelettes poreux et des formes ramifiées) sont composés d'une seconde couche poreuse faite de microperforations. La mise en archive numérique des coraux complexes en tenant compte des éléments techniques précités n'est donc pas évidente. Le projet d'archive a permis de tester l'hypothèse de cette méthodologie d'imagerie pour l'archivage de cette typologie de coraux. Il s'agissait de voir si la tomographie à rayons X permettait une identification efficace des espèces de coraux pour des scientifiques (les taxonomistes notamment) n'ayant pas directement accès à des lames minces ou échantillons lors d'une campagne d'identification d'espèces en mer ou en retour d'expédition par exemple.

338 HUYGHE, Pierre-Damien, 2006. *L'art au temps des appareils*. Editions L'Harmattan.

339 KAZI-TANI, Tiphaine et Pierre-Damien HUYGHE. 2015. À quoi tient le design : un entretien avec Pierre-Damien Huyghe, *Sciences du Design*. Vol. 2, no 2

340 La classification des coraux n'est pas arrêtée, il est possible qu'une nouvelle classification plus pertinente existe au moment où vous lisez cette thèse.



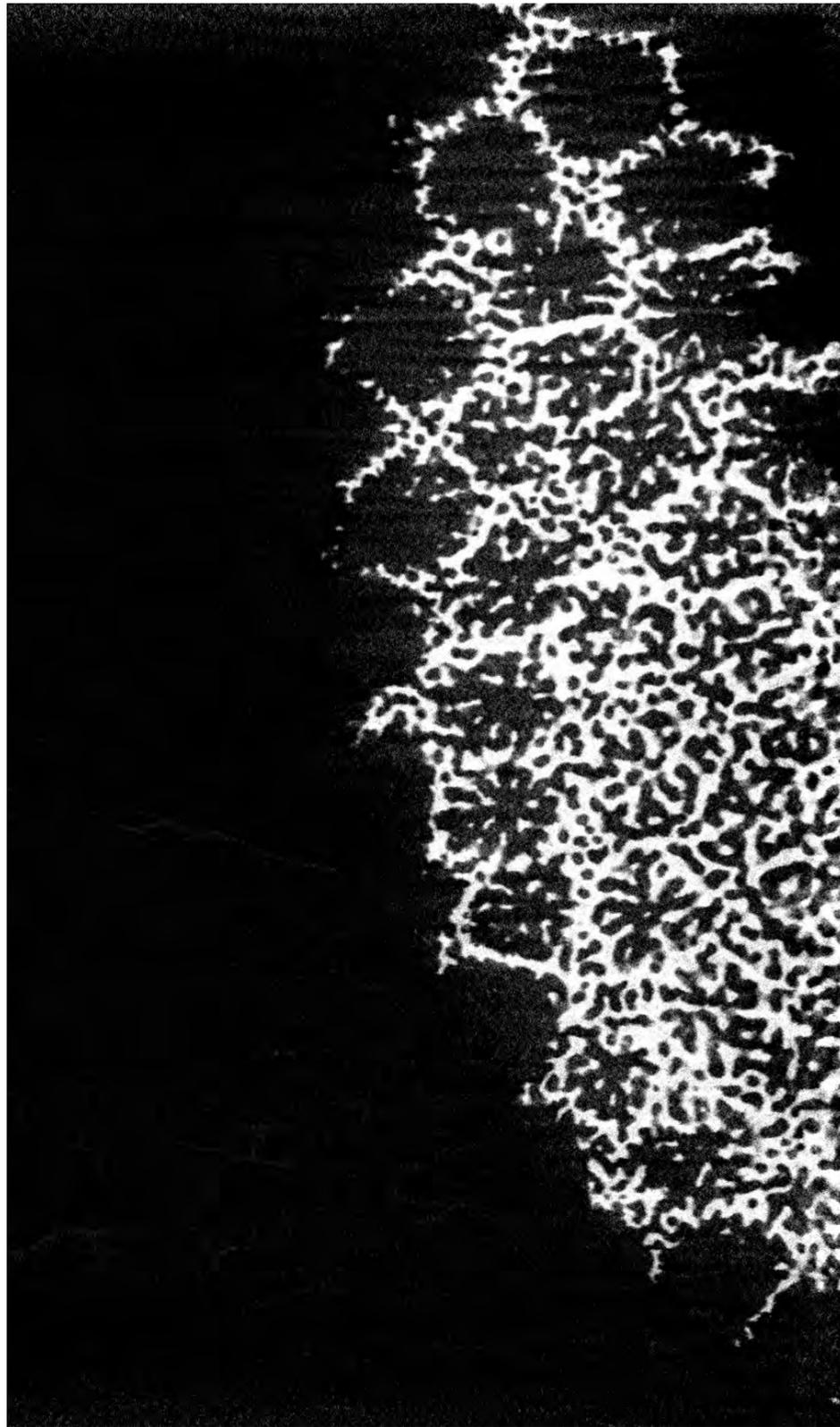


Figure 61 — Extrait d'un stack d'image à différentes résolutions montrant l'intérieur d'un corail de l'espèce *Porites alveolata*. Cette espèce de corail croît avec des microperforations, ce qui fait que l'intérieur de son squelette est entièrement poreux. On observe difficilement les formes de cette porosité malgré l'utilisation d'un tomographe à rayon X avec une source microrésolue.

Comme le montre la **figure 61** qui met en regard deux extraits de *stacks* d'images d'un *Porites alveolata*, il y a une complexité interne des loges des polypes pour ces coraux due à leur mode de croissance. Dans un extrait d'un mail la biologiste Isabelle Domart-Coulon suggère que la technique d'imagerie de cette espèce de corail permettrait de montrer l'accumulation continue de minéraux et le retrait du polype à la surface du squelette :

«Concernant le scan du spécimen type de *Porites alveolata* (Milne Edwards, 1860), oui il faut aller plus en détail, en centrant l'acquisition sur 1 ou quelques (~3) corallites voisins, positionnés au milieu/face supérieure du fragment; il faut en particulier *orienter pour avoir la vue du dessus du corallite avec ses structures radiales bien visibles, et ses ornements* (columelle centrale, nombre et taille des pali ["piliers"] terminant les septes rayonnants vers le centre/la columelle, et le nombre de denticules sur le mur du corallite). Et acquérir en Z en s'éloignant depuis la surface vers le fond du corallite, et sous son plancher (dissépiment = cloison horizontale séparant le polype vivant à la surface de son emplacement précédent dans l'épaisseur du squelette). *Ce type d'acquisition mettrait en évidence l'accumulation continue de squelette et le retrait périodique du polype vers le haut* (les tissus vivants ne sont qu'une fine couche à la surface du squelette).»

Dans cet exemple, on voit que l'archive, dans notre cas, est également un geste scientifique visant, à l'aide de nouvelles techniques d'acquisition, à obtenir de nouvelles informations sur les coraux.

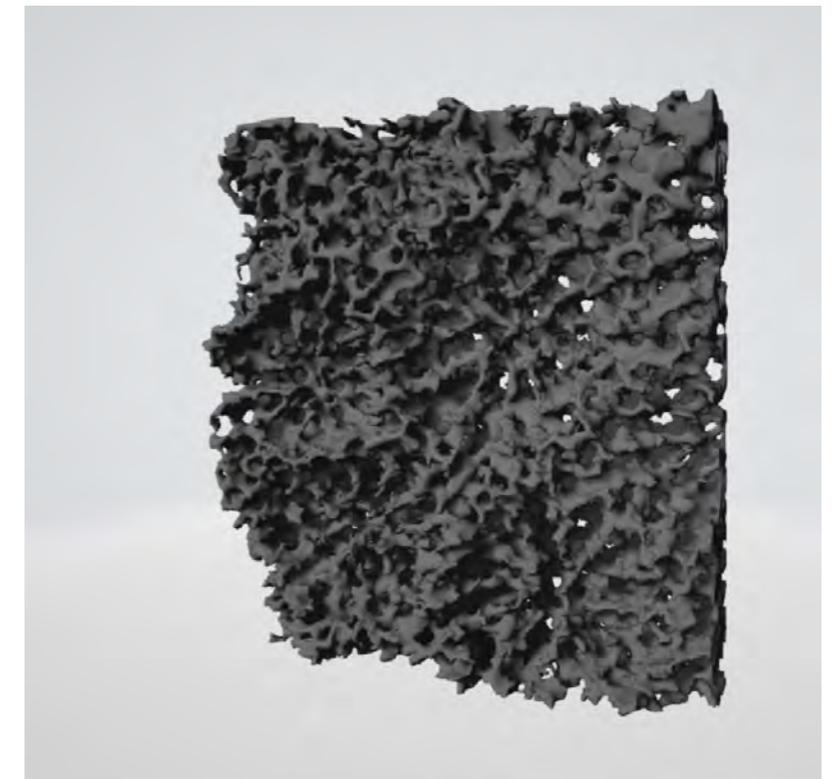


Figure 62 — Capture d'écran de l'objet 3D obtenu par tomographie à rayons X d'un détail de surface du squelette *Porites alveolata*.

L'exemple de *Porites alveolata* rend compte de plusieurs faits. Le premier est que la réplique numérique d'un objet d'histoire naturelle est la création d'un nouvel objet avec ses propres qualités matérielles. Comme en atteste la capture d'écran **figure 62**, où l'on voit bien que l'objet numérique a sa propre résolution qui ne peut en rien se substituer au squelette original. Ce dernier revêt de nouvelles qualités, telles qu'une maniabilité aisée pour une communauté élargie sans risques de destruction de l'échantillon original. Le second, c'est qu'un acte d'imagerie, qui consiste à donner à voir, est toujours un acte conscient, qui cherche à montrer quelque chose plutôt qu'autre chose. Ainsi, en utilisant la microtomographie à rayon X, nous cherchons à démontrer un retrait périodique du polype vers le haut et à valider une hypothèse concernant la croissance de cette espèce de corail. Dans notre cas, on peut nuancer et avancer que le fait même que l'archive soit le but permet peut-être une affordance³⁴¹ dans ce que les radiographies peuvent donner à voir, et dans ce qui n'avait pas été analysé auparavant. Le troisième, c'est que ces images nécessitent une médiation pour faire du sens pour le citoyen ; cette médiation, nous le verrons, sera amenée par la fonction contributive de la base de données.

La techno-esthétique de ces images et leur matérialité propre m'ont intéressée par la suite dans un travail artistique mené auprès de la vidéaste Kalie Granier, avec qui j'ai collaboré pour son film *Medusa*. Dans la **figure 63**, on peut voir des particularités esthétiques mises en valeur par un rendu surfacique apportant un contraste entre les architectures internes et les détails de rugosité de surface d'un apex³⁴² de branche de l'espèce *Corallium rubrum* étudié par le biologiste marin Lorenzo Bramanti.

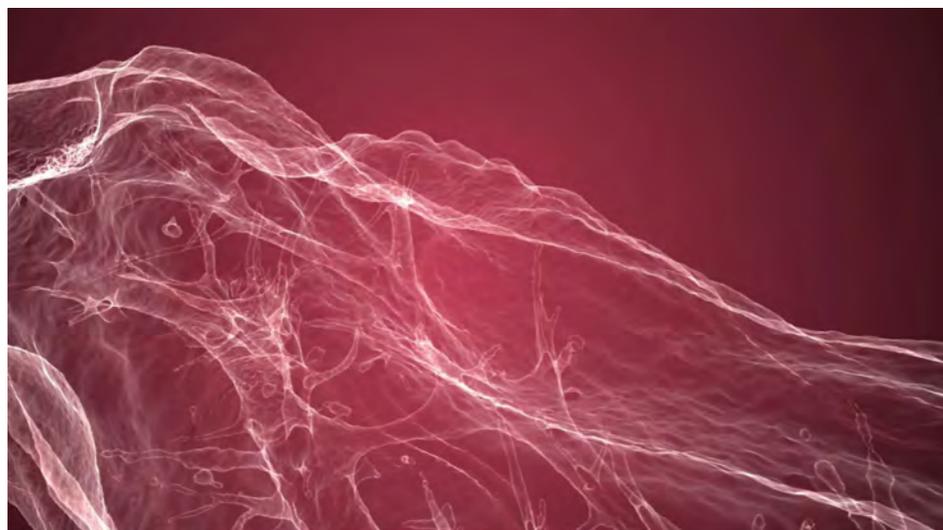


Figure 63 — Photogramme d'une vidéo à l'intérieur d'une branche de *Corallium rubrum*, un corail rouge de Méditerranée. Le scan de la branche de corail rouge a été obtenu en tomographie à rayons X à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse. Prêt de l'échantillon par Lorenzo Bramanti (LECOB, CNRS, Banyuls-sur-Mer). Travail réalisé pour le film d'art *Medusa*³⁴³ (4 minutes, 2022) dirigé et réalisé par Kalie Granier.

341 Donald Norman utilise ce terme dans son ouvrage *The Design of Everyday Things* (1988) pour définir de potentielles actions visibles par l'utilisateur d'un programme.

342 L'apex désigne le sommet ou la pointe.

343 Voir GRANIER, Kalie. *MEDUSA – Fusing Contemporary Art & Science*. Site de Kalie Granier [en ligne]. [consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <https://kaliegranier.com/work/medusa/>

Choisir l'archive comme encapacitation citoyenne

L'archive est un format puissant à interroger aujourd'hui. Dans son ouvrage *Silencing the Past : Power and the Production of History*³⁴⁴, l'anthropologue haïtien Michel-Rolph Trouillot note que :

« Les archives rassemblent. Leur travail d'assemblage ne se limite pas à un acte plus ou moins passif de collecte. Il s'agit plutôt d'un acte actif de production qui prépare les faits à l'intelligibilité historique. Les archives mettent en place les éléments de fond et de forme du récit »³⁴⁵.

Cette citation explique comment une forme, qui peut paraître au premier abord innocente, voire sembler relever d'un travail bureaucratique et d'administration, peut en réalité créer les conditions de récits et de narrations potentielles. S'emparant de cette puissance archivistique, la série de sculptures *Material Speculation*, réalisée entre 2015 et 2016 par l'artiste Morehshin Allahyari, reproduit des fragments de bas-reliefs et certaines statues antiques de l'ancienne cité de Ninive (dans l'actuel Irak) détruite par l'organisation de l'État islamique. Allahyari reproduit par procédé d'impression 3D (en stéréolithographie³⁴⁶) des réductions de modèles 3D obtenus à l'aide de divers clichés photographiques. Pour Allahyari, les techniques de fabrication additive doivent être comprises comme des actes de résistance³⁴⁷. Ceci est notamment lisible dans la méthodologie de l'artiste qui s'appuie sur une pratique de l'archive et de l'enquête. En effet, Allahyari se présente également comme une archiviste. La **figure 64** reproduit une photographie d'une des pièces de la série *Material Speculation* et deux captures d'écrans des archives numériques intégrées dans la clef USB faisant partie de l'œuvre. La première capture rend compte de l'arborescence des fichiers. La seconde est une capture d'écran d'une vidéo donnant à voir un groupe d'hommes détruisant une statue. D'une quinzaine de centimètres carré, chacune des sculptures de la série *Material Speculation* contient des informations stockées sur une carte mémoire interne rendue visible par la transparence de la résine utilisée (on peut voir ce détail esthétique en bas à droite de la sculpture présentée **figure 64 A**). En matérialisant l'enquête, le travail de l'artiste interroge un acte de réparation en rendant accessibles des informations issues d'enquêtes personnelles.

344 TROUILLOT, Michel-Rolph. 1995. *Silencing the Past: Power and the Production of History*. Boston : Beacon Press.

345 Michel-Rolph TROUILLOT, *Silencing the Past*, p. 52 : « Archives assemble. Their assembly work is not limited to a more or less passive act of collecting. Rather, it is an active act of production that prepares facts for historical intelligibility. Archives set up both the substantive and formal elements of the narrative. » [traduction personnelle].

346 La stéréolithographie (SLA), dont l'étymologie signifie écriture en relief, est une technique de fabrication utilisée en impression additive qui solidifie (ce que l'on appelle la réticulation) une matière visqueuse (résine) de manière localisée avec un rayonnement laser UV.

347 CENTRE GEORGES POMPIDOU et Marie-Ange BRAYER, 2017. *Imprimer le monde*. Catalogue d'exposition. Orléans : HXX.



- ARTIFACT-INFORMATION
- DOCUMENTATION
- EMAILS
- LIST FROM MOSUL MUSEUM
- OBJ_STL-Files
- PDF-FILES
- VIDEOS
- #directory.pdf



Figure 64 — Morehshin Allahyari. A. Photographie d'une sculpture produite en SLA de la série *Material Speculation*. B. et C. : Captures d'écrans du travail d'enquête qui accompagne l'œuvre présente physiquement sous forme numérique sur la clef USB et sur le site web de l'artiste. B. Arborescences des fichiers C. Capture d'écran d'une vidéo présentant un groupe d'hommes détruisant une statue au Musée archéologique à Mossoul.

Les fichiers 3D, ainsi que diverses informations telles que des photos des destructions sont rendues disponibles en accès libre depuis le site web de l'artiste. Ainsi, l'artefact est augmenté de l'archive et de l'enquête que l'artiste a produites. L'artiste révèle dans ce travail les potentiels politiques et critiques des technologies d'imagerie 3D et d'impression 3D en diffusant massivement³⁴⁸ les symboles qui sont l'objet de destruction. Ce projet permet d'envisager l'archive en tant que dispositif permettant une *encapacitation* citoyenne et un acte de remémoration politique.

Pour le design, qui travaille à la mise en forme des données et à leur futur agencement dans un média numérique, la licence d'exploitation des fichiers 3D, la stratégie de diffusion de l'archive et la manière dont est conçue la base de données constituent autant de paramètres à potentielles critiques qu'il faut considérer. En tant que designer, il ne s'agit pas seulement de dessiner l'interface graphique qui accueillera les répliques 3D des coraux de l'archive; il s'agit également de faire des choix de modes de diffusion, de communication, et d'environnement technique.

348 Dans une interview en ligne, l'artiste nuance l'utopie du logiciel libre sous-tendu dans son entreprise, en expliquant que les accès à ces fichiers et aux technologies de reproduction de ces derniers ne sont pas forcément possibles dans les pays du Moyen-Orient qui sont les principaux concernés par les destructions. Voir VARTANIAN, Hrag. Talking Digital Colonialism With Morehshin Allahyari. *Hyperallergic* [en ligne]. Juin 2019. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <https://hyperallergic.com/504461/talking-digital-colonialism-with-morehshin-allahyari/>

3. Réalisations : Corallum Fabrica, une archive des architectures internes des coraux

Dassault Systèmes est un éditeur de logiciels spécialisé dans la 3D (conception, maquettage, formation et cycle de vie). La Fondation de l'entreprise, quant à elle, soutient les projets qui utilisent la 3D dans les domaines de l'éducation, de la recherche et de la protection du patrimoine culturel. Suite à une demande auprès de la Fondation Dassault Systèmes, le projet a bénéficié d'un budget dédié. Ce soutien financier ainsi que le soutien matériel et humain du LAAS-CNRS ont permis la réalisation d'une première version de l'archive.

Le nom de *Corallum Fabrica* a été retenu collectivement afin de signifier le corail comme atelier. L'atelier étant compris comme le lieu de fabrication artistique et technique des idées. Le projet *Corallum Fabrica* a trois objectifs principaux. Le premier est de construire une plateforme numérique en libre accès pour la communauté scientifique et les citoyens. Le deuxième est la visualisation 3D des structures coralliennes. Le troisième est la médiation scientifique de la bibliothèque à travers des expositions artistiques. Ces différents objectifs impliquent des choix techniques et de design qui sont discutés dans cette partie. Ils impliquent également des compétences très variées. En plus du collectif de chercheurs impliqués, le projet a bénéficié de l'aide des deux ingénieurs informatiques du LAAS-CNRS, d'une agence de design graphique toulousaine, 221B®, d'un ingénieur spécialisé en imagerie 3D recruté à temps plein sur le projet (pendant 8 mois), Denis Tribouillois, soutien de la plateforme MultiFab (LAAS-CNRS), et d'une médiation à travers deux festivals artistiques et scientifiques³⁴⁹. J'ai conduit, initié et supervisé ce projet avec mes compétences de chercheuse en design, de manière à la fois technique et artistique. A ce stade de la lecture, nous invitons le lecteur à prendre le temps de naviguer sur le site de la recherche-création, à cet URL : <https://corallumfabrica.laas.fr/>

Dans cette partie, nous exposerons comment nous avons conçu la base de données de l'archive et les différentes modalités de visualisation de cette dernière.

Corallum Fabrica

Corallum Fabrica est une archive en ligne open-science, et c'est à ce titre un projet de média numérique. Le média est séparé en une partie *front*, où le citoyen prend connaissance de l'archive, et en une partie *back*, désignant la manière dont est gérée la base de données et dont est réalisé le stockage des éléments à afficher sur le site web.

³⁴⁹ Ainsi qu'une exposition artistique (carte blanche, invitation : Marine Hunot) : «Rituels pour architectures coralliennes» à la galerie ARCADE Design à la campagne®, Château de Sainte-Colombe-en-Auxois, 10 juin au 28 août 2022.

Corallum Fabrica rassemble une cinquantaine³⁵⁰ de spécimens de squelettes de coraux, la plupart venant des collections de la zoothèque des spécimens secs du Muséum national d'Histoire naturelle, d'autres étant issus des collections personnelles des chercheurs et constituant des objets naturels³⁵¹ en cours d'étude. Les spécimens ont été imagés en tomographie à rayons X, permettant de révéler l'architecture externe et interne de ces squelettes. L'archive rend accessibles des modèles 3D de ces structures optimisés pour une expérience de visualisation domestique à partir d'un navigateur sur un ordinateur personnel. Le projet *Corallum Fabrica*, au sens un peu plus large, rend également accessibles les données de la tomographie à rayons X à la demande grâce à un formulaire.

Le site web est séparé en plusieurs pages. La page « *3D library* » présente les différentes espèces de coraux archivés. À partir de cette page, l'utilisateur peut accéder aux différentes informations concernant un spécimen de corail en particulier et notamment à sa visualisation 3D. Directement intégrée dans l'interface, la visualisation 3D permet à l'utilisateur d'interagir avec le modèle 3D à l'intérieur d'une fenêtre dédiée où l'utilisateur peut appréhender le modèle en 3 D. Les autres pages du site sont une page d'accueil, une page renvoyant au travail de réalité virtuelle, une page de type *blogging* et une page informative. Un bandeau complète la page d'accueil et permet d'afficher des actualités concernant le projet. Trois autres pages complètent le site afin d'afficher les conditions d'utilisation, le cadre légal de la politique de confidentialité, et un formulaire de contact. Chacun des contenus de ce site peut être géré par le *back* qui permet au site d'évoluer dans le temps grâce à ses utilisateurs. En réalité, il existe une autre partie du site web, avec une interface *front* dédiée, qui permet aux personnes travaillant au projet *Corallum Fabrica* d'implémenter du contenu sur la base de données pour que ces informations s'affichent d'une certaine manière sur le site web. J'ai réalisé le travail de conception graphique avec l'aide d'une agence de design, 221B, et la stratégie générale du site avec une designer indépendante, Lysiane Lagadic. La réalisation technique a été faite au sein de la Pi², un service de support à la recherche intégré dans l'équipe informatique du LAAS-CNRS. J'ai supervisé et dirigé ces différents travaux.

350 Ce nombre est susceptible d'évoluer entre le moment de rédaction de cette thèse et la lecture qui en sera faite puisque l'archive a été conçue de manière évoluer dans le temps. voir : *CorallumFabrica*, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 6 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://corallumfabrica.laas.fr/3dlibrary>

351 On appelle objets naturels les objets d'étude des sciences naturelles, tels que les squelettes de coraux par exemple.

Acteurs du projet de recherche Corallum Fabrica

DATES : 2020-2022

CONCEPTION, SUIVI ET IDÉE ORIGINALE : Élise Rigot

CONSEILLERS SCIENTIFIQUES :

- Paul Duru, IMFT
- Isabelle Domart-Coulon, MNHN
- Magalie Castelin, MNHN
- Serge Planes, CRIOBE
- Franck Lartaud, LECOB
- Lorenzo Bramanti, LECOB
- Laurent Malaquin, LAAS-CNRS
- Christophe Vieu, LAAS-CNRS

EN COLLABORATION AVEC LES LABORATOIRES :

- Le LAAS-CNRS, Université Toulouse, CNRS, Toulouse, FRANCE
- Le Muséum Nationale d'Histoire Naturelle, Direction des Collections, Ensemble INVMAR, collection Cnidaires, Paris, FRANCE
- LECOB, Observatoire Océanologique de Banyuls, Sorbonne Université Arago, Banyuls-sur-mer, FRANCE
- L'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse, Université de Toulouse, INPT, UPS, Toulouse, FRANCE

AIDE TECHNIQUE :

- Production modèles 3D (tomographie à rayons X) : Denis Tribouillois, Benjamin Reig, Élise Rigot
- Développement web : Christophe Zanon, Julien Libourel, Service informatique du LAAS-CNRS

AIDE DÉVELOPPEMENT FRONT :

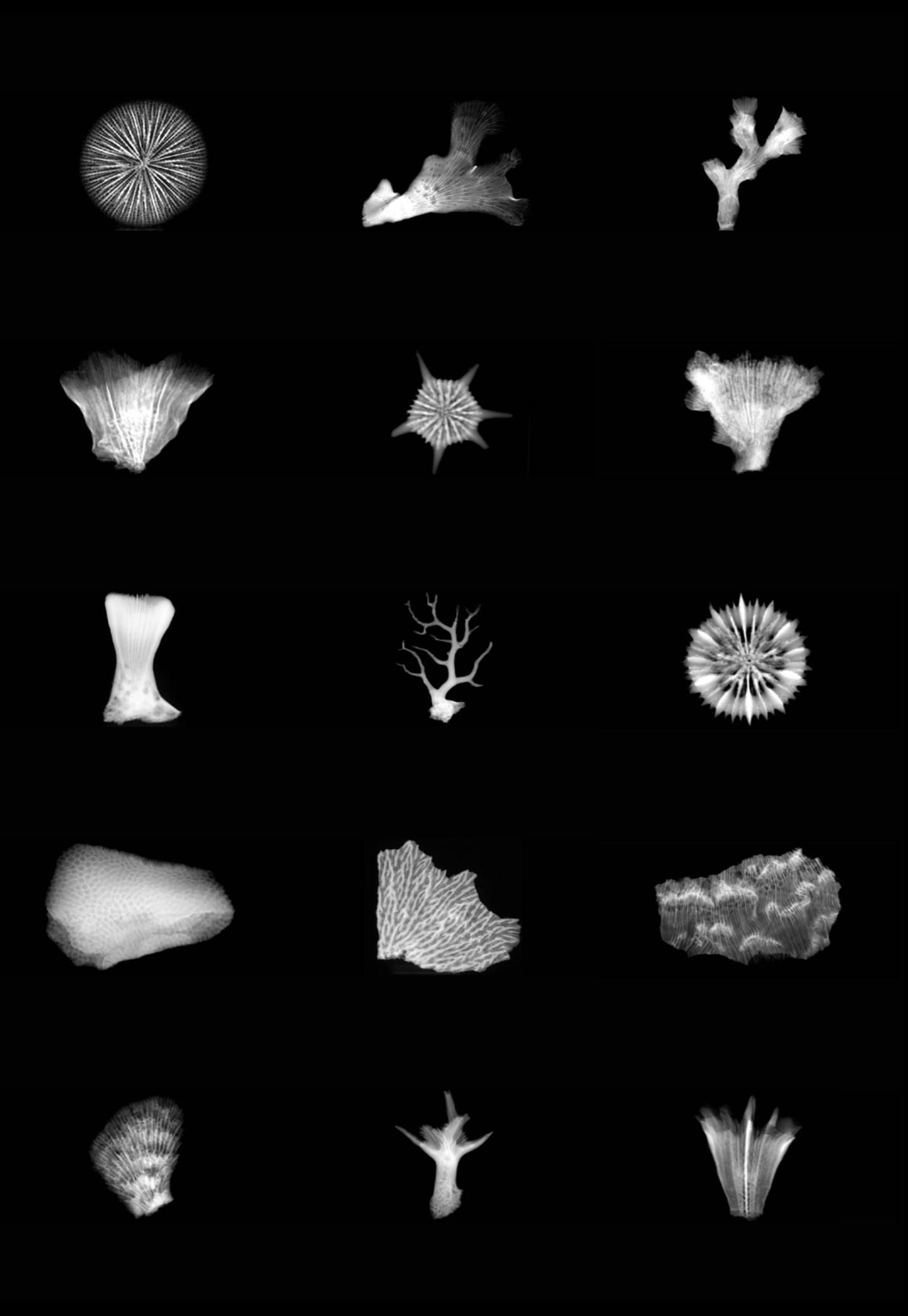
- Resilient Lab

DESIGN UX/UI :

- Agence 221B, Lysiane Lagadic, Jonathan Brouillon, Élise Rigot

SOUTIEN HUMAIN ET FINANCIER :

- *Fondation Dassault Systèmes*
- LAAS-CNRS



Designer des interfaces de saisies

Souvent exclus des activités de mise en forme des bases de données et de leur organisation, les designers se retrouvent souvent appelés « trop tard » pour choisir une couleur ou une typographie à appliquer à un *template*³⁵², réduisant ainsi l'acte de design à une fonction décorative ou de hiérarchie d'informations. Dans notre cas, l'implication du design dès le début du projet permet d'envisager la constitution de la base de données, les interfaces de saisie et les modes de visualisation conjointement.

Les choix développés en matière de hiérarchisation des informations sont à la fois issus des divers entretiens menés auprès des biologistes, des contraintes techniques et budgétaires, ainsi que du terrain de la zoothèque esquissé plus haut. En effet, il est primordial, comme le souligne Anthony Masure, codirecteur de cette thèse et responsable de la recherche à la Haute école d'art et de design de Genève (HEAD–Genève, HES-SO), « de penser ensemble la forme des interfaces, la structuration des données et les fonctions logiques des codes sources informatiques ». Anthony Masure invite dans ce sens les designers à penser les interfaces de saisie, le *back office*, de manière appropriée et créative (et pas seulement les modes de visualisation, soit le *front office*).

« Dans ce cadre, interroger les interfaces de saisie (*back office*) serait une piste de travail intéressante pour les designers, tant est grande l'intrication de ces deux couches techniques. Comme les modes de saisie et la structuration des données conditionnent fortement ce qu'il sera possible de faire paraître à l'écran, les laisser dans l'ombre réduira fortement ce qu'il sera possible de créer »³⁵³.

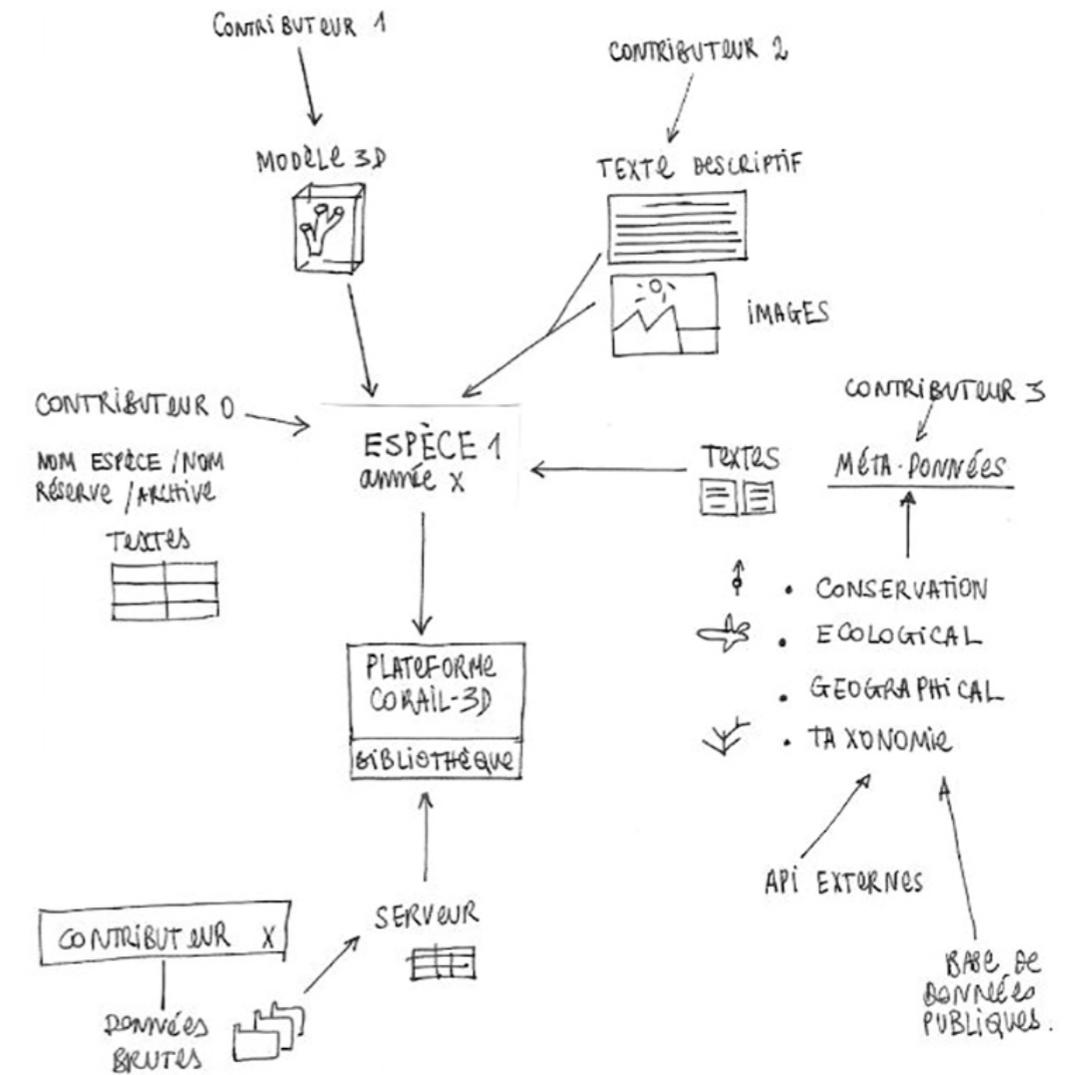


Figure 65 — Schéma de principe des contributeurs multiples pour les interfaces de saisies de la base de données.

La **figure 65** montre la logique du fonctionnement multicontributeur de l'interface de saisie de la base de données *Corallum Fabrica*. On voit qu'une même espèce de corail peut rassembler des contributions d'auteurs différents.

Organisation des données de la plateforme : collecte des besoins des biologistes

Une première étude nous m'a permis de relever un ensemble de besoins pour la communauté scientifique étudiant le corail. À travers un questionnaire portant sur les données associées aux structures coralliennes et aux modes de visualisation de modèles 3D par les biologistes, j'ai cherché à structurer les usages futurs de la base de données. Ainsi, les questions posées concernent à la fois les domaines de recherche concernés, les métadonnées utiles et les modes de visualisation.

Les sujets proposés autour de l'archive des structures internes des coraux sont multiples. Une partie des hypothèses concerne des études de morphologie des squelettes de

352 « En programmation informatique, les *templates* sont une particularité de la programmation en langage C++, qui autorise l'écriture d'un code sans considération envers le type des données avec lesquelles il sera finalement utilisé. Les *templates* introduisent le concept de programmation générique dans le langage. » Voir à ce sujet l'article *Templates (programmation)*. *Wikipédia* [en ligne]. Dernière modification mars 2021. [consulté le 14 avril 2021]. Disponibilité : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Template_\(programmation\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Template_(programmation))

353 MASURE, Anthony. 2016. « La saisie comme interface ». dans : Sophie Fétro, Anne Ritz-Guilbert (dir.), actes du colloque scientifique « Collecta. Des pratiques antiquaires aux humanités numériques », École du Louvre.

coraux, notamment du corail rouge. Des questions autour de l'hydrodynamique de ces structures ont également été soulevées. Sur les boutures de coraux, l'archive pourrait par exemple servir à faire un suivi de croissance dont l'application finale serait d'identifier l'état de santé des coraux. Des questions sur le modèle de croissance du corail ont également été posées, notamment sur le corail froid, qui a la particularité de ne pas croître en colonie. Des questions, enfin, sur les premiers stades de croissance, sur les coraux juvéniles et sur l'étape de minéralisation de la larve ont été abordées. Ces questions sont, pour la plupart, issues des hypothèses que travaillent les chercheurs que nous avons interrogés.

Ainsi, ces derniers voient l'archive *Corallum Fabrica* comme un moyen et un dispositif supplémentaires leur permettant d'éclairer des hypothèses sur lesquelles ils travaillent.

Afin de décrire les coraux, nous avons cherché comment obtenir des métadonnées fiables sur ces derniers. Nous avons alors souhaité savoir s'il existait des bases de données existantes et si nous devions penser une interopérabilité des données à terme avec d'autres API³⁵⁴ externes. Le tableau ci-dessous revient sur les réponses données par trois biologistes spécialistes des coraux :

Données et métadonnées	Interview 1	Interview 2	Interview 3
Bases de données existantes	WoRMS	pas de base existante sur les « coraux froids »	John Edward Norwood Veron, Corals of the World, 2000 GenBank
Métadonnées	espèce lieu de récolte année profondeur données morphométriques		espèce genre lieu géographique site coordonnées GPS et la personne qui a collecté nom de la personne qui a fait l'identification de l'espèce
Besoins scientifiques	nombre de branches primaires/secondaires hauteur - base âge de la colonie	donnée environnementale	Les informations environnementales sont trop dépendantes d'un instant T pour avoir un intérêt.

Les chercheurs ne semblent pas travailler à partir de bases de données spécifiques, sauf pour les données de taxonomie (WoRMS) et les recherches en génétique (GenBank).

354 « Le rôle d'une API (Application Programming Interface) ou interface de programmation est de fournir une bibliothèque d'outils (fonctions, objets, programmes) permettant l'interaction entre d'autres entités informatiques (serveurs, programmes, services). », DENÉCHAUD, David et al. Glossaire : Introduction aux humanités numériques. *Huma-num* [en ligne]. 2020. [consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <https://diginum.huma-num.fr/ressources/glossaire/>

Les chercheurs insistent pour que les échantillons de coraux soient accompagnés de métadonnées spécifiques telles que l'espèce, le lieu de récolte, l'année, la profondeur, etc. Certains besoins ont été remontés tels que le comptage des branches et des dispositifs de mesures nécessaires. Bien que notre échantillon ne soit pas représentatif (il faudrait mener une étude plus large), la pertinence de données environnementales (température de l'eau, pH, etc.) ne fait pas consensus.

Nous avons également interrogé les chercheurs sur la pertinence des modes de perception de l'archive en ligne :

Visualisation 3D	Interview 1	Interview 2	Interview 3
Modèles 3D		Oui.	C'est essentiel : c'est ce qui est original dans ce projet, pouvoir avoir accès à des parties parmi les plus cachées du corail.
Réalité virtuelle	D'un point de vue scientifique : cela ne change rien, c'est seulement plus attractif de le regarder comme ça. Mais là où sans doute cela est d'un grand intérêt, c'est dans les champs de la communication et de la didactique.	Oui notamment pour la médiation à l'aquarium de l'observatoire. En ce qui concerne la recherche, cela dépend des types de traitements que l'on peut faire sur la 3D ; par exemple, est-ce que l'on pourrait faire des filtres pour voir l'épifluorescence ou bien la ligne de calcéine dans les structures de corail ? Si tel est le cas, et bien que cela reste exploratoire, cela semble très pertinent.	Oui et non : pour la recherche je dirai que non, c'est un plus, mais cela ne semble pas être une nécessité. En revanche pour les musées, et je peux parler en tant que directeur d'un écomusée qui va se monter en Polynésie, avoir des images du corail dans un sens où on ne le voit jamais me semble très important pour susciter l'intérêt et la curiosité du public. Pour les librairies, les musées, etc., cela semble très prometteur.
Impression 3D	Afin de tester des hypothèses hydro sur plusieurs individus. + reconnaissance des espèces dans des projets de science participative.	Oui pour les enseignements, cela pourrait être imprimé avec une moins bonne résolution qu'avec le MultiFab et une imprimante à dépôt de fil par exemple.	Non, cela ne me semble pas essentiel.

Il est intéressant de noter que, si les chercheurs connectent très rapidement le projet d'archive à des projets de recherche tels que l'étude de la croissance, la morphologie, l'hydrodynamique, etc., les modes de visualisation sont relégués à un rôle de médiation intervenant après des recherches effectuées ou ayant un rôle didactique. Les enjeux de perception et les techniques de visualisation qu'ils supposent ne font pour ainsi dire pas partie des préoccupations de la recherche en train de se faire. Les enjeux de perception ont la plupart du temps été relégués à des fonctions de médiation et d'enseignement. Je comprends qu'il y a ici un enjeu pour le design à se saisir de cet impensé.

Par ailleurs, dans le cas des Scléractiniaires, on trouve 132 espèces répertoriées sur la base de données *Coral Trait* dans la catégorie *data deficient*, ce qui correspond à 16,1 % des espèces répertoriées sur ce site. Pour autant, ce chiffre est également à tempérer, en tenant compte du manque de données présentes sur les coraux découverts récemment tels que ceux décrits par Stephen Cairns (conservateur au département de zoologie des invertébrés du Smithsonian) à la fin des années 1990. Cette absence de données a été soulevée lors des échanges. Comment donner à voir cette absence de connaissances ? Pourquoi la révéler ? Ce sont des questions touchant à la visualisation et aux interfaces qui me semblent intéressantes.

L'un des problèmes soulevés par l'un des chercheurs (Lorenzo Bramanti) concerne la répliquabilité d'une expérience.

«La répliquabilité me semble très importante. Tout dépend de ce que je compare : si je prends 100 colonies de Banyuls, ou bien 100 colonies de Cadaquès, etc.»

Comment rendre la base de données exploitable par les scientifiques si elle ne leur permet pas de comparer un nombre suffisant d'échantillons ?

Top-down ou Bottom-up ?

L'un des points épineux pour la conception de la base de données a été de savoir si je prenais le parti de l'agencer de manière *top-down* ou *bottom-up*. Une façon *top-down* d'agencer la base de données serait de définir à l'avance les échantillons, les informations et le mode de visualisation de la plateforme de manière figée, sans que ces derniers puissent être modifiés de façon dynamique sur l'application web de la base de données. Une manière *bottom-up* de gérer la base de données rend possible une appropriation de cette dernière par un ensemble d'utilisateurs capables d'augmenter le contenu, d'ajouter des modèles ou de modifier l'archive en temps réel.

L'archive en ligne rejoue à la fois les principes d'une archive « classique », rendant accessibles certains échantillons à une communauté de chercheurs et de citoyens curieux, et d'un autre côté elle prétend également être une archive « vivante », dans le sens où elle peut être une plateforme d'accueil à des recherches en train de se faire.

Il me semble important de conserver cette hybridation. En effet, la perception qu'une partie des citoyens a des pratiques scientifiques implique que celle-ci soit toujours décentrée de vérité, alors qu'à bien des endroits reste quantité de questions et d'ouvertures possibles. Une perception de la science ouverte, partageant ses zones d'ombres, ses doutes et ses questions permet d'élargir la manière dont on peut prendre connaissance de son action sur l'environnement au long terme et lui redonner un rôle spéculatif.

L'un des partis pris importants du travail de recherche a été de proposer que l'archive

soit visualisable grâce à une technologie immersive de type réalité virtuelle. Nous faisons l'hypothèse au sein de l'équipe *Corallum fabrica* que ces technologies immersives sont un média intéressant pour l'archive puisque permettant d'aller à la rencontre des données et, pour les citoyens, de se les approprier d'une manière ludique en éveillant leur curiosité. Pour les scientifiques et artistes, nous spéculons que cette technique de visualisation peut être un outil de travail permettant l'étude des coraux.

Visualisation par réalité virtuelle

Ce que l'on appelle communément réalité virtuelle désigne une manière de faire l'expérience d'une perception visuelle tridimensionnelle simulée à 360 degrés. C'est une technologie développée depuis les années 1980, dont on date l'invention à 1957³⁵⁵ et dont la première utilisation commerciale apparaît en 1995 avec la firme de jeux vidéo Nintendo. Un système d'affichage 3D stéréoscopique placé devant les yeux permet de simuler une impression de profondeur, et donne l'illusion à l'utilisateur de faire partie de la scène qu'il observe. Des capteurs et caméras détectent les mouvements de la tête et des mains³⁵⁶, permettant ainsi d'adapter la scène en fonction des mouvements de l'utilisateur. Il y a de nombreuses applications à ce type de perception, allant de la formation professionnelle à la simulation de réunions virtuelles en passant par les jeux vidéo.

L'archive est le lieu de la curiosité, de la manipulation de documents ou d'objets divers. Jean-François Bert, dans *l'Abécédaire des mondes lettrés*³⁵⁷, insiste sur le caractère actif qu'exigent les archives. Les archives ne sont pas un lieu où l'on reçoit un savoir, c'est un espace où l'on va à sa rencontre.

«Ce déplacement qui consiste à “aller” dans les archives, et à prendre au sérieux l'ensemble des traces laissées par un chercheur, donne à voir des postures, des manières de faire et d'être, des savoir-faire, des éthiques et des pratiques du travail intellectuel qui traversent toute la vie des acteurs concernés.»

La réalité virtuelle permet de se saisir des données d'objets d'histoire naturelle, de les observer, de les comparer, de les agrandir, et de donner à voir la diversité de leur architecture. Cette dimension active qui consiste à « “aller” dans les archives » est reprise dans l'expérience de réalité virtuelle, qui, par un artifice technique, place le corps de l'utilisateur à l'intérieur des objets de l'archive³⁵⁸.

Le choix s'est aussi porté sur cette technologie pour deux autres raisons. La première est une question d'échelle : la résolution à laquelle sont produites les images en tomographie à rayons X est de l'ordre de 4 à 20 microns. C'est une échelle de perception qui n'est pas accessible à l'œil humain sans passer par des artifices de visualisation. Aussi, rendre perceptibles et agrandir ces échelles de manière à percevoir ce qui est habituellement

355 En 1957, Morton Heilig, cinéaste, imagine une machine, le *Sensorama*, capable d'exciter les cinq sens du spectateur afin de faire l'expérience d'un monde imaginaire. Puis, en 1960, il pose un brevet de casque de réalité virtuelle doté d'un écran stéréoscopique.

356 La technologie de *hand tracking* s'est démocratisée avec l'appareil *Oculus Quest 2* qui est le média avec lequel nous avons choisi de travailler.

357 BERT, Jean-François. « Archive », entrée de *l'Abécédaire des mondes lettrés*. *ENSSIB* [en ligne]. Mars 2017. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <http://abecedaire.enssib.fr/a/archive/notices/88>

358 Puisqu'il est possible d'agrandir les échantillons de coraux de manière à se retrouver à l'intérieur.

invisible nous a semblé important. Nous faisons l'expérience d'une vision corallo-centrée ; nous nous trouvons à l'échelle du corail.

La seconde raison tient au public de la réalité virtuelle. Il nous a semblé que cela pourrait faire circuler l'archive à la fois lors d'expositions pouvant mettre à disposition l'expérience, comme c'est le cas au Biodiversarium³⁵⁹ de Banyuls-sur-Mer avec qui nous travaillons. Enfin, le casque *Oculus Quest 2*, sur lequel nous avons développé l'expérience, a été massivement vendu³⁶⁰ (notamment lors du confinement mis en place lors de l'épidémie de Covid-19), permettant à certains d'expérimenter d'autres formes de perception tout en restant chez soi.

L'expérience *A journey into animal forest* (fig. 66) a été exposée lors du bicentenaire de Lacaze-Duthiers au Biodiversarium de Banyuls-sur-Mer, au Château royal de Collioure et lors du *Petit Festival de la Côte Vermeille* (Pyrénées-Orientales). L'archive est désormais disponible dans la médiation scientifique du Biodiversarium. Elle a rencontré un public varié, non connaisseur, souvent familial, qui nous a semblé à la fois ému et émerveillé de la proximité qu'il a eue avec cette forme de vie durant cet événement. L'expérience est également disponible en libre accès grâce au site web *SideQuest*, permettant à n'importe quel utilisateur de l'*Oculus Quest 2* d'en bénéficier.

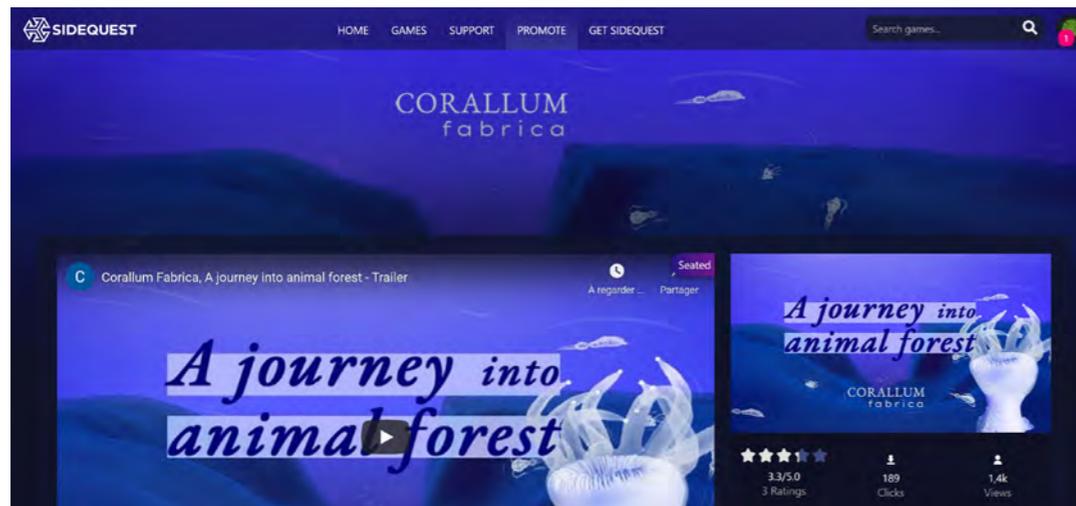


Figure 66 — Capture d'écran de la page de présentation de l'expérience *A journey into animal forest* sur le site web *SideQuest*. Voir *Corallum Fabrica on SideQuest* — *Oculus Quest Games & Apps including AppLab Games (Oculus App Lab)*, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 6 juin 2022]. Disponible à l'adresse : <https://sidequestvr.com/app/4535/corallum-fabrica>

L'usage de technologies immersives afin d'interroger notre perception du monde vivant est une piste intéressante, car elles permettent de se placer à une échelle de vision et à un point de vue nouveaux qui seraient impossibles à atteindre autrement.

Pour citer un autre projet, le studio de production Marshmallow Laser Feast donne, à travers l'expérience « *Treehugger: Wawona* » (2016) dont on peut voir une capture d'écran **figure 67**, à percevoir la circulation de l'eau à l'intérieur d'un séquoia âgé de 3 000 ans. Le

359 Instrument de médiation attelé au laboratoire Arago de Banyuls-sur-Mer, village de pêcheurs où le naturaliste français Henri de Lacaze-Duthiers a installé un observatoire océanographique.

360 Ce chiffre est estimé à 8 millions dans le monde.

studio imagine comment, à l'aide d'une perception sensorielle, le public peut comprendre et voir d'une autre manière la façon dont l'eau est connectée de multiple manière aux arbres et à la forêt. Selon les concepteurs, les données de l'expérience peuvent également « constituer des archives numériques du monde naturel », insistant sur la manière dont on peut donner à percevoir la perte de la biodiversité terrestre.

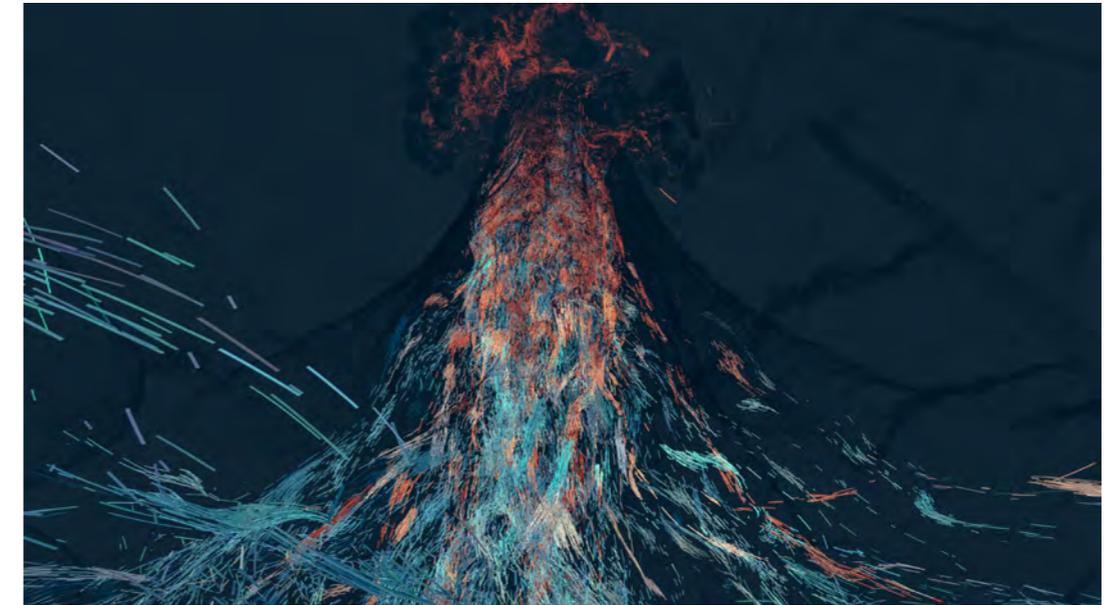


Figure 67 — Capture d'écran de l'expérience *Treehugger: Wawona, Marshmallow Laser Feast* (2016).

L'acquisition de modèles 3D et la mise au point d'expériences de perception soulèvent un enjeu mémoriel, faisant de ces moments privilégiés d'immersion des formes de rituels contemporains d'œuvres de mémoire. L'archive des coraux, par ce rituel d'un décentrement du regard humain et en faisant l'expérience de l'échelle corallienne, crée un nouveau rituel culturel.

En janvier 2021, nous intégrions dans l'équipe Denis Tribouillois, ingénieur en imagerie 3D et développeur en réalité virtuelle afin de nous accompagner dans le projet *Corallum Fabrica*. Mon rôle de designer et de direction artistique a consisté en la conception de l'expérience de cette archive, à la fois sur les plans des contenus, des gestes et des usages.

Une importance a été donnée aux textures de rendus 3D pour s'immerger dans les architectures de coraux avec un mode de transparence. Un menu a été créé afin de pouvoir déplacer, étirer, rendre transparents, se documenter et observer d'autres échantillons de coraux. Nous avons dessiné des gestes spécifiques pour pouvoir entrer en interaction avec les échantillons de coraux. Chacun de ces gestes est introduit dans l'expérience par un outil (un didacticiel) qui les apprend à l'utilisateur.

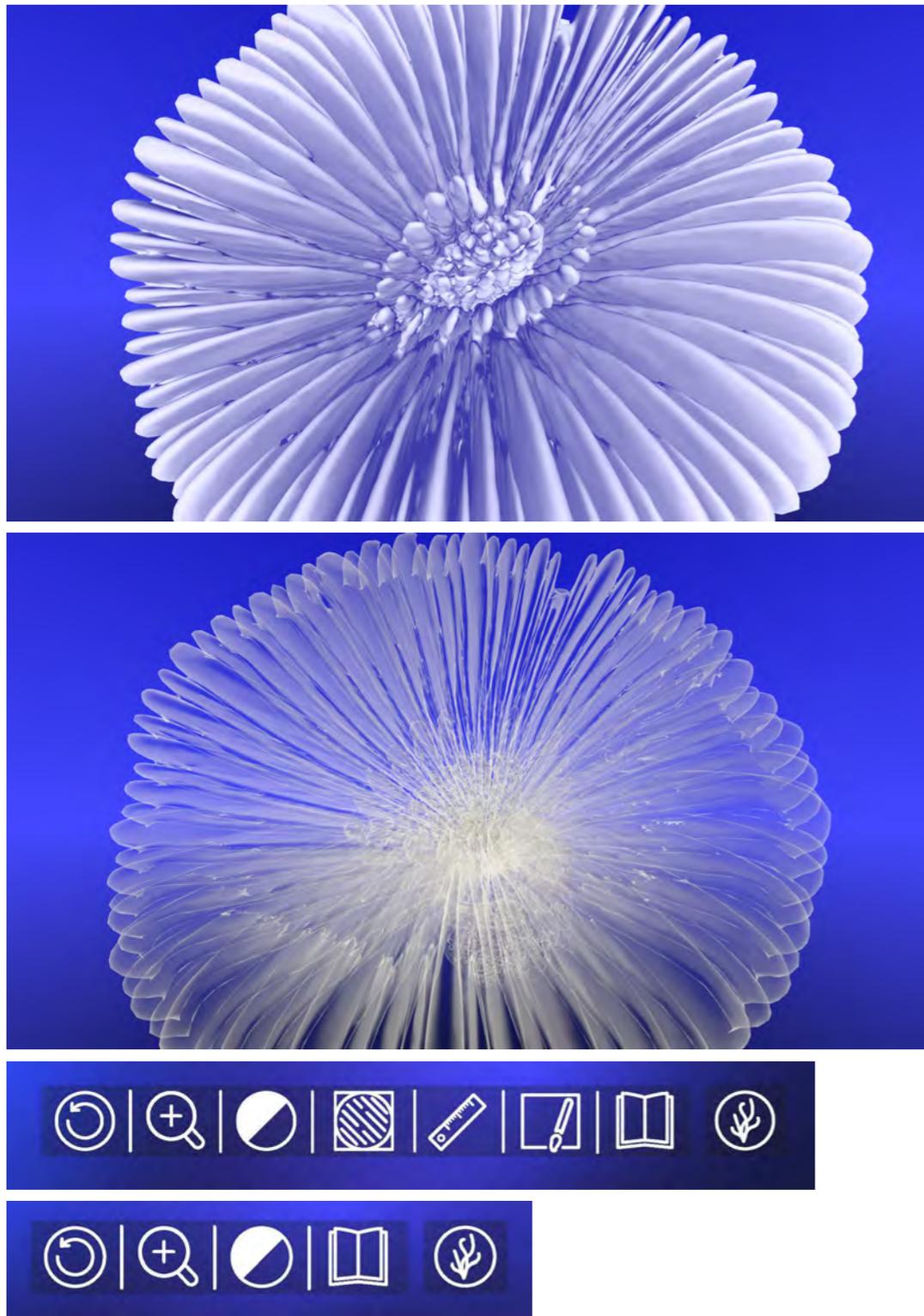


Figure 68 — A. Visualisation d'un squelette de corail du spécimen MNHN-IK-2012-11430 *Caryophyllia cyathus* (Ellis & Solander, 1786) avec un rendu surfacique « opaque » B. Avec un rendu en « transparence » C. Pictogrammes présentant les divers gestes proposés pour interagir avec les squelettes de coraux. D. Menu allégé finalement retenu.

En ce qui concerne les usages, les manipulations permises par le dispositif se rapprochent volontairement d'une forme de microscope. Nous avons collaboré sur cette expérience de janvier 2021 à août 2021, date de sa mise en utilisation.

Nous avons testé avec Denis Tribouillois divers outils, ainsi qu'en attestent les différents menus d'interaction représentés **figure 68 C** et **D**. Les différentes actions représentées par les pictogrammes de la figure C sont : « revenir à la vue d'origine », « zoomer/dézoomer », « mettre en transparence/rendre opaque », « faire une coupe dans un plan », « mesurer », « dessiner », « lire des informations », « aller au menu de choix des modèles ». Nous avons testé ces différentes actions lors de différentes phases. Finalement, l'archive *Corallum Fabrica* étant destinée à des musées pour un public n'ayant pas une grande expérience de la réalité virtuelle, nous avons choisi de réduire ces outils d'interaction aux actions suivantes : « revenir à la vue d'origine », « zoomer/dézoomer », « mettre en transparence/rendre opaque », « lire des informations », « aller au menu de choix des modèles » et « mesurer ». Ce dernier outil n'est pas représenté dans le menu et s'actionne directement au moyen d'un geste spécifique présenté dans la phase introductive de l'expérience. L'action « mettre en transparence/rendre opaque » est illustrée **figure 68 A** et **B** sur un modèle 3D du spécimen de *Caryophyllia cyathus*.

Des pistes d'utilisation de la réalité virtuelle en tant que dispositif de recherche scientifique ont été soulevées et pour le moment non testées. Il est notamment possible d'utiliser cette technologie pour visualiser des expériences de simulations fluidiques, d'écoulements, de densité de canopées, de recueil des angles morphologiques, etc. Certaines de ces expériences demandent des dispositifs de développements dédiés. Il est à ce jour compliqué de faire par exemple une capture de l'expérience produite dans le casque de réalité virtuelle pour pouvoir la publier dans une revue ou bien de sortir des données depuis le casque vers un ordinateur (bien que cela reste techniquement faisable, cet usage n'est pas courant). D'autres pistes concernent la création d'un espace d'étude dédié (forme de paillasse artificielle), permettant par exemple de comparer des échantillons entre eux demandant des performances de calcul importantes, non permises par le casque utilisé.

Nous avons exposé les choix techniques de visualisation de l'archive *Corallum Fabrica* au sein d'une expérience de réalité virtuelle. Cette technologie n'étant pas accessible au plus grand nombre, et ne pouvant pas (du moins pour l'instant) se construire de manière contributive, nous avons en parallèle développé une archive en ligne, par le biais d'une application web.

Scénarios de la plateforme numérique

Dans un deuxième temps, j'ai travaillé avec la designer Lysiane Lagadic aux scénarios d'usage de cette plateforme. Nous avons partagé ce travail sur un espace numérique offrant un dispositif collaboratif en ligne, *Miro*³⁶¹, afin d'explorer le plus largement possible l'usage de cette plateforme qui débordait selon nous de la mise en visibilité des architectures internes micro-résolues des coraux et qui pouvait devenir un dispositif de travail pour une communauté de recherche.

361 La thèse se déroule pendant la pandémie de Covid-19, de nombreux dispositifs en ligne ont été utilisés pour travailler le projet.



Figure 69 — Premier dessin de page d'accueil pour la plateforme, on voit apparaître un onglet «blog».

Comme le montre la **figure 69**, il y a déjà un certain nombre d'éléments structurants dans la première maquette :

- Une page d'accueil ;
- Une page pour la bibliothèque des coraux ;
- Des fiches coraux (voir **fig. 70**) avec un formulaire de demande et des mentions légales/crédits ;
- L'écosystème du projet.

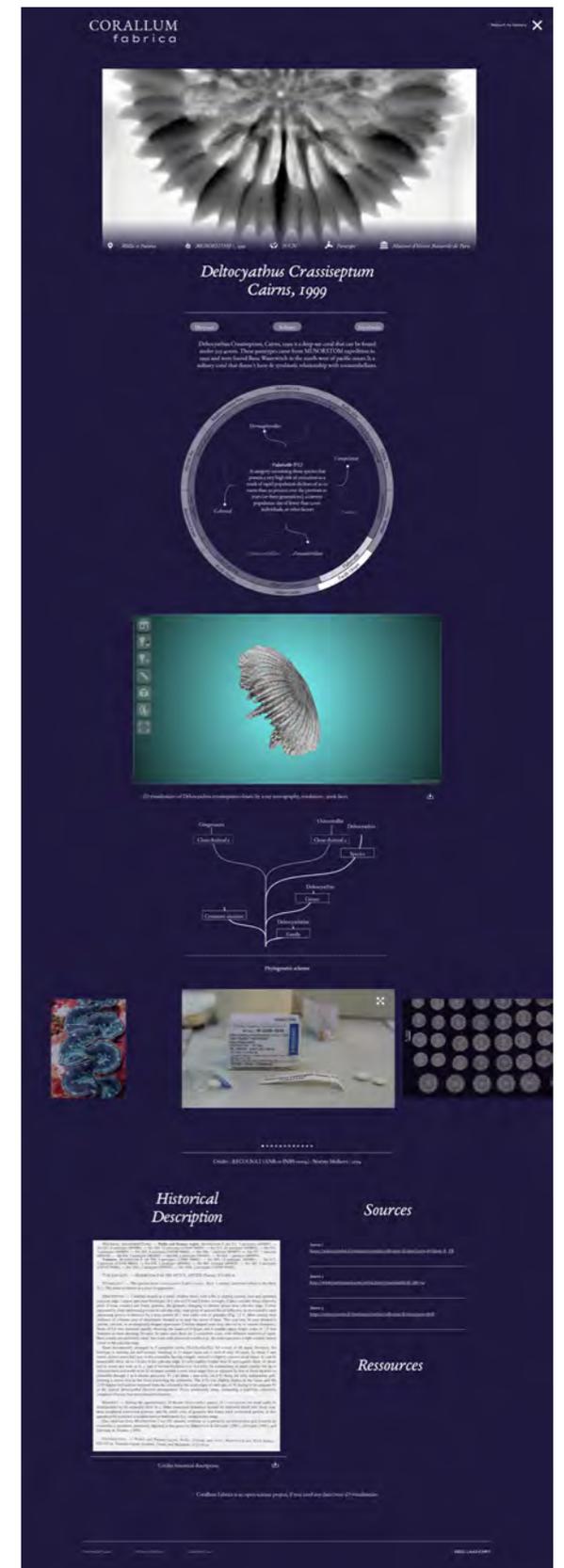


Figure 70 — Maquette des fiches coraux.

Ce que j’avais imaginé (avec la designer Lysiane Lagadic) sous forme de dossiers spéciaux s’est transformé en l’espace « Agora », un espace protéiforme, plurimédia, permettant de mettre en dialogue des contenus très différents que nous avons choisi de catégoriser en fonction de filtres cumulables : « recherche », « éducation », « art & design », « événement », « science ».



Figure 71 — Maquette du menu Agora avec recherche par filtres et visualisation des différents onglets : Home, 3D Library, VR Library, Agora et About us.

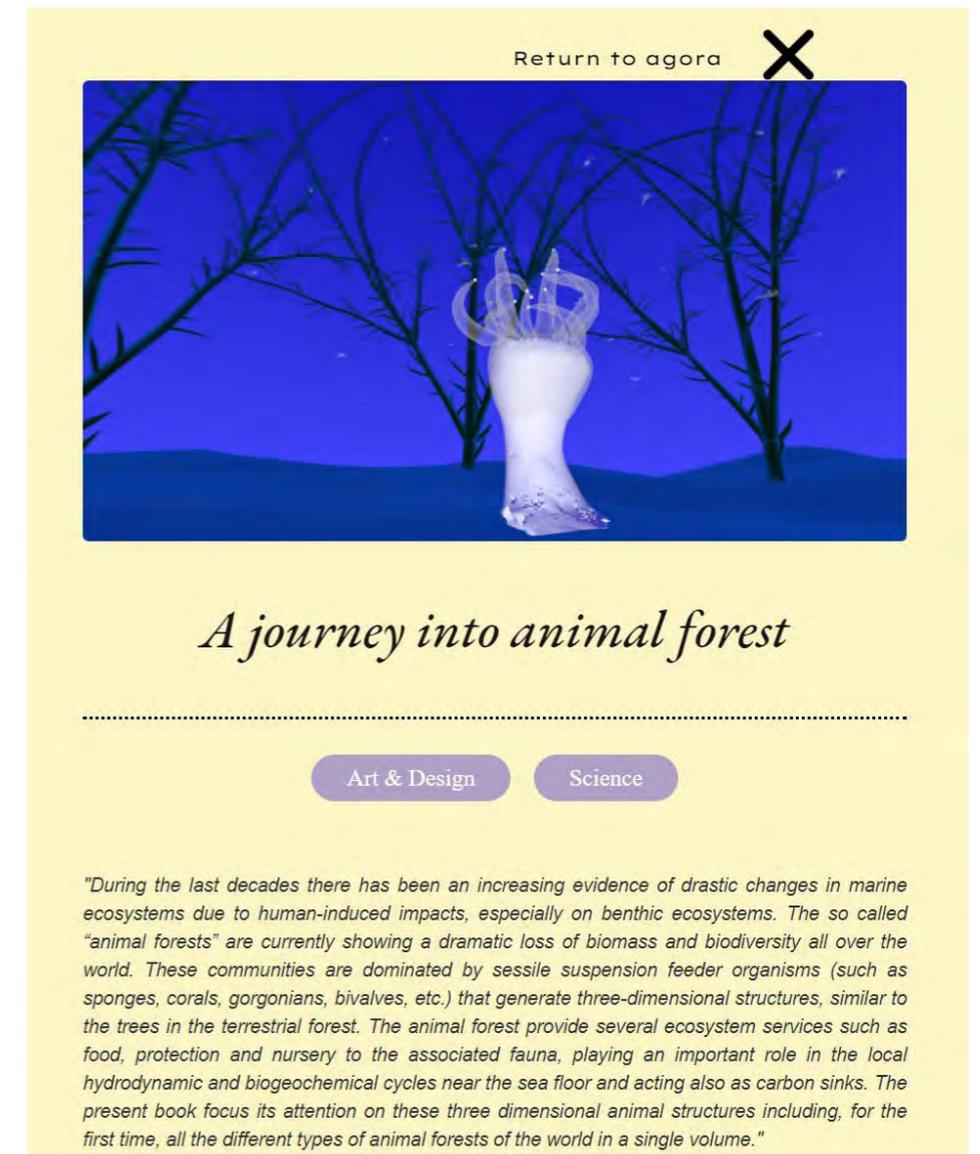


Figure 72 — Exemple d'un billet publié à partir de l'onglet Agora du site Corallum Fabrica.

J’ai pensé intéressant en effet de ne pas dédier la bibliothèque numérique à la seule visualisation 3D des structures internes des coraux. L’archive peut également être une ouverture sur les recherches en cours et un espace de publication pour les chercheurs. Cet espace que j’ai appelé « Agora » permet la saisie de billets très divers dans ce but (fig. 71 et fig. 72).

Dans le document de travail que nous partageons avec Lysiane Lagadic, certaines idées de développement apparaissent, telles que : la diffusion d’appels à participations pour des artistes et à des contributeurs extérieurs ; un travail d’écriture sur des dossiers spéciaux à la manière d’enquêtes anthropologiques ; une galerie virtuelle permettant d’exposer des projets artistiques ou de design en lien avec nos questions. Je souhaite que le savoir n’apparaisse pas comme figé dans le temps, mais puisse être nourri des questions des chercheurs. Ces pistes restent encore ouvertes pour la suite du projet.

Interfaces de saisie – back office

La conception de l'interface de saisie, à savoir l'architecture de l'information servant à renseigner les documents, a été pensée de manière contributive et évolutive. Concernant les « fiches coraux », nous avons retravaillé l'objet de l'étiquette présente physiquement dans les collections en y ajoutant les données de la liste rouge de l'IUCN et la typologie de l'échantillon.

On peut voir l'évolution de la présentation de ces données entre la première maquette et la première version du site, entre la **figure 73** (mars 2021) et la **figure 74** (août 2021) :



Figure 73 — Maquette de principe pour présenter les informations sur le futur site Corallum Fabrica afin de dialoguer entre l'agence de graphisme 221B et les ingénieurs du service informatique du LAAS-CNRS.



Figure 74 — Capture d'écran d'une des « fiches corail » du site Corallum Fabrica dans la partie « 3D library » du site web.

L'interface de saisie propose plusieurs champs de contenus pour les fiches coraux, tels que « fichiers 3D », « images », « descriptions historiques », « sources », « textes libres » et « métadonnées ». La police Garamond a été utilisée sur le site pour sa graphie particulière s'accordant avec les étiquettes à la graphie manuelle retrouvée dans la zoothèque du MNHN.

La base de données visible **figure 75** a été développée à l'aide du service informatique du LAAS-CNRS, cette dernière fonctionnant de manière à pouvoir être implémentée directement par les utilisateurs.

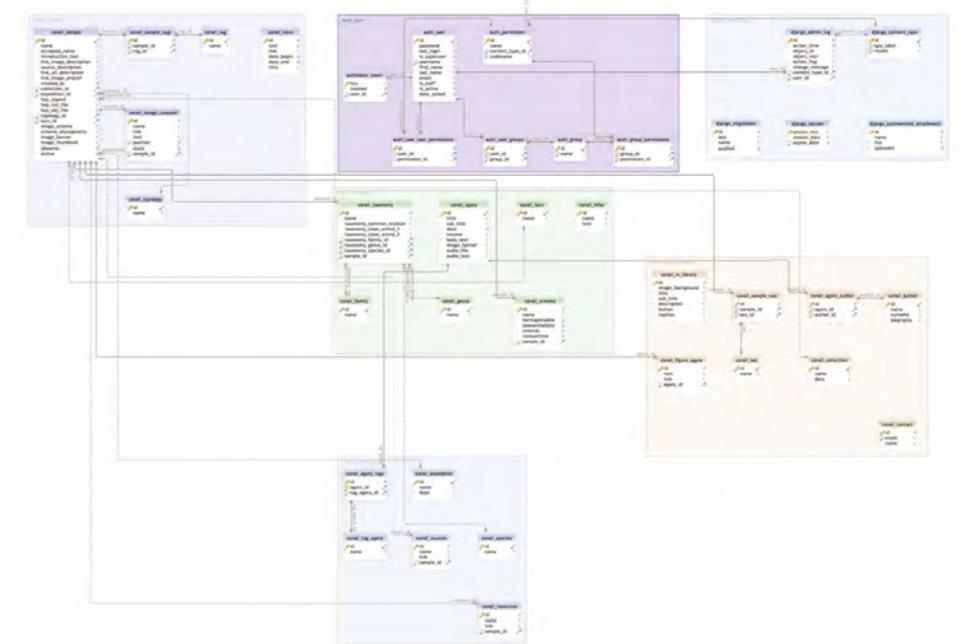


Figure 75 — Schéma relationnel de la base de données Corallum Fabrica réalisé par l'équipe informatique du LAAS-CNRS

Visualisation sur navigateur

Nous avons choisi, avec Denis Tribouillois, une solution de visualisation existante, 3DHOP, pour la visualisation sur navigateur. « 3DHOP (3D Heritage Online Presenter) est un environnement open source (GNU General Public License v3.0³⁶²) pour la création de présentations web interactives de modèles 3D haute résolution orientées vers le domaine du patrimoine culturel³⁶³. » 3DHOP permet en effet une visualisation intégrée dans une page web standard grâce à l'ajout de composants HTML et JavaScript dans le code source.

362 3DHOP, 2022. [en ligne]. JavaScript. Visual Computing Lab - ISTI - CNR. [Consulté le 6 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://github.com/cnr-isti-vclab/3DHOP/blob/a8c145ddc575df5291e073a377d942ff77c34901/LICENSE.txt>

363 Voir About 3DHOP. Site de 3DHOP [en ligne]. [consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <https://www.3dhop.net/> « 3DHOP (3D Heritage Online Presenter) is an open-source framework for the creation of interactive Web presentations of high-resolution 3D models, oriented to the Cultural Heritage field. » [traduction personnelle]

3DHOP³⁶⁴ permet ainsi d'avoir une partie du code déjà écrite, que nous sommes venus adapter à nos besoins en modifiant les modes de luminosité, et en enlevant certaines options d'interactions non utiles à notre archive (**figure 76**).

Avec Denis Tribouillois, nous avons construit l'interface de navigation afin de clarifier les usages que nous souhaitons produire et avons travaillé l'éclairage de la scène pour répondre au besoin spécifique de mise en visibilité des structures internes des coraux.



Figure 76 — Capture d'écran de l'interface de visualisation 3D sur une «fiche corail» du spécimen MNHN-IK-2009-1756 *Anthemiphyllia spinifera* Cairns, 1999 sur le site *Corallum Fabrica*.

Nous avons donc choisi pour ce cadre de reprendre une architecture existante et de l'adapter (en dessinant les boutons et le fond) à nos données. La licence d'exploitation des fichiers 3D est en CC BY-NC-ND³⁶⁵, ce qui permet leurs libres diffusion et utilisation sous réserve d'une utilisation commerciale et de la non-modification des fichiers 3D. La licence utilisée a permis par exemple l'exploitation des fichiers pour les musées et institutions pédagogiques.

364 3DHOP s'appuie sur la bibliothèque *SpiderGL* et sur un format de multirésolution NEXUS afin de gérer des modèles 3D de haute résolution.

365 Voir License BY-CC-ND 2.0 FR. *Creative Commons* [en ligne]. [consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr/>

4. Résultats : une archive vivante

La maîtresse de conférence en design et chercheuse en anthropologie Anne-Lyse Renon opère un rapprochement entre le design et la « théorie de l'acteur réseau ». Pour Renon (2016), « [c]'est cette chaîne de transformation et de mise en relation, que l'on peut qualifier de *design*³⁶⁶ ». En effet, l'autrice rapproche le philosophe et ethnologue des sciences Bruno Latour du designer László Moholy-Nagy. Moholy-Nagy écrivait à ce propos, dans l'essai *Nouvelle méthode d'approche : Le design pour la vie* (1947) : « Faire du design, c'est penser en termes de relations³⁶⁷. » Nous avons nous-mêmes emprunté ce mode opératoire pour cette partie d'analyse du projet corail.

Le diagramme (double page suivante) représente les relations entre personnes, projets, objets et organisations qui se sont nouées à partir du projet *Corallum Fabrica*. Ce système de relations s'inspire librement des méthodologies de la sociologie des sciences, notamment celle de l'acteur réseau proposée par Bruno Latour dans laquelle sujets humains et objets non humains ont une égale importance dans le système de relations qu'ils entretiennent. D'un point de vue quantitatif, ce système de liens rassemble : 23 personnes, 14 projets, 5 laboratoires, 5 appels à projet soumis, 4 objets, 3 organisations, 4 musées, 4 expositions, 4 instruments, 2 fondations d'entreprises, 2 instituts d'enseignement supérieurs, 1 publication et 1 fablab. Ces multiples connexions touchent des institutions très différentes, telles que des laboratoires de recherche publics à l'image du LAAS-CNRS qui accueille mes recherches ou des laboratoires partenaires (Arago, MNHN, CRIOBE, IMFT), des instituts d'enseignement supérieur, des musées, ou encore des fondations d'entreprises.

Si la pluralité des milieux dans lesquels intervient le projet est intéressante, c'est davantage la puissance d'agir³⁶⁸ du « projet corail » que nous cherchons à montrer. Dans cette hypothèse, l'existence propre du média influencerait le réseau d'acteurs présenté dans le diagramme.

Je vais décrire sommairement les projets qui ont découlé de *Corallum Fabrica*. Ce que j'appelle projet ici est un ensemble d'actions rassemblant plusieurs acteurs dans un but commun. Par exemple, mener une nouvelle étude sur les propriétés mécaniques des larves des coraux est considéré comme un projet, au même titre que l'utilisation des modèles 3D des squelettes des coraux pour des moments de médiation scientifique.

Je ne détaille pas ici les projets et ne les analyserai pas. Je tiens simplement à les poser comme des résultats à prendre en considération en regard des hypothèses de cette thèse. La collaboration comme dispositif de recherche semble avoir mis en synergie différents acteurs qui se sont emparés d'une partie du projet pour l'intégrer à leurs recherches personnelles.

Dans un premier temps, je souhaite évacuer les projets qui sont directement rattachés au « projet corail », car ils ne sont pas des conséquences, mais plutôt des dispositifs. Voici ces dispositifs :

366 Anne-Lyse RENON, *Design et esthétique dans les pratiques de la science*.

367 MOHOLY-NAGY, László. *Nouvelle méthode d'approche*. 2007 [1947] *Le design pour la vie*. In : *Peinture Photographie Film et autres écrits sur la photographie*. réédité. Paris : Gallimard

368 En anglais, *agency*.

- Modèles 3D des coraux à partir des échantillons sélectionnés à la zoothèque du MNHN ou confiés par les chercheurs partenaires réalisés par tomographie à rayons X ;
- Expérience de réalité virtuelle ;
- Plateforme numérique *Corallum Fabrica*.

Je m'appliquerai à définir le statut des différents projets permis par *Corallum Fabrica* dans l'analyse qui suit et verrai comment les chercheurs partenaires de *Corallum Fabrica* ont utilisé la synergie du projet pour élargir le champ de leurs recherches.

Je souhaite commencer par les installations artistiques que j'ai choisi d'entreprendre autour des séries de sculptures³⁶⁹ qui sont issues de l'archive 3D des squelettes de coraux. Il s'agit de deux projets de recherche plastique. La première installation concerne la fragmentation des squelettes de coraux et la mise en visibilité de leurs structures internes, directement liées à la technique d'acquisition des modèles 3D, et a fait l'objet d'une série de sculptures en impression 3D en argile en grand format. La seconde concerne la mise en visibilité de structures microscopiques essentielles à la croissance des coraux.

Recherche et développement

De ce premier travail artistique a découlé un projet de recherche et développement porté par le LAAS-CNRS et par le designer qui m'a accompagné sur la production des pièces imprimées en argile. Il s'agit d'un projet de conception d'imprimante 3D en argile en grand format n'ayant pas exactement les mêmes particularités techniques que la machine développée par le designer Olivier Van Harpen que j'ai eu l'occasion d'utiliser pour mes recherches. On voit ici comment la recherche-crédation a pu permettre un projet de recherche et développement³⁷⁰ au sein du laboratoire.

Commande

Le cas le plus directement lié au projet d'archive concerne l'un des projets impliquant le biologiste Serge Planes. Il s'agit d'une expérience de réalité virtuelle reprenant dans les grandes lignes ce qui a été développé dans l'expérience de réalité virtuelle développé pour *Corallum Fabrica*, appliquée à cinq espèces de corail de Polynésie afin d'équiper l'écomusée Te Fare Natura qui a récemment ouvert ses portes à Moorea. Le statut de ce projet est une commande qui n'a pas encore été réalisée à ce stade de l'étude.

Médiation scientifique

Le cas qui suit est une exploitation directe des données de la plateforme à des fins de médiation par le programme d'exploration sous-marine *Under The Pole*. Il s'agit d'un cas d'usage direct des modèles 3D à des fins de médiation.

369 Ces recherches sont décrites et exposées plus loin dans la thèse.

370 Sur les liens entre R&C et R&D voir : BIANCHINI, Samuel, Jean-Paul FOURMENTRAUX et Emmanuel MAHÉ, 2009, Création et « Recherche & Développement ». In : *Valeurs croisées, Catalogue Les Ateliers de Rennes - Biennale d'art contemporain #1*. Raphaële JEUNE (dir.). Dijon : Presses du réel. p.136-145 (v. fr.), p.180-189 (v. ang.).

Module pédagogique

Le cas suivant concerne une collaboration entre des chercheurs de *Corallum Fabrica*, l'institut d'enseignement supérieur UniLaSalle et l'entreprise Dassault Systèmes sur la simulation fluide des courants autour des squelettes des coraux. Il s'agit de l'usage des modèles 3D à des fins de création de modules pédagogiques et du croisement des sujets de recherche des chercheurs de *Corallum Fabrica* avec l'équipe pédagogique d'UniLaSalle.

Recherche scientifique

Le projet d'étude de *mecano-sensing* des larves concerne la rencontre des recherches de l'équipe ELiA et le développement, notamment, d'un dispositif pour chercher des traces de vie dans des gouttes développées par Victor Fabre (chercheur en ingénierie dans l'équipe). Il s'agit d'un transfert de dispositif d'un domaine (spatial) à un autre (marin), rendu possible par le partage des questions entre des chercheurs du MNHN et du LAAS-CNRS.

L'un des projets qui me semble le plus intéressant pour nos recherches ne concerne ni directement l'archive de coraux, ni même le corail. Le projet porté par le biologiste Franck Lartaud s'intitule ARCHIVE et porte sur l'étude de l'inscription d'une horloge biologique dans les stries de croissances présentes sur les moules. Une partie du projet concerne sa future médiation dans un musée, avec une proposition artistique pour articuler les enjeux de cette recherche. En effet, les strates des impressions 3D rendent perceptibles et rejouent les stries de croissances. Ce parallèle avec la biominéralisation³⁷¹ avait été soulevé lors d'un point de réunion de *Corallum Fabrica*. Les recherches esthétiques menées sur les enjeux de perception ont été intégrées dès la rédaction de l'appel à projets. C'est pour nous important, car cela permet à des designers d'être intégrés très tôt aux projets de recherche, ce n'est donc pas une commande après coup, mais une construction de la forme qui va être donnée à la recherche menée à la fois par ses méthodes et ses résultats potentiels. Ce développement fait voir, selon nous, que les pratiques de design peuvent être prises en considération par l'outil des appels à projets. Souvent relégué comme un dispositif de médiation d'une recherche déjà menée, le travail de design pourrait alors prendre part au travail d'écriture des hypothèses et les interroger.

Serge Planes a également ouvert un autre appel à projets concernant les récifs artificiels à l'équipe ELiA. Si la forme des appels à projets participe à la programmation du savoir dont j'ai rapidement fait la critique dans le chapitre 1, il nous semble qu'à l'intérieur de ce programme, il peut y avoir du « jeu » et de l'espace pour la création si les designers peuvent être intégrés à ces formats d'écriture spécifiques que sont les appels à projets. Reste que la plupart des designers n'exercent pas dans des instituts de recherche et que ces derniers ne sont pas non plus formés à la collaboration avec les scientifiques.

Si je résume le statut des projets issus des connexions présentées dans le diagramme, nous avons 3 appels à projets soumis, 2 cas d'usage, 2 travaux artistiques, 1 commande et 1 projet de recherche et développement.

Ceci me pousse à postuler que « projet corail » a fonctionné comme un catalyseur pour d'autres projets, autorisant sans doute une légitimité nouvelle aux chercheurs en ingénierie et aux designers sur le sujet du corail. Nous pensons que cette dissolution du projet en de multiples projets n'est pas un éparpillement, mais plutôt un essaimage. Une partie du

371 La biominéralisation est une mode de production de minéraux d'origine biologique, par des bactéries, des plantes ou des animaux.

projet, un objet, un instrument, une recherche esthétique, etc., est emportée et imbriquée dans une nouvelle recherche.

Le temps du projet et le temps de l'essaimage

Il semble y avoir une double temporalité. La première est celle de la collaboration et de la construction de l'archive en ligne. La seconde est une période d'essaimage et de naissance de nouveaux projets (fig. 77) de la part des chercheurs partenaires qui sont illustrés par le terme générique de « projet corail » que nous utilisons entre nous. Dans cette seconde phase, les acteurs réutilisent une partie du système de relations pour leur propre recherche. En ce sens, le projet fonctionne comme un dispositif expérimental dont les résultats sont à la fois des expériences de médias numériques, des œuvres d'art et de nouvelles collaborations et projets de recherche.

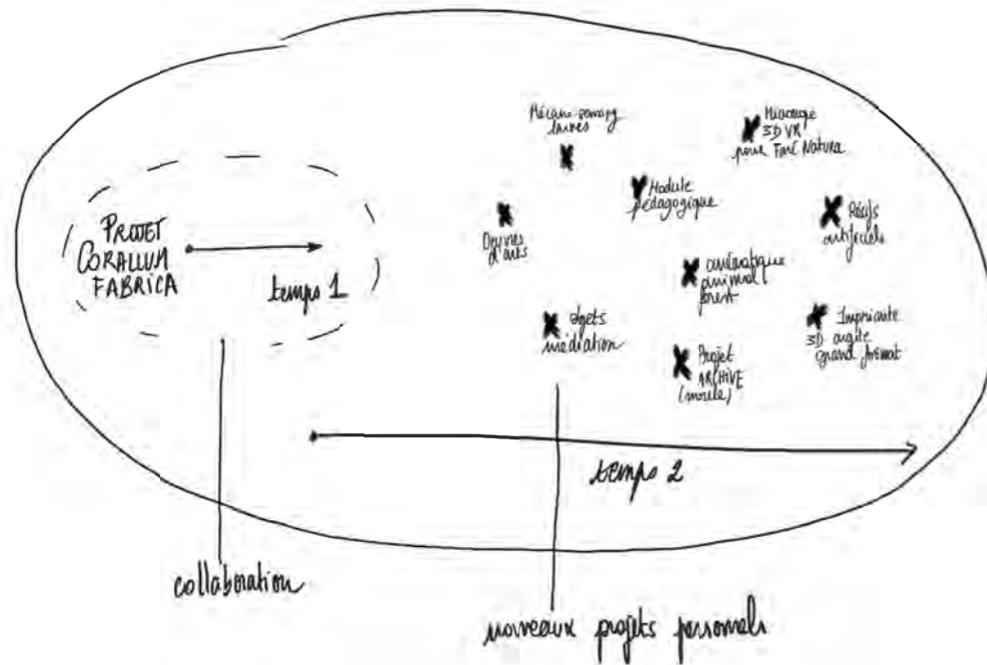


Figure 77 — Schéma représentant les deux temps du projet Corallum Fabrica. Temps 1 : collaboration. Temps 2 : projets personnels.

Il semble que le projet ait essaimé (fig. 78) pour les chercheurs qui ont été impliqués dans de nouvelles directions, ne croisant pas nécessairement les recherches des autres scientifiques. En ce sens, il n'y a pas création d'une communauté comme initialement souhaité. L'archive n'aurait donc pas participé à la collaboration étroite entre ce groupe de chercheurs sur le corail, mais aurait plutôt participé à ouvrir le champ de leur propre recherche et potentiellement à consolider les liens qu'ils avaient déjà avec des dispositifs de valorisation tels que les musées.

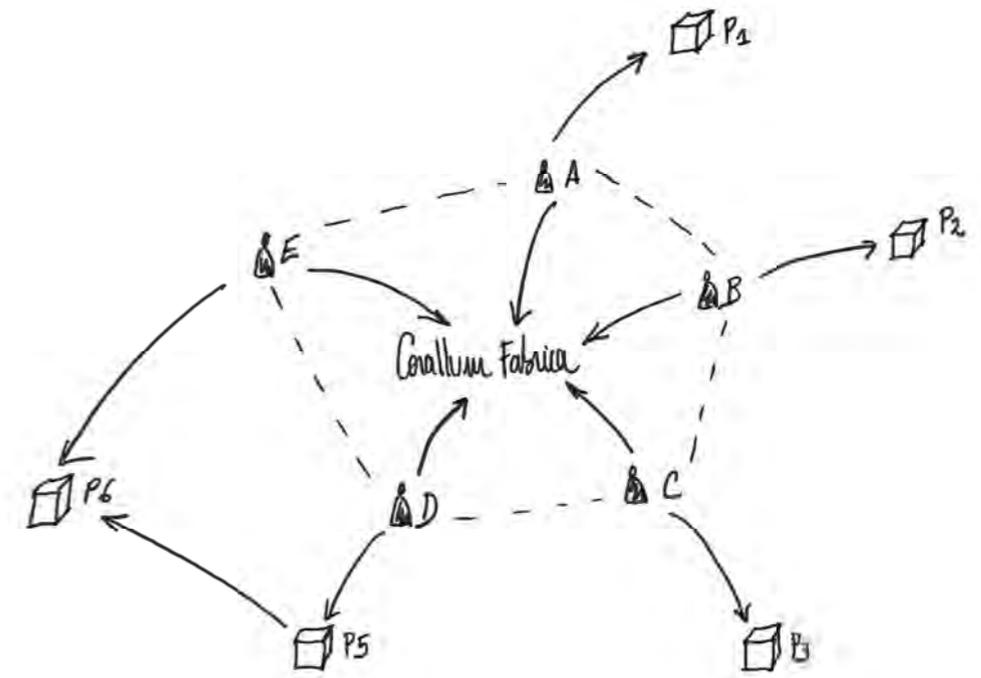


Figure 78 — Schéma représentant l'essaimage que permet le projet Corallum Fabrica.

Le LAAS-CNRS, en revanche, en tant que porteur du projet *Corallum Fabrica*, se retrouve impliqué dans toutes les nouvelles dynamiques mises en place par les acteurs partenaires du projet.

Ainsi je souhaite ouvrir ici l'hypothèse selon laquelle le projet de design peut opérer une *agency*, une puissance d'agir, qui lui serait propre en dehors de toute intention ou conscience des acteurs reliés au projet de design.

Prolongements artistiques : architectures animales et mémoire des vivants

L'archive *Corallum Fabrica* met à jour les architectures animales produites par les coraux, que l'on nomme parfois des écosystèmes ingénieurs. J'ai souhaité travailler à une rematérialisation de l'archive à travers une série de sculptures en grès, imprimées en 3D, rendant compte à la fois du devenir ruine de ces architectures animales, mais aussi d'une forme d'accélération du temps.

Comment nommer ce qui en substance a déjà la voix du mort ? Faut-il, à la manière de la sorcière néopaienne Starhawk, pleurer et se lamenter à cause du démembrement du monde³⁷² ? Comment pratiquer une mémoire devenue vitale ? Mémoire vitale, car le déclin de la biodiversité n'affecte pas seulement nos ressources nourricières, elle affecte notre rapport au monde et au futur. Un monde où il n'est pas dit que la Terre sera toujours habitable par les humains. Travailler la mémoire collective est également un rempart à la

372 STARHAWK, 2015. *Rêver l'obscur. Femmes, magie et politique*. Cambourakis. Paris. Sorcières.

fatalité, du moins, au sentiment de fatalité de plus en plus partagé, notamment chez les jeunes générations. Cette fatalité empêche tout engagement projectuel³⁷³ et elle est tout autant à combattre que le réchauffement climatique lui-même.

Il y a un paradoxe évident dans l'étude des écosystèmes abîmés qui nous occupe. Si nous avons besoin de temps, de ralentir, de décélérer, la disparition qui nous occupe est imminente, immédiate, déjà là, ou en un mot : urgente. Les coraux, qui sont apparus il y a plus de 600 millions d'années sur la surface de notre Terre, sont menacés de disparaître sur une période très courte d'un point de vue biologique (40 ans). En effet, des coraux primitifs sont apparus au cours de l'ère paléozoïque, suivis des premières formes de Scléractiniaires à partir de -240 millions d'années. L'histoire des coraux est marquée par des extinctions successives au cours du temps. Si ces organismes aux capacités d'adaptation exceptionnelles ont réussi à survivre, c'est bien sûr le fait de lentes transformations, non réalisées dans un temps si court et particulier tel que celui que nous traversons aujourd'hui. « Les périodes qui permettraient une lente, mais possible récupération récifale, sur plusieurs centaines de milliers d'années ou plus, sont maintenant abolies³⁷⁴. » Nous vivons en quelque sorte une accélération des temps géologiques, très éloignés du temps de la biologie. Comment donner à voir cette accélération ?

Les traces de la technique

L'enseignant David-Olivier Lartigaud³⁷⁵ classe en trois catégories les productions issues des imprimantes 3D : les objets à destination professionnelle, les impressions bon marché et les pièces de musée. La troisième catégorie, « à la différence des objets imprimés pour l'industrie [les pièces de musée] valent pour elles-mêmes. Elles ne sont pas seulement une étape d'élaboration, mais l'aboutissement du processus. » Cette catégorie nous intéresse particulièrement, car je souhaite mettre à jour les spécificités plastiques de l'impression 3D grand format en argile dans nos recherches³⁷⁶. L'attention portée sur le geste technique permet de faire émerger, selon nous, des formes authentiques, où l'agencement couche par couche de matière constitue l'esthétique même de l'objet. C'est le cas, par exemple, des travaux d'Anish Kapoor ou de Giuseppe Penone, dont la géométrie et les propriétés matérielles ne sont pas prédéterminées par avance, mais s'offrent comme expérience structurelle et esthétique : on peut y voir *la trace de la technique*. Lartigaud se demande d'ailleurs si nous pouvons « considérer la trace de l'impression sur ces objets comme une qualité inhérente, telles les veines du bois ou du marbre³⁷⁷ ».

Le designer Ianis Lallemand travaille à la matérialité du numérique. Dans son article « Conception et matérialité dans la production numérique contemporaine : perspective historique et pratiques émergentes³⁷⁸ », il propose de voir dans certaines pratiques nu-

373 Dans le sens de MALDONADO, Tomás et Giovanni JOPPOLO. 1972. *Environnement et idéologie : vers une écologie critique*. Paris : Union générale d'éditions.

374 Bertrand MARTIN-GARIN et Lucien F. MONTAGGIONI, *Coraux et récifs*, p. 273.

375 CITÉ DU DESIGN et David-Olivier LARTIGAUD. 2017. *Objectiver*. Saint-Étienne, France : EPCC Cité du design, École supérieure d'art et design, p. 237.

376 Voir étude Chapitre 2.

377 CITÉ DU DESIGN et David-Olivier LARTIGAUD, *Objectiver*, p. 242.

378 LALLEMAND, Ianis. 2020. *Conception et matérialité dans la production numérique contemporaine : perspective historique et pratiques émergentes*. In : *Sciences du Design*. Vol. 12, n° 2.

mériques un autre rapport à la matière qui ne serait pas simplement à informer, à qui on dicterait une forme à respecter selon un modèle prédéfini à l'avance, mais où la matière mise en forme par des procédés numériques jouerait un rôle à part entière.

« Une nouvelle compréhension des potentialités expressives de la fabrication numérique s'est ainsi développée à travers la mise en œuvre de cadres de production performatifs.

Nous utilisons ici le terme « performatif » dans un sens dérivé..., dont l'issue n'est plus encadrée par la référence à une représentation géométrique (plan ou dessin numérique) idéale et établie au préalable. Dans ces contextes, la matière, loin de se comporter comme une ressource passive, se trouve mobilisée dans des régimes de comportements émergents, contribuant activement à définir la forme des artefacts produits³⁷⁹. »

D'une manière similaire, nous avons utilisé l'impression 3D argile, qui a la particularité de rendre très visible le procédé technique fonctionnant couche par couche, comme un moyen à la fois de révéler les traces de la technique d'acquisition et de production.



Figure 79 — Archive vivante, Fragments coralliens : *Cryophyllia clavus Scacchi*, 1835 (MNHN) mai 2021, impression 3D, grès, pièce réalisée au 8Fablab de Crest, dimensions 48×47×22 cm.

D'un côté, la série de sculptures *Archive vivante. Partie 1 : Fragments coralliens*, dont la sculpture représentée **figure 79** est composée d'extraits de groupes de scans issus de la tomographie à rayons X agrandis des dizaines de fois et réimprimés en 3D. De l'autre, les reproductions prennent en compte une matérialité propre pour l'impression 3D qui rejoue les couches de biominéralisation des coraux. D'autres aspects techniques nous ont intéressés. La technique d'impression 3D en argile repose sur un fichier G-code qui sera lu par la machine avec un logiciel appelé slicer. Un slicer permet de « découper en tranches » de hauteurs variables un objet 3D. En effet, la machine ne possédant pas de

379 Ianis LALLEMAND, *Conception et matérialité dans la production numérique contemporaine*

système de rétractation, il faut anticiper le tracé de la tête d'impression et travailler avec l'imprimante 3D pour produire les sculptures. En ce sens, il s'agit d'une forme de « sculpture assistée par la machine » où nous sommes en train de produire les pièces avec cette dernière. Il y a notamment tout un travail de consolidation nécessaire aux parties qui seront en porte-à-faux. En ce sens, les sculptures ne sont pas la réplique des modèles 3D, elles sont à la fois issues de ce procédé technique et de gestes manuels. Il y a également un travail de couleur et de renforcement visuel de l'effet de couche qui a été permis en mélangeant, au sein du réservoir de la machine, plusieurs grès de couleurs et d'origines différentes.

Authentifier la technique

Les traces techniques nous importent. Les traces rejouent les incréments de croissance, et disent l'artificialité de la production. Il s'agissait en effet d'interroger le régime perceptif permis par le tomographe et aussi de prendre une forme de distance sur le geste archivistique. Les sculptures, en raison de leur matérialité et leur taille, offrent une expérience sensible des architectures animales, tout en jouant de l'ambiguïté de leur statut. Si elles ratent volontairement la reproduction du fragment réel pour donner à voir une matérialité technique, elles ressemblent néanmoins au premier regard à un artefact venu du monde naturel. Elles modifient notre échelle de perception, au profit d'une expérience de la petite échelle (rendue immense) et rendent visible ce qui n'est habituellement pas accessible à l'expérience.

Le travail plastique interroge le potentiel devenir ruine des coraux. Les choix techniques vont dans le sens d'une « authentification technique », pour reprendre le concept proposé par le philosophe Pierre-Damien Huyghe selon lequel le designer serait en capacité d'ouvrir le régime des champs perceptifs des technologies (habituellement disposées à des actions de *mimésis*) pour les « dé-voiler », ôter le voile de l'imaginaire qui les empêche d'être ce qu'elles sont réellement. « Authentifier c'est dé-couvrir. [...] Découvrir, c'est enlever le voile d'imagination qui entoure les inventions techniques³⁸⁰. » Prenant des exemples dans l'histoire de l'art, des médias et de la photographie, le philosophe montre comment ces domaines sont devenus des langages plastiques à part entière dans un « second temps », le temps d'une authentification technique. Selon lui, le devenir authentique d'une technique a lieu après coup, et ce qui est ainsi découvert peut prendre le nom de design.

Quelle forme prend l'authentification technique, concernant les fragments de squelettes de coraux, scannés aux rayons X, et dont la mémoire nous importe ?

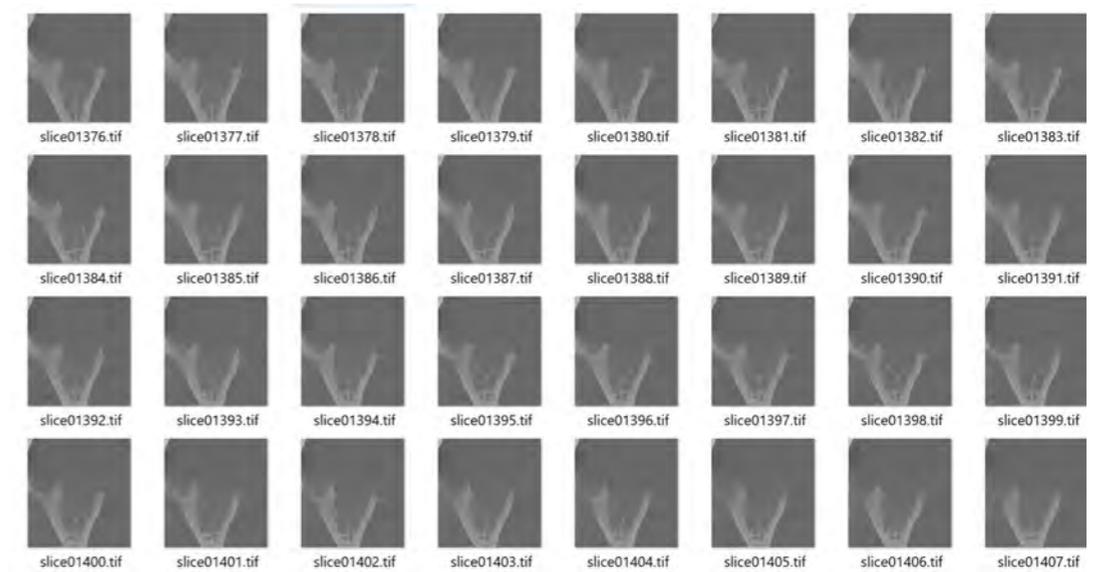


Figure 80 — Capture d'écran de certains stacks d'images d'une loge d'un spécimen de l'espèce *Madrepora oculata*.

Selon l'orientation du projecteur, une pile contient 1700 radiographies ou *stacks* d'images (fig. 80) qui sont des sortes de tranches que l'on pourrait comparer à des lames minces numériques des objets naturels que nous étudions. Cette réalité fragmentaire nous intéresse comme langage plastique.

Il se produit également une forme de relation très spécifique avec l'opérateur qui traverse le corps des squelettes de coraux à l'aide des rayons X. Une forme de connaissance sensible se crée, immédiatement, par l'expérience du tomographe. Ce dernier devient une sorte de traducteur du monde vivant, pour nous humains qui n'avons pas les appareils sensorimoteurs permettant de rentrer en contact avec ces animaux vivant dans des milieux très éloignés du nôtre (pression, luminosité, profondeur, eau, etc.). Le dévoilement du tomographe comme expérience esthétique a été le point de départ de la série de sculptures et d'une série de photographies présentes dans le cahier d'images.

L'expérience du tomographe est un travail de vidéo (10 minutes) que j'ai réalisé afin de donner à voir ce régime perceptif particulier qui est rendu visible dans le photogramme de la figure 81. Ce film réalisé pour une exposition intitulée *Fiction-naire. À la recherche de futurs* (2022) programmée dans un centre de design, Arcade, afin de mettre en dialogue le régime perceptif du tomographe et les objets-sculptures réalisés en impression 3D argile.

380 HUYGHE, Pierre-Damien. De la fiction à la distanciation, remarques sur le vraisemblable et l'étrange. Communication au colloque international CinéDesign 2, Université Toulouse Jean-Jaurès. *Cinéma-design* [en ligne]. Novembre 2018. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <http://www.cinema-design.fr/cinemade-sign-2-le-colloque-2018>



Figure 81 — Photogramme de la vidéo artistique *L'expérience du tomographe* (10 h 6 minutes). La vidéo fait s'enchaîner sur fond noir des coupes de dix fragments de squelettes de coraux tomographiés par rayons X à l'IMFT.

Les images de cette mise à nu de l'intérieur des structures coralliennes m'ont touchée. À la fois dans leur aspect plastique, mais aussi comme médiation entre le monde vivant corallien et le monde humain. Que se passe-t-il donc à l'intérieur ? Quels échanges se produisent dans ces squelettes ? Quels témoignages ces derniers nous offrent-ils ? Il m'a semblé que les images du scan révélaient également le caractère fragmentaire de notre entreprise. Nous n'avions là que des fragments de coraux, que nous refragmentions par la technique de reconstruction 3D. Nous collions artificiellement ces différents morceaux entre eux pour les faire tenir en un nouvel objet numérique supposément double de l'objet naturel. Pourtant, ce nouvel objet numérique a son existence propre, venant de la résolution d'acquisition des scans, mais aussi des opérations de post-traitement faites pour le rendre manipulable. Il me semblait alors absurde de vouloir reproduire ces architectures reconstruites telles quelles³⁸¹.

Dans notre cas, je souhaitais donner à voir l'intérieur de ces structures telles qu'elles m'étaient apparues dans le tomographe. Il s'agissait de saisir cette impression fragmentée permise par cette technique. Il s'agissait aussi, en les agrandissant, de leur donner toute l'importance qu'elles ont en tant que *témoin-ruine* de leur espèce. Donna Haraway se demande « Qui parle pour le jaguar ³⁸² ? » et nous pouvons également nous demander, dans son sillage, *Qui parle donc pour les coraux ?* Qui parle donc au nom du corail ? Et qu'est-ce qui est dit en son nom ?

L'authentification fait partie des gestes des architectes et des designers depuis les débuts de ces domaines. En effet, dans *Les Sept lampes de l'architecture*³⁸³, le critique d'art et penseur anglais John Ruskin critique le travestissement des matériaux. Il ne faut pas,

381 Sauf pour des cas de médiation où cette reproductibilité pouvait être recherchée.

382 Voir HARAWAY, Donna J. Chapter 18: Cultural studies. In : *The promises of monsters: a regenerative politics for inappropriate/d others*. New York : Routledge, 1992. p. 295-337 : « Who speaks for the jaguar? » [traduction personnelle]

383 RUSKIN, John. *Les sept lampes de l'architecture*. [1849]. Paris : Klincksieck, impr. 2008.

selon lui, reproduire la texture du marbre dans les fresques murales³⁸⁴ ou feindre un objet en bois qui le ne serait pas. Un peu plus tard, au début du xx^e siècle, l'architecte autrichien Adolf Loos publie *Ornement et Crime*, soclant les bases de l'architecture moderne par le refus de l'ornement. Au fond, le design cherche une forme de justesse entre les formes de production et la production des formes. Entre ce qui a été produit et comment cela a été produit. Dans notre cas, les objets numériques procèdent d'une fragmentation qui a été le terrain d'exploration de la série *Archive vivante*. *Partie 1 : Fragments coralliens*.

Nous avons à nouveau fragmenté, agrandi et reproduit ces architectures, de manière robotique comme manuelle, à travers une série de sculptures en grès. Le temps d'écriture du matériau par procédé d'impression 3D couche par couche (fig. 82) rejoue les incréments de croissance des coraux dont la lente minéralisation des squelettes permet à terme de construire les récifs. En effet, comme nous l'avons déjà esquissé, la technique de fabrication additive en argile permet de rendre perceptible ce qui est habituellement invisible à l'œil humain. Les microstructures, dont l'échelle réelle ne dépasse pas quelques microns, sont agrandies plusieurs dizaines de fois pour permettre une expérience sensible.



Figure 82 — Sculpture en cours d'impression : *Archive vivante*. *Partie 1 : Fragments coralliens* — Série *Corallium rubrum*. Juillet 2021, impression 3D, grès, 60 cm de haut env., Ateliers du Faire de la fondation d'entreprise Martell. Photographie personnelle.

384 Un magnifique contre-exemple peut être visité à Toulouse dans la chapelle des Carmelites.

Un autre paramètre a été important : la résolution. Ces techniques donnent à voir, traversent le corps des architectures coralliennes à une haute résolution. Mais, au demeurant, on ne voit que ce qu'il nous est possible de voir avec cette technique. Il m'a semblé intéressant de procéder à un jeu d'échelle. Le tout petit fragment, minuscule, devenait proportionnellement gigantesque, immense. Il répond à cette volonté d'une *attention*, d'une *attention au vivant* que nous souhaitons susciter. Il est devenu immense, il est devenu monument. Ce monument n'est pas habité, c'est le squelette d'un corail mort, celui d'une ruine.

La reproduction, bien que partiellement mimétique, a exigé une mise au point technique. L'impression 3D en argile est en effet utilisée pour produire principalement des objets vides, tels que des vases. Ainsi, nous avons poussé les limites de cette technique vers des géométries très particulières, complexes, qui sont celles des squelettes des coraux. La mise au point de ces sculptures a pris le temps de trois résidences artistiques, au 8 FabLab de Crest et à la Fondation d'entreprise Martell (ville de Cognac). Bien des explorations plastiques restent en suspens, et bien des possibilités esthétiques s'ouvrent avec ces premières recherches.

Ainsi comprises, les technologies de fabrication additive dites d'impression 3D ne répliquent pas un objet par son fantôme numérique. Elles tracent plutôt un chemin couche par couche, dont la matérialité est à chaque fois singulière. L'une des mises en visibilité de ces traces matérielles peut être rendue perceptible dans l'épaisseur des couches qui dévoile le fonctionnement de ce procédé de fabrication³⁸⁵. Dans les études esthétiques sur la techniques, le terme d'appareil peut nous apporter un éclairage tout à fait pertinent sur notre étude. En effet, Anthony Masure évacue le terme de dispositif technique pour lui préférer celui d'appareil. Un appareil, dans son sens fort, tel que décrit par Moholy-Nagy et Walter Benjamin, permet de l'imprévisibilité dans la production des objets et donc de l'invention technique. Anthony Masure insiste sur la notion de réglage comme un ensemble de « jeux » et de « paramètres » avec lesquels les designers peuvent travailler. « En insérant du jeu au sein des objets techniques, le réglage permet d'accéder à une conscience des opérations³⁸⁶. » Dans notre cas, tel qu'on le voit dans la **figure 83**, deux réglages d'impression sont accessibles directement sur l'interface de la machine : le réglage de la vitesse d'extrusion et le réglage de la vitesse d'impression, qui sont autant de paramètres avec lesquels travailler.

385 L'imprimante utilisée permet notamment de jouer manuellement sur plusieurs paramètres tels que la vitesse d'extrusion, la vitesse de déplacement et l'épaisseur des couches.

386 Anthony MASURE, *Le Design des programmes : des façons de faire du numérique*.



Figure 83 — Photographie des réglages présents sur le contrôleur de la machine d'impression 3D en argile conçue par le designer Olivier Van Herpt.

De plus, la machine³⁸⁷ conçue par Olivier Van Herpt que nous avons utilisée avec le designer spécialisé en impression 3D grand format Guillaume Barbareau, pour faire les séries *Archives vivantes*, *Forêt animale*, *Émergence* et *Rubrum* (visible dans le cahier d'images) est une machine à environnement ouvert, c'est-à-dire que l'opérateur peut travailler avec la machine, de sorte qu'il s'agit d'une technique de sculpture assistée comme nous pouvons le voir dans la **figure 84**. L'environnement ouvert permet d'intervenir sur la sculpture en cours d'impression et de travailler avec l'appareil de fabrication additive.

387 Imprimante d'impression 3D en argile sur châssis delta avec un réservoir à piston mécanique d'une capacité de 18 litres en extrusion directe (sans système de rétractation), piloté par une Smoothie board avec contrôle des vitesses d'extrusion et de déplacement manuel à l'aide de boutons variateurs de fréquence qui définissent la vitesse de poussée du piston mécanique ainsi que la vitesse de déplacement de la tête d'impression.



Figure 84 — A. Photographie de l'imprimante 3D en argile (type Delta) conçue par Olivier Van Herpt au 8FabLab de Crest (Drôme) B. Photographie de gestes en cours d'impression d'un fragment de la pièce Archive vivante, Fragments coralliens : *Caryophyllia clavus*.

L'authentification peut être aussi comprise dans la manière dont le corail fait lui-même monument et architecture : c'est l'idée au fond que l'artefact n'est pas chose humaine. Les artefacts collectés dans l'archive en ligne peuvent alors être appelés *architectures animales*. Cette autre réalité peut amener une forme de désarroi intéressante entre la forme produite et ce que l'on en perçoit : qu'est-ce donc ? Il demeure un doute quant à la nature de l'artefact produit qui nous semble intéressant. Qui est l'auteur de ces sculptures ? Le tomographe ? Les coraux ? L'artiste ? La machine d'impression 3D ? Cette notion n'a pas de sens ici. L'auteur n'existe plus.

Un autre travail de recherche plastique a été mené autour de petites structures présentes dans les tissus et le squelette des coraux, ces derniers étant appelés sclérites, et qui ont retenu mon attention en tant qu'éléments fondamentaux pour la croissance du corail. Ce travail sera l'objet la prochaine partie, après le cahier d'images qui suit maintenant et qui revient sur les réalisations en céramique menant à la série *Archives vivantes*.

Cahier d'images

Le cahier d'images qui suit présente les pièces artistiques réalisées dans le cadre du projet Corallum Fabrica lors de diverses résidences en lien avec l'impression 3D argile.



01



02



03



04



05



06



07



08



09



10



11



12



13



14



16



15





18

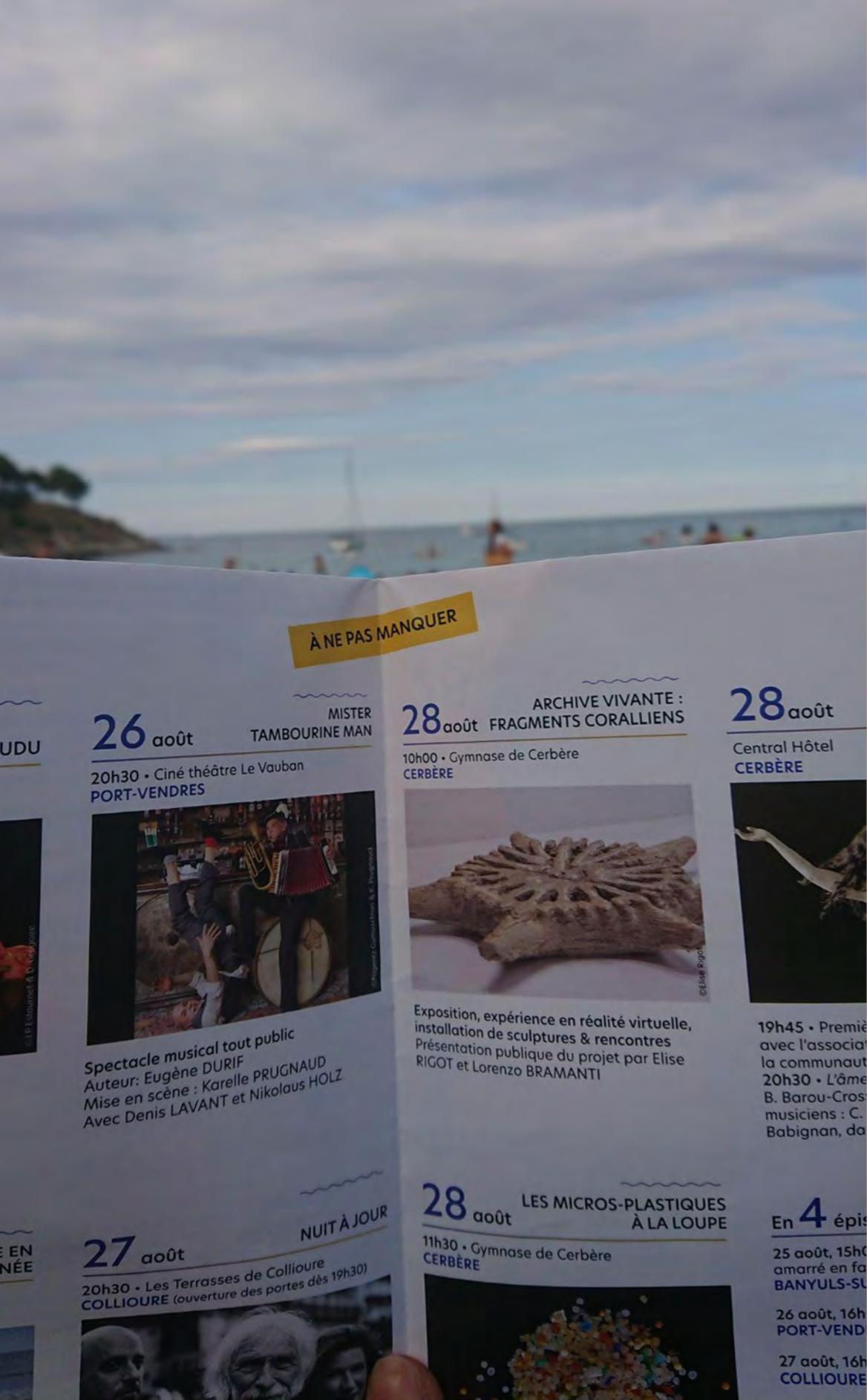


19



20







24



25



26



27

1. Vases *Rubrum*, 2021, Impression 3D, grès. Pièces réalisées aux Ateliers du Faire de la fondation d'entreprise Martell

2. *Archive vivante, Fragments coralliens : Lophelia pertusa*, 2021, impression 3D, grès. Pièce réalisée au 8Fablab de Crest, 31×28×9 cm

3. *Archive vivante, Fragments coralliens : Mycédium okeni* n°1*, 2021, impression 3D, grès. Pièce réalisée au 8Fablab de Crest, 33×9×45 cm

4. *Archive vivante, Fragments coralliens : Mycédium okeni* n°1*, 2021, impression 3D, grès. Pièce réalisée au 8Fablab de Crest, 33×9×45 cm

5. *Archive vivante, Fragments coralliens : Mycédium okeni* n°2*, 2021, impression 3D, grès. Pièce réalisée au 8Fablab de Crest

6. *Archive vivante, Fragments coralliens : Lophelia pertusa*, 2020, impression 3D, grès. Pièce réalisée au 8Fablab de Crest, 31×17×9 cm

7. Photographie des pièces dans le four avant cuisson dans les Ateliers du Faire de la Fondation d'entreprise Martell, 2021

8. Photographie d'une étape de travail sur une pièce encore humide au 8FabLab de Crest, 2021

9. Photographie de la série *Forêt animale* réalisée en impression 3D argile aux Ateliers du Faire de la fondation d'entreprise Martell à partir de fragments de squelettes de coraux rouges de Méditerranée étudiés par Lorenzo Bramanti

10. Photographie d'une des émergences en porcelaine en cours de fabrication. Série de 3 sculptures autour du corail *Cyphastrea microphtalma*, Lamarck, 1816*, Ateliers du Faire de la fondation d'entreprise Martell

11. *Émergence*, 2021, impression 3D, grès. Pièce réalisée au 8Fablab de Crest.

12. *Archive vivante, Fragments coralliens : Deltocyathus crassiseptum* (Cairns 1999)*, (Ø original = 10 mm Ø sculpture = 350 mm). 2021, impression 3D, grès. Pièce réalisée au 8Fablab de Crest

13. *Archive vivante, Fragments coralliens : Deltocyathus crassiseptum* (Cairns 1999)*, (Ø original = 10 mm, Ø sculpture = 35 cm). 2021, impression 3D, grès, pièce réalisée au 8Fablab de Crest

14. Archives vivantes, Fragments coralliens : *Anthemiphyllia spinifera* (Cairns 1999)* Impression 3D, grès, 2021. Pièce réalisée au 8Fablab de Crest.

15. *Archive vivante, Fragments coralliens : Mycedium okeni**. 2021, impression 3D, grès, pièce réalisée au 8Fablab de Crest, 14×28×16 cm

16. *Archive vivante, Fragments coralliens : Caryophyllia cyathus* Ellis & Solander, 1786*, 2021, impression 3D, grès, pièce réalisée au 8Fablab de Crest

17. *Archive vivante, Fragments coralliens : Caryophyllia clavus**. 2021, impression 3D, grès, pièce réalisée au 8Fablab de Crest, Dimensions 16×16×18 cm ; 12×12×8 cm

18. *Sans titre*, Juillet 2021, impression 3D, grès, pièce réalisée aux Ateliers du Faire de la fondation d'entreprise Martell

19. Photographie de la série *forêt animale* réalisée en impression 3D argile aux Ateliers du Faire de la fondation d'entreprise Martell à partir de fragments de squelettes de coraux rouges de Méditerranée étudiés par Lorenzo Bramanti

20. Détail d'une photographie de la série *forêt animale* réalisée en impression 3D argile aux Ateliers du Faire de la fondation d'entreprise Martell à partir de fragments de squelettes de coraux rouges de Méditerranée étudiés par Lorenzo Bramanti

21. Détail *Archive vivante, Fragments coralliens : Caryophyllia cyathus** Ellis & Solander, 1786, Collection du Muséum national d'Histoire naturelle de la ville de Paris. 2021, impression 3D, grès, pièce réalisée au 8Fablab de Crest

22. Photographie du programme du *Petit Festival de la côte Vermeille*, première édition, Banyuls-sur-Mer, août 2021

23. à 26. Photographie de la mise en espace de l'exposition «Rituels pour architectures coralliennes», galerie ARCADE Design à la campagne® — Château de Ste Colombe en Auxois, juin 2022 (Invitation : Marine Hunot, Scénographie : Bérengère Ameslant)

27. Photographie dans les combles du château, Arcade pour l'exposition *Fiction-naire*. Au fond le film *L'expérience du tomographe* et devant une série de quatre *Archives vivantes*. Crédits : Arcade

Crédits : Ce travail n'aurait pas été possible sans l'accès à la zoothèque de la Collection scléreactinaire du Muséum national d'Histoire Naturelle de la ville de Paris (Isabelle Domart-Coulon et Magalie Castelin) Les noms d'espèces de coraux suivi d'une « * » indique un scan de spécimen appartenant au MNHN. Le MNHN est détenteur d'une partie des crédits pour cette raison. Pour retrouver les scans et les noms des espèces correctement référencés voir sur le site du projet :

<https://corallumfabrica.laas.fr>

Collaboration pour la production des impressions 3D argile : **Guillaume Barbareau et Elise Rigot**

Amoncellement et dissolution

Durant le mois de juillet 2021, j'étais en résidence artistique aux Ateliers du Faire de la fondation d'entreprise Martell. J'ai consacré une partie de ma résidence au sein de l'Atelier Verre, en collaboration avec les artisans verriers Laetitia Andrighetto et Jean-Charles Miot. J'ai proposé que nous élaborions une recherche sensible à propos de structures à la géométrie particulière présentes dans les squelettes et tissus des coraux, appelés sclérites. La forme de ces structures diffère selon l'espèce. J'ai choisi d'explorer les formes liées au corail rouge de Méditerranée, pour l'importance qu'il a eue dans l'histoire des peuples du bassin méditerranéen, et aussi parce que je me sens liée à la Méditerranée d'une façon intime.

J'ai pris connaissance des recherches sur les sclérites à deux moments différents : le premier, à la lecture d'un article, « *Block-by-Block and Layer-by-Layer Growth Modes in Coral Skeletons*³⁸⁸ », qui explicite les stratégies de croissance du corail. Ces stratégies sont doubles et complémentaires. Le corail croît couche par couche par le principe de biominéralisation et bloc par bloc par l'addition de petites structures calcites de quelques dizaines de microns présentes à l'intérieur du squelette (les sclérites). La forme des sclérites attise ma curiosité depuis le début du « projet corail ». J'ai eu l'occasion d'approfondir ce sujet en écoutant une conférence³⁸⁹ donnée pour l'événement scientifique du bicentenaire de Henri de Lacaze-Duthiers qui s'est tenu début juillet 2021 à Banyuls-sur-Mer. J'ai intégré par la suite le chercheur Daniel Vielzeuf (Directeur de recherche CNRS au sein du Centre Interdisciplinaire de Nanoscience de Marseille) aux échanges avec les verriers afin de partager les connaissances de nos domaines respectifs et de lancer la dynamique de collaboration autour de l'installation artistique. Pour Daniel Vielzeuf, une des zones d'importance se situait autour de la géométrie spécifique de ces structures, dont il a étudié la minéralogie³⁹⁰.

Les premiers stades de croissance du corail, en forme de tas, ont été le point de départ du travail appelé *Amoncellement dissolution*. Avec une piste relativement naïve de travail, je proposais au départ que nous travaillions à un amoncellement, qui serait petit à petit altéré afin de signifier l'acidification des océans sur ces structures calcaires, tel que proposé dans le croquis d'intention de la **figure 85**.

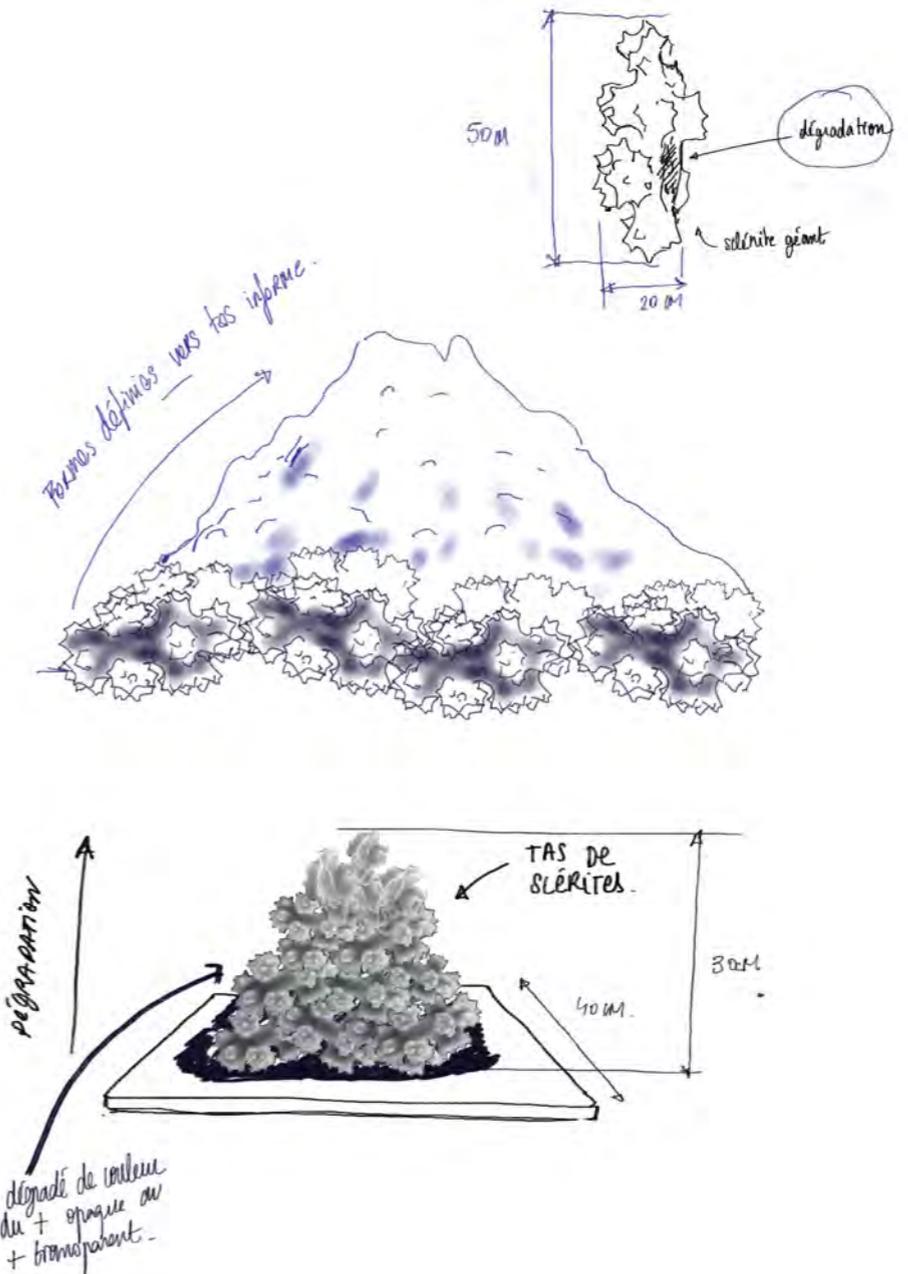


Figure 85 — Croquis d'intention à destination des artisans verriers pour préparer la résidence artistique à la fondation d'entreprise Martell : en haut, un croquis d'un sclérite altéré par l'acidification, au milieu une forme de tas imaginant un rendu avec à la base des formes bien délimitées et finies, puis une « dissolution » plus abstraite.

Le tas est l'une des formes de construction du vivant. Toutes les espèces de coraux possèdent deux types de structures biominérales : un squelette interne et des sclérites. Les sclérites sont de petits grains de calcite présents dans les tissus vivants entourant le

388 PERRIN, J. et al. Block-by-Block and Layer-by-Layer Growth Modes in Coral Skeletons. In : *American Mineralogist*. 2015. Vol. 100, n° 4. p. 681695. Disponibilité : <https://doi.org/10.2138/am-2015-4990>

389 VIELZEUF, Daniel et Lorenzo BRAMANTI. De Henri de Lacaze-Duthiers à nos connaissances actuelles sur le Corail Rouge. Conférence grand public pour le bicentenaire de la naissance de Henri Lacaze-Duthiers à l'Observatoire océanologique de Banyuls-sur-mer. 2021.

390 Voir FLOQUET, Nicole et Daniel VIELZEUF. Mesoscale twinning and crystallographic registers in biominerals. In : *American Mineralogist*. 2011. Vol. 96. p. 1228-1237.

squelette³⁹¹. La manière dont le corail croît emprunte tout autant à la couche qu'au tas, à l'agrégat. Les coraux ont en effet deux manières de croître. La première se fait par succession de blocs (les sclérites), visibles à la **figure 86**, dans les premières semaines où s'opère la métamorphose de la larve (planula) en un organisme biominéralisé ensuite dans les tissus du corail.

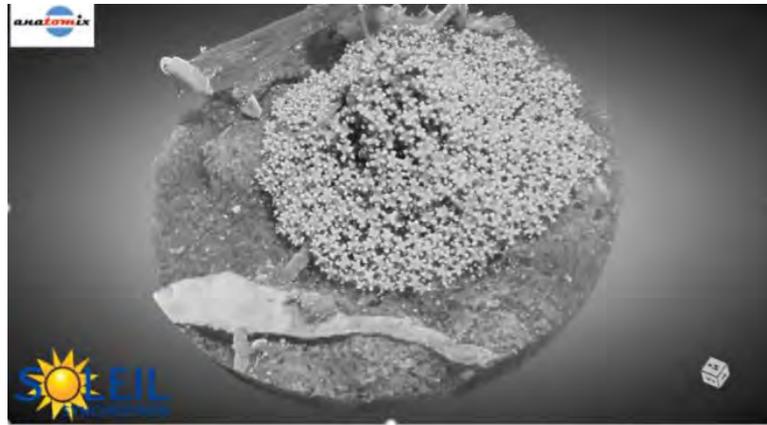


Figure 86 — Imagerie 3D d'un tas de sclérites réalisée au Synchrotron SOLEIL — CNRS — CEA Paris-Saclay. Crédit image : Daniel Vielzeuf.

La seconde se fait par addition de couches de matière minérale, couche par couche, au niveau du squelette. Cet informel (le tas de sclérites) au cœur de la forme (le futur squelette) nous semble intéressant à rendre perceptible et à interroger à un moment où ces stratégies de vie sont compromises par les effets des dérèglements climatiques. Il a en effet été montré que l'acidification des océans avait un impact sur la géométrie de ces sclérites³⁹². Ainsi, on peut voir **figure 87** deux sclérites isolés (A et B) soumis à une acidification (C et D). Les images obtenues en microscopie électronique à balayage révèlent une altération de la forme de ces sclérites dont on peut supposer qu'elle altère les fonctions de protection et de structuration du squelette des coraux.

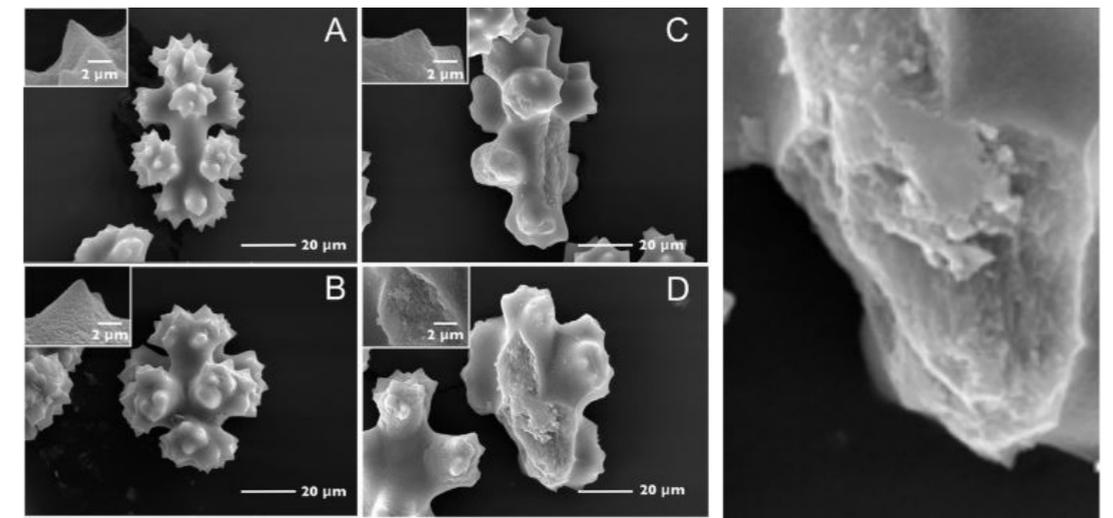


Figure 87 — Image obtenue au MEB de sclérites de corail rouge de Méditerranée. Comparaison des deux types de sclérites de coraux exposés à la pCO₂ naturelle et à l'acidification. (A) (B) sclérites en forme de cabestan et de croix dans des conditions naturelles, respectivement. (C) (D) sclérites en forme de cabestan et de croix dans des conditions acidifiées, respectivement, avec des signes évidents de calcification altérée. Dans les encarts, un détail pour chaque phase³⁹³. À côté : agrandissement d'un détail de la figure D.

La première piste d'exploration artistique avec les deux artisans verriers a été de travailler sur cette image liminaire, du tas, qui constitue la première forme que prend la larve de corail quand celle-ci débute sa minéralisation et qu'elle commence à s'accrocher à son substrat. Elle produit les sclérites à l'intérieur de ses tissus comme une forme de protection envers le monde extérieur. Cela est visible dans la **figure 86**, obtenue au synchrotron, où l'on peut voir au centre de la plateforme un agrégat de petites formes accolées les unes aux autres, formant un petit mont.

Nous avons testé différentes hypothèses pour matérialiser ce tas : d'une manière littérale, en assemblant diverses structures en verre, en travaillant sur des bulles, puis dans un travail de cloche. Après les tests de ces trois pistes, nous avons abandonné cette idée initiale de « tas » pour nous concentrer sur une piste plus délicate, consistant à créer un diptyque de deux pièces, pratiquement identiques, mais dont l'une aurait un traitement de surface un peu différent et une altération dans la forme. C'est donc l'hypothèse du miroir³⁹⁴ que nous avons privilégié. Pour qu'en miroir, les deux formes dialoguent, se répondent, et se révèlent l'une à l'autre.

Repasant de cette piste qui nous semblait plus convaincante, nous avons dans un premier temps exploré le registre formel des sclérites en essayant de reproduire leur géométrie particulière. En effet, Daniel Vielzeuf avait notamment bien pris soin de me décrire la cristallographie particulière de ces structures qui s'agencent sur un axe central, avec deux « tubercules » à chaque extrémité, puis deux séries de trois « tubercules », l'une étant

391 Traduction personnelle issue de l'article scientifique de PERRIN, J. et al., Block-by-Block and Layer-by-Layer Growth Modes in Coral Skeletons

392 BRAMANTI, Lorenzo et al. 2013. Detrimental effects of ocean acidification on the economically important Mediterranean red coral (*Corallium rubrum*). In : *Global Change Biology*. vol. 19, n° 6.

393 CERRANO, Carlo et al. Red coral extinction risk enhanced by ocean acidification. In : *Scientific reports* [en ligne]. Mars 2013. [consulté le 14 avril 2022] Vol. 3, 2013, p. 1457. Disponibilité : https://www.researchgate.net/publication/236047271_Red_coral_extinction_risk_enhanced_by_ocean_acidification

394 Cette figure du miroir nous vient des lectures de Vilém Flusser qui en fait un élément de méthodologie dans sa philosophie, notamment visible dans l'ouvrage de *Vampyroteuthis infernalis* présenté chapitre 4 de la thèse. Voir FLUSSER, Vilém. *Vampyroteuthis infernalis* : un traité, suivi d'un rapport de l'Institut scientifique de recherche paranaturaliste. Traduit de l'allemand par Christophe Lucchese. Bruxelles : Zones Sensibles Éditions, 2015. 64 p.

orientée à 180° par rapport à l'autre.

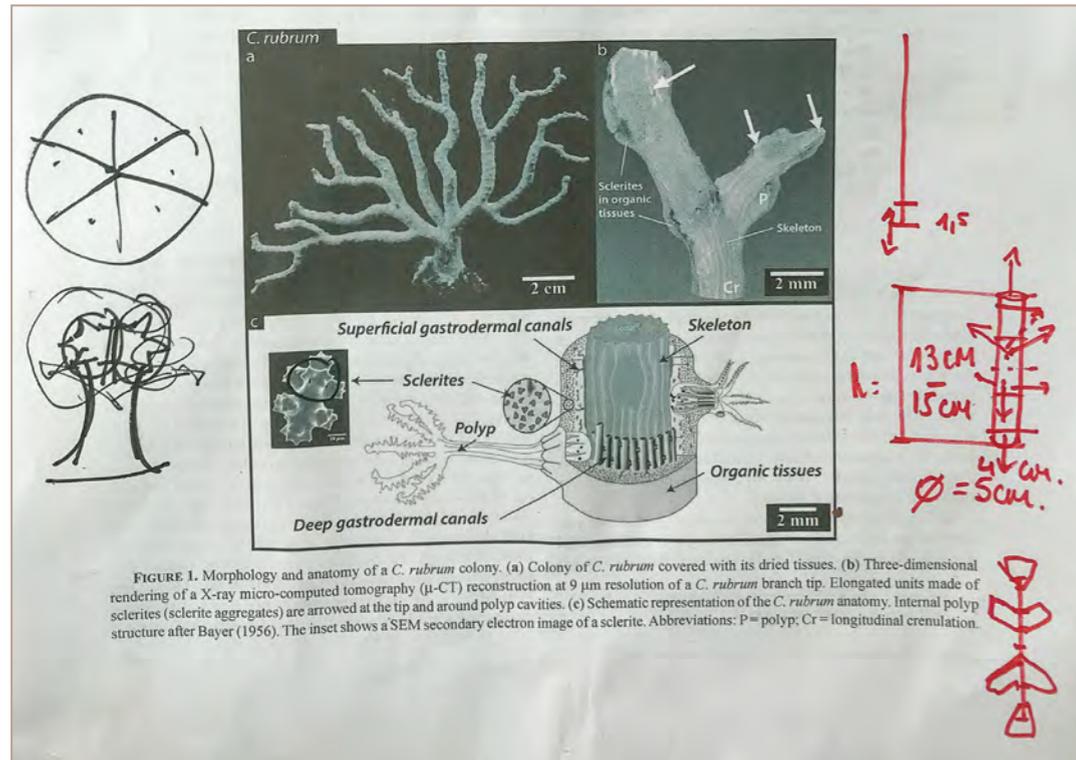
Après des essais non concluants de mises en forme de sclérites à partir d'un cueillage³⁹⁵ unique et avec un travail aux ciseaux, nous avons décidé de travailler sur un assemblage à huit pièces sur une ogive centrale. Cet assemblage à chaud, techniquement audacieux, exige de maintenir les huit « tubercules » dans un four à 600 °C et de faire l'assemblage à chaud, tout en maintenant la pièce entre chaque collage à une température suffisamment élevée pour que le verre n'explose pas. Les pièces en verre plein, non soufflées, sont lourdes et demandent une habileté particulière. Le dernier collage demande en outre un « passage de ponti », opération particulièrement délicate³⁹⁶ qui consiste à faire passer l'entièreté de la pièce de la canne principale à une canne secondaire à l'aide d'un collage spécifique afin de pouvoir coller le dernier « tubercule ».

Cahier d'images

Ce cahier d'images fait état du travail d'atelier et de réalisation des pièces en verre Amoncellement et dissolution.

395 On appelle cueillage l'action qui consiste à prélever le verre en fusion avec la canne.

396 L'une des pièces s'est brisée au « passage de ponti » durant la résidence.



01



02







05



06



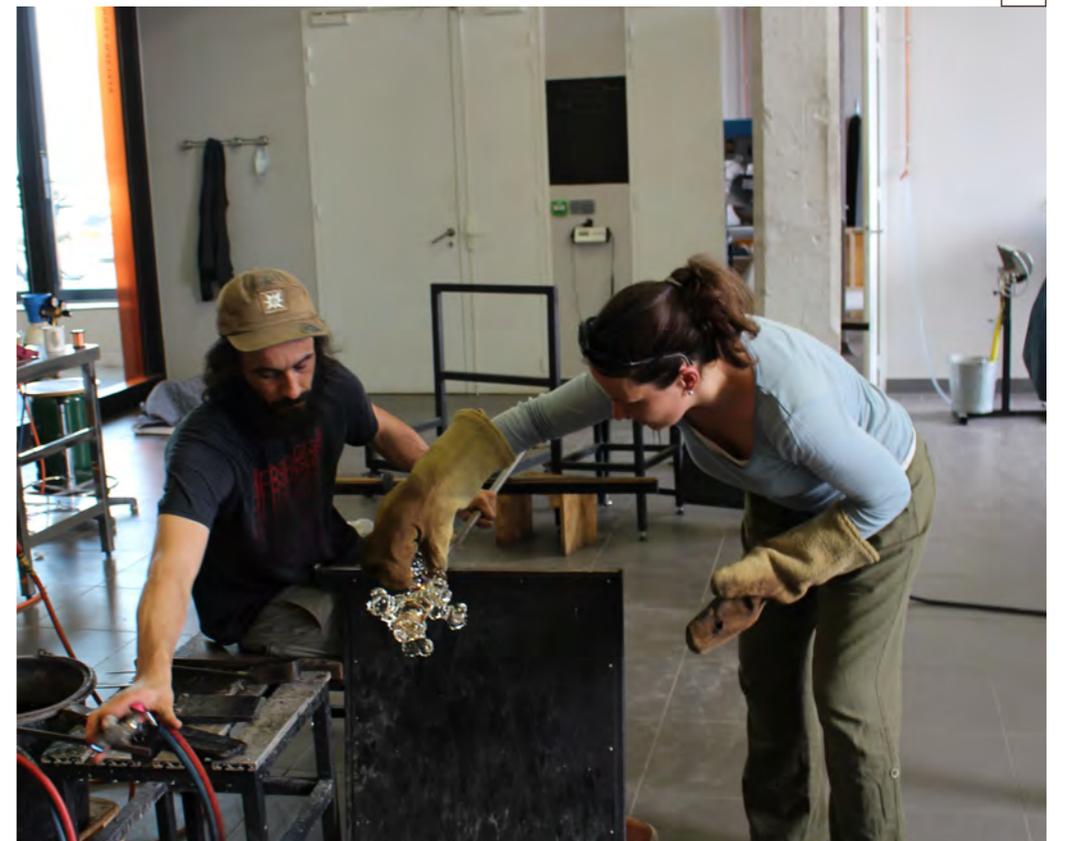
07



08



09



10



11



12

1. Photographie d'un dessin réalisé à la main sur l'impression d'un article scientifique (PERRIN, J. et al., Block-by-Block and Layer-by-Layer Growth Modes in Coral Skeletons, p. 681695) durant la résidence aux Ateliers du Faire de la Fondation d'entreprise Martell en juillet 2021 pour chercher la mise en forme des sclérites en verre.

2. Photographie d'une pièce de travail en verre réalisée aux Ateliers du Faire de la Fondation d'entreprise Martell en juillet 2021 avec les artisans verriers Laetitia Andrighetto et Jean-Charles Miot, socle en terre cuite et pièce en verre.

3. Photographie d'une pièce de travail en verre réalisée aux Ateliers du Faire de la Fondation d'entreprise Martell en juillet 2021 avec les artisans verriers Laetitia Andrighetto et Jean-Charles Miot.

4. Photographie d'une pièce de travail en verre réalisée aux Ateliers du Faire de la Fondation d'entreprise Martell en juillet 2021 avec les artisans verriers Laetitia Andrighetto et Jean-Charles Miot.

5. Photographie d'une pièce de travail en verre réalisé aux Ateliers du Faire de la Fondation d'entreprise Martell en juillet 2021 avec les artisans verriers Laetitia Andrighetto et Jean-Charles Miot.

6. Photographie d'une pièce de travail en verre réalisée aux Ateliers du Faire de la Fondation d'entreprise Martell en juillet 2021 avec les artisans verriers Laetitia Andrighetto et Jean-Charles Miot.

7. Photographie d'une pièce de travail en verre réalisée aux Ateliers du Faire de la Fondation d'entreprise Martell en juillet 2021 avec les artisans verriers Laetitia Andrighetto et Jean-Charles Miot.

8. Photographie de Jean-Charles Miot à l'atelier verre des Ateliers du Faire de la Fondation d'entreprise Martell en juillet 2021 en train de fabriquer l'une des pièces pour le diptyque *Amoncellement et dissolution*.

9. Photographie à l'atelier verre des Ateliers du Faire de la Fondation d'entreprise Martell en juillet 2021 avec Laetitia Andrighetto, Jean-Charles Miot et Élise Rigot.

10. *Amoncellement et dissolution*, photographie du diptyque en verre (env. 30 cm de long chacune) Crédit photo : Alexandre Gorin.

11. *Amoncellement et dissolution*, photographie d'une des pièces, travail de surface en poudre de verre pour matérialiser l'acidification des structures (env. 30 cm de long). Crédit photo : Alexandre Gorin.

12. *Amoncellement et dissolution*, photographie de l'installation durant l'exposition «Rituels pour architectures coralliennes» solo show à la galerie ARCADE Design à la campagne® — Château de Ste Colombe en Auxois, juin 2022. (Invitation : Marine Hunot, Scénographie : Bérengère Ameslant).

Finalement, la collaboration a permis de mener un travail autour d'un diptyque présentant deux sclérites en verre plein. La relation entre les pièces permet d'apercevoir des altérations sur l'une des pièces, dont le traitement de surface et la géométrie ont été modifiés afin de discuter de l'hypothèse de l'acidification sur ces structures calcaires prouvées dans plusieurs études³⁹⁷. Comment définir ces formes de productions ? Sont-elles des éco-cœuvres destinées à réveiller les consciences endormies ? Relèvent-elles de la médiation scientifique ou encore de sa vulgarisation ? Ne sont-elles pas plutôt des formes de création artistique assumant un savoir situé et interrogeant nos formes de sensibilité à l'égard des non-humains et du tout petit ? Les productions en verre mêlant science naturelle, art et artisanat ne sont pas nouvelles. Les frères Léopold et Rudolf Blaschka, dès la fin du xix^e siècle, reproduisent des animaux marins d'après les illustrations de l'artiste et naturaliste Ernst Haeckel avec qui ils entretiennent une relation privilégiée. Support d'enseignement en anatomie et en embryologie, la série *Développement* de la méduse *Aurelia aurita* (1881), dont on peut voir une photographie **figure 88**, permet par exemple d'appréhender huit stades de développement de la méduse bleue. C'est une alternative intéressante à l'observation habituelle des spécimens conservés dans l'alcool. Le verre, par sa transparence, est par ailleurs particulièrement adapté aux animaux invertébrés marins.



FIG. 7. Eight stages of development in the common jellyfish, with updated shapes, possibly based, in part, on Haeckel's Metagenesis und Hypogenesis von Aurelia Aurita (1881) [note 27]. Collection of Cornell University, inv. no. 335, acquired in 1885. (Photo: The Corning Museum of Glass)

Figure 88 — Huit stades de développement de la méduse commune, collection de l'Université de Cornell, acquis en 1885 réalisés par Léopold et Rudolf Blaschka³⁹⁸.

À la différence du travail des frères Blaschka, le diptyque *Amoncellement dissolution* ne tente pas de reproduire fidèlement un processus, ou une forme de la nature, mais interroge une hypothèse scientifique, celle de l'acidification des sclérites, afin de provoquer un sentiment esthétique. Ce sentiment est volontairement celui d'un lien envers une struc-

397 voir : BRAMANTI, Lorenzo, MOVILLA, Juancho, GURON, Maricel, CALVO, Eva, GORI, Andrea, DOMINGUEZ-CARRIÓ, C., GRINYÓ, Jordi, LOPEZ-SANZ, Angel, MARTINEZ-QUINTANA, Angela et PELEJERO, Carles, 2013. Detrimental effects of ocean acidification on the economically important Mediterranean red coral (*Corallium rubrum*). *Global change biology*. Vol. 19, n° 6. Carlo CERRANO, et al. Red coral extinction risk enhanced by ocean acidification. *Scientific reports*.

398 Figure extraite de l'article de REILING, Henri. The Blaschkas' Glass Animal Models: Origins of Design. In : *Journal of Glass Studies*. 1998. Vol. 40.

ture particulière issue du monde vivant, habituellement invisible à l'œil. Le travail à la tagliol, sorte de couteau de verrier, et à la baguette fine n'insiste pas sur une fidélité morphologique, mais cherche plutôt à incarner un sclérite, avec sa présence propre. Il tente de révéler ce que ce sclérite témoigne. Ici, ce sont les choix techniques : travail à la tagliol plutôt qu'au ciseau avec finition à la baguette, assemblage de huit pièces à chaud, deux cueillages avec un cœur coloré opaque et un extérieur transparent, dimensions de la pièce d'environ 30 centimètres de long, travail d'une des pièces avec un tubercule manquant et avec de la poudre de verre pour altérer la transparence du verre, etc., qui sont à l'origine de ce travail. Ce sont tous ces choix techniques (conscients et choisis) qui permettent de s'éloigner d'une reproduction stricte du sclérite pour peu à peu déployer un vocabulaire artistique singulier. C'est le langage propre du verre et ses particularités techniques qui permettent ce dialogue, ce miroir, ce diptyque, *Amoncellement et dissolution*, qui incarne pour nous ce que l'on peut nommer une forme de *connaissance sensible*.

Un art entre constat, dénonciation et remédiation

Dans l'ouvrage *Un art écologique : création plasticienne et Anthropocène*, l'historien et critique d'art Paul Ardenne développe la notion d'« éco-cœuvre ». Une éco-cœuvre est capable selon l'auteur de donner envie au spectateur d'agir, d'aider et de dépolluer la planète. Si Ardenne explique bien que l'ambition de son ouvrage n'est pas la création d'un label, mais plutôt d'un travail documentaire sur des formes de créations artistiques s'emparant de l'écologie, il me semble que la vision utilitariste et la surresponsabilité des individus que corrobore son écrit est critiquable. En effet, pour ce dernier, « pas d'éco-art qui pèse si l'esthétique ne se conjoint pas au pratique ou à l'utile ». Ardenne convoque également la figure d'un spectateur-acteur qui serait en mesure de s'engager grâce à l'expérience d'une « éco-cœuvre ». Si, bien entendu, le moment dans lequel nous nous trouvons exige que chacun d'entre nous prenne la mesure de ce qui nous arrive, le sous-entendu qui consiste à dire qu'il appartient aux individus responsables de traiter cette tâche est dangereux, car il dépolitise cette question. Au fond, si le travail de panorama opéré par Paul Ardenne est fort méritant et intéressant, la manière dont il l'analyse et les conclusions qu'il en tire ne sont pour nous pas les bonnes. Dans un passage, il écrit : « il est clair que l'éco-art le plus parlant [...] ne saurait s'incarner dans les formes plasticiennes conventionnelles de type images sages ». S'il se préserve de tout gigantisme allant à l'encontre de ce que serait selon lui une œuvre d'art écologiquement produite, Ardenne attend de l'éco-art et de ses éco-cœuvres qu'il soit à même de « scandaliser » le « spectateur-acteur ». Dans son entreprise qui tend à rechercher de nouvelles manières de faire art, Ardenne écarte selon nous un point primordial. Les pratiques artistiques (et par extension de design) qui s'inscrivent dans ce temps anthropogénique peuvent prendre selon nous des formes tout à fait conventionnelles de l'art. Elles n'ont pas besoin de scandaliser, et elles ne doivent recevoir aucune injonction. Ces dernières peuvent nous permettre d'habiter autrement notre planète abîmée, mais elles ne sauraient le faire sur le mode de l'individualité et du fonctionnalisme (qui dépolitiserait notre objet d'étude).

Dans une tout autre démarche, l'ouvrage *Apprendre à voir : Le point de vue du vivant*, de l'historienne de l'art Estelle Zhong Mengual, propose de revisiter l'histoire de la peinture et les pratiques naturalistes féminines du xix^e siècle pour y déceler d'autres manières de donner à voir le vivant. Il s'agit de proposer un « style d'attention non moderne au vi-

vant³⁹⁹.» Que ce soit dans la manière dont Martin Johnson Heade peut peindre comme des visages les orchidées, ou dans la façon dont les femmes naturalistes ont étudié pendant des années les interrelations entre la faune et la flore de leurs jardins, Mengual nous donne à voir la façon dont notre appareil critique influence grandement notre manière de juger et d'apprécier une œuvre d'art où sont représentés les vivants qui peuplent avec nous notre milieu. Pour Mengual, « [a] pprendre à voir [...] [est] un projet culturel collectif⁴⁰⁰. » Dans le geste de Mengual, que l'on peut qualifier de redécouverte, je trouve qu'il y a quelque chose d'important. Cette importance tient en ce que les alternatives existent, elles sont déjà là (ou ont existé par le passé) et nous pouvons nous en saisir pour nous encapaciter au lieu de rejeter notre passé occidental en bloc. Ainsi, reconnaître les manières de faire science de femmes non reconnues par l'Académie, ou de la même manière que l'historienne du design et curatrice Alexandra Midal⁴⁰¹ reconnaît comme une pratique pionnière du design l'aménagement domestique chez les femmes américaines avec le travail de Catharine Beecher⁴⁰², sont aussi des moyens de relire notre histoire. Ces approches réflexives nous permettent de créer à partir d'un nouveau sol, moins binaire, moins moderne sans doute, qui prend la mesure de l'importance de la culture pour étudier des sciences de la nature.

Il semble que l'importance réside plus dans le système de valeurs et dans le positionnement des artistes par rapport à l'environnement que dans une plastique spécifique qui relèverait d'un éco-art ou non. L'angle proposé par Anna Lowenhaupt Tsing, Nils Bubandt, Elaine Gan et Heather Anne Swanson dans *Arts of living on a damaged planet : Ghosts and monsters of the Anthropocene* (2017) nous semble plus juste, à savoir un art qui nous aide à vivre et mourir sur une planète abîmée.

Design situé et connaissances sensibles

La perception que nous nous faisons du monde est liée à notre expérience sensible. D'après le philosophe Baptiste Morizot, la crise écologique que nous traversons est le reflet d'une crise de la sensibilité⁴⁰³. Les autres « manières d'être vivant » nous seraient devenues étrangères. En effet, Morizot et l'historienne de l'art Estelle Zhong Mengual soutiennent une thèse qui nous semble pertinente : cette dernière étant que « la crise écologique actuelle, plus qu'une crise des sociétés humaines d'un côté, plus qu'une crise des vivants de l'autre, est une crise de nos relations au vivant⁴⁰⁴. » Ce que les auteurs entendent par une crise de nos relations au vivant concerne notre sensibilité à l'égard des vivants, à savoir les formes d'attention aux vivants et les modes de relations qui nous lient aux vivants aujourd'hui. Ainsi, « la crise de la sensibilité au vivant équivaldrait dans un

399 ZONG MENGUAL, 2021. Estelle. *Apprendre à voir*. Arles : Actes Sud, p. 240.

400 Estelle ZONG MENGUAL, *Apprendre à voir*

401 Alexandra MIDAL, *Design : introduction à l'histoire d'une discipline*.

402 BEECHER, Catharine Esther et Harriet BEECHER STOWE. 1869. *The American Woman's Home: or, Principles of Domestic Science; being a guide to the formation and maintenance of economical, healthful, beautiful, and Christian homes*. New York : J. B. Ford.

403 MORIZOT Baptiste. 2020. *Manières d'être vivant : enquêtes sur la vie à travers nous*. Arles : Éditions Actes Sud.

404 ZHONG MENGUAL, Estelle et Baptiste MORIZOT. L'illisibilité du paysage. In : *Nouvelle revue d'esthétique*. 2018. n° 2. p. 87-96.

premier temps à une crise de connaissance et de style d'attention portée sur le vivant⁴⁰⁵.» L'économiste et philosophe Frédéric Lordon reproche⁴⁰⁶ à cette école de « penseurs du vivant » de proposer un concernement (se sentir concerné par quelque chose), un souci et une attention à un problème d'une envergure bien plus grande, et qui est la destruction des conditions d'habitabilité de notre espèce par le système économique capitaliste⁴⁰⁷. Pourtant, la sensibilité n'est pas une « sensiblerie », en ce que l'appréhension de notre environnement est toujours médiée par nos sens et nos manières de percevoir notre milieu. Ceci est vrai de plusieurs manières. Une personne daltonienne par exemple n'aura pas la même expérience sensible du monde et ne verra pas les signes de notre habitat urbain de la même manière qu'une personne voyant tous les spectres colorés. Aussi, une personne qui serait plus sensible aux chants des oiseaux, parce qu'il en aurait acquis un certain savoir et une connaissance répétée par l'expérience et la sensibilité de ses oreilles, ne se conduira pas de la même manière à l'écoute des chants des oiseaux. Si le renouvellement de nos affects nous semble primordial pour changer notre système de valeurs dans la manière dont nous étudions le vivant, nous convenons néanmoins que cela ne suffit pas. La recherche d'une nouvelle sensibilité ne peut pas faire argument d'autorité pour les uns, quand d'autres continuent des actions écocides et destructrices de nos environnements. Dans notre cas, pour le « projet corail », il s'agit plus que de se sentir concerné et attentif à cette question ; il s'agit de voir en quoi cette attention et plus généralement les questions posées par l'anthropocène changent les manières de faire de la recherche scientifique aujourd'hui. Il s'agit de prendre la mesure de la puissance esthétique dans ce champ, qui ne rend pas simplement les recherches « jolies », « attractives », mais en transforme la nature, ce sont devenues des connaissances sensibles qui permettent de faire de la science comme un commun partageable. Il nous semble en effet que les pratiques scientifiques peuvent participer à ce renouvellement de nos relations aux vivants, que ce soit dans les manières de les percevoir, de les comprendre ou encore les concepts qui nous servent à les étudier. À titre d'exemple, citons un passage où la biologiste américaine et pionnière des mouvements écologistes, Caroline Carlson, raconte la formation de la Lune dans son ouvrage *La mer autour de nous*. Dans ce passage, les images, et donc l'imaginaire cultivé par la biologiste importent dans la façon dont la connaissance de la formation de la Lune va être reçue. La Lune n'est pas seulement un satellite de notre planète, elle est un morceau de l'océan, projeté dans l'espace et toujours relié à lui.

« Lorsque le lecteur se trouvera de nuit sur une plage, contemplant le reflet clair de la Lune projeté sur l'étendue de l'eau et pensant à son influence sur les marées, il voudra bien se rappeler qu'elle a pu naître d'une grande vague composée de matières terrestres projetées dans l'espace et que, s'il en a bien été ainsi, l'événement a contribué beaucoup à la forme prise par les bassins océaniques et par les continents tels que nous les connaissons⁴⁰⁸. »

405 ZHONG MENGUAL, Estelle et Baptiste MORIZOT, L'illisibilité du paysage, p. 87-96.

406 LORDON, Frédéric. Pleurnicher le Vivant. *Blog du Monde Diplomatique* [en ligne]. 29 septembre 2021. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <https://blog.mondediplo.net/pleurnicher-le-vivant>

407 Il ne fait d'ailleurs pas référence au travail de Donna Haraway qui lie dans son étude l'Anthropocène au Capitalocène.

408 CARSON, Rachel L. 1954 [1951]. *Cette mer qui nous entoure*. Édition hors commerce, Club du Meilleur Livre. p.16-17.

Il y a selon nous un effort de traduction, ou du moins un dialogue à opérer pour que les apports des pratiques contemporaines des sciences puissent prendre place dans la culture, c'est-à-dire devenir objet de discussion, de parole. Je fais l'hypothèse dans cette thèse qu'une approche hétérogène, protéiforme, qui interroge notre sensibilité à l'égard des vivants peut se faire à l'endroit même de la recherche académique, et que c'est en proposant des formats hybrides prenant place pour la recherche scientifique et pour les citoyens que nous pouvons proposer d'autres modalités de relations aux vivants. L'archive peut être l'une de ces formes. Bien entendu, le projet expérimental que nous menons n'est que le début de ce que nous pouvons imaginer pour aller dans ce sens. Ensuite, ce projet expérimental ne s'applique pas à n'importe quel contexte, et il est en ce sens un projet de design situé. Par contre, la volonté de créer des connaissances sensibles à partir d'un travail de terrain où les designers sont invités à travailler de concert avec les scientifiques nous semble opérante et applicable à d'autres contextes de recherche.

La connaissance scientifique s'est construite sur l'éviction du sensible⁴⁰⁹. Dans la construction de la notion d'objectivité scientifique : il y a une opposition⁴¹⁰ entre la connaissance scientifique issue de la science expérimentale d'une part et d'autres formes de connaissances non scientifiques, du domaine du sensible d'autre part. Il semble pourtant que nous ayons aujourd'hui besoin d'incarner des formes de savoir à travers des médiums sensibles. Ces formes de savoirs faisant appel à l'expérience et à nos organes percepteurs rendraient compte de la manière de vivre et de mourir d'organismes actuellement menacés par le réchauffement climatique et les effets de l'Anthropocène. Si la crise environnementale est une crise du sensible et que la connaissance scientifique s'est elle-même construite sur une éviction du sensible, *alors ce que nous traversons est à mon sens une crise culturelle*. Il faut ainsi replacer les pratiques scientifiques dans une approche culturelle. « Remettre la science en culture » pour reprendre les termes du physicien Jean-Marc Lévy Leblond⁴¹¹.

«Le problème alors devient celui de réinsérer la science dans la culture, de “(re) mettre la science en culture”, comme nous disons en français, ce qui exige une modification profonde de l'activité scientifique elle-même⁴¹²».

Pour nous, ces formes de créations artistiques diffèrent de la pratique de la vulgarisation et de la médiation scientifiques (qui sont également des pratiques nécessaires pour travailler à une culture scientifique commune et partagée), car ce qui se joue se situe à l'intérieur des pratiques n'est pas une action réalisée après coup à partir d'une science déjà faite. Relevons que d'autres formes de savoirs issus de l'expérience existent dans d'autres formes de cultures, comme les savoirs issus des chants, des poèmes, des rituels, des mythes et des histoires des peuples autochtones. Dans les cultures autochtones, les connaissances sensibles à l'endroit du corail ne manquent pas⁴¹³. En donnant une autre percep-

409 Nous trouvons par exemple cette idée chez Isabelle STENGERS. *Une autre science est possible! Manifeste pour un ralentissement des sciences*.

410 Lorraine DASTON et Peter GALISON, *Objectivité*.

411 Nous ne nions pas ici qu'il existe bien une culture scientifique.

412 LÉVY-LEBLOND, Jean-Marc. *(Re) mettre la science en culture* : de la crise épistémologique à l'exigence éthique. 2018. In : *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*. Vol. 56, n° 56. p. 7-16

413 Davide TORRI, *The Coral Tree at the End of the World*.

tion et en envisageant, et dévisageant littéralement (puisque nous pouvons mettre notre visage dans les leurs) les architectures coralliennes, nous faisons l'hypothèse que ces dernières peuvent également relever d'une forme de témoignage de l'art de vivre et de mourir des coraux. Les récifs se construisent sur leurs propres ruines. Comment ferons-nous pour construire sur les ruines du capitalisme ?

Plus que de connaissances sensibles, il s'agit de provoquer des connaissances transformatrices dans le sens d'un *empowerment* citoyen et scientifique. Pour Stengers, « L'un des grands enjeux de notre temps c'est que le savoir soit transformateur, qu'il éveille l'imagination, qu'il rende le monde encore plus intéressant, qu'il désintoxique de la tristesse des “on sait” et des “ce n'est que”⁴¹⁴».

Au sein de *Corallum fabrica*, nous avons souhaité donner une attention nouvelle au corail en insistant sur la manière de regarder ce dernier, et ceci de façon tout à fait littérale puisque nous avons utilisé des dispositifs de vision — un tomographe à rayons X — et des dispositifs de perception — un casque de réalité virtuelle qui nous met en capacité de voir ce que nous ne pouvons habituellement pas percevoir. Au-delà de ces appareils techniques, ce qui nous semble être le premier appareil à avoir pour nous consacrer à la manière de porter une attention au monde est un appareil culturel. Stipulons dès maintenant que les instruments ne suffisent pas, que donner à voir ne suffit pas, et qu'il y a une intention de départ qui compte et tient au fait de considérer l'objet d'étude non pas comme un objet justement, mais plutôt comme un sujet. Ainsi, nous envisageons le corail, dans le sens où nous pouvons le dévisager, lui donner un visage, car le travail sur les échelles que nous menons fait qu'il nous apparaît à la taille d'un égal, et nous essayons de brouiller la distance que les études naturalistes ont pu cultiver jusqu'alors.

Aussi, il nous semblait important de pouvoir raconter son histoire propre et comment cette histoire constitue une forme de mémoire, une trace, dont on ne cherche pas de symbolique, mais que l'on cherche plutôt à voir comme une architecture animale. Nous aurions donc à apprendre du corail et la manière de vivre et de mourir du corail pourrait nous devenir plus familière. Il est intéressant de noter que les squelettes de coraux sont eux-mêmes des archives environnementales pour les paléoclimatologues qui peuvent y déceler des conditions climatiques qui racontent le temps de leur vivant.

Hériter du corail, c'est hériter de mythes à son endroit, c'est hériter de leur disparition, c'est hériter des architectures animales dont la biominéralisation constitue l'une des premières formes de construction animale apparue au premier stade de développement du vivant sur Terre. De la sorte, hériter du corail aujourd'hui, c'est aussi à mon sens comprendre la tâche que nous avons, qui ne doit plus se positionner de manière patriarcale : nous ne sauverons pas les coraux. Nous devons, je crois, accepter cet héritage et ce dernier peut nous sembler douloureux. Cette douleur doit s'accompagner d'un acte de remémoration collective, car en réalité, c'est un traumatisme que nous vivons. Pour celles et ceux qui se sentent reliés à ces formes d'organismes, une partie de soi est en train de disparaître : c'est une mutilation. Et de manière plus pragmatique, pour celles et ceux qui dépendent directement de ces écosystèmes pour se nourrir, c'est une fin annoncée. Si l'archive est un geste que l'on peut qualifier de rationnel, qui consiste à classer, ordonner, etc., penser le format de l'archive peut au contraire faire de nos moyens d'archiver des médiateurs de connaissances sensibles. Les récifs tels que nous les avons connus vont disparaître, mais

414 Isabelle STENGERS, Marin SCHAFFNER et Émilie HACHE. *Résister au désastre : dialogue avec Marin Schaffner*.

nous pouvons honorer leur mémoire et nous nous devons de laisser les récifs prendre d'autres allures, leur laisser le temps de devenir des récifs du futur.

5. Discussions et perspectives

Le contexte, les hypothèses et résultats du projet *Corallum Fabrica* ont occupé ce présent chapitre. Dans cette partie, je souhaite discuter certaines notions et soulever les limites du projet afin d'ouvrir de futures perspectives pour des projets de recherche interdisciplinaires mêlant biologie marine, technologie et design.

Je propose de voir l'archive comme un format de recherche à part entière, permettant de construire un commun à même de fédérer une communauté scientifique étendue. Cette communauté est étendue dans le sens où elle n'implique pas seulement les chercheurs, mais également les autres parties prenantes des situations de recherche, humains et non-humains. J'aborde également la notion de *restorative design* proposée par la conservatrice principale du département d'architecture et de design au Museum of Modern Art de New York, Paola Antonelli, afin d'étendre la perspective de nos recherches dans une dimension plus généraliste pour la recherche en design. Aussi, j'interroge la manière dont des projets de design peuvent permettre de raconter d'autres histoires sur les écosystèmes marins à même de créer d'autres formes de relations avec ces derniers. Enfin, nous imaginerons comment la méthodologie du projet *Corallum Fabrica* permettra d'envisager de nouvelles synergies entre océanographie et design, à inscrire dans des dimensions plus larges.

L'archive comme format de recherche en design

Dans une perspective plus généraliste, dépassant la numérisation des objets d'histoire naturelle, l'archive comme format de recherche et donc comme forme en soi à convoquer, à réimaginer, à redesigner s'est révélée un format particulièrement intéressant à travailler pour la recherche en design. Dans une communication intitulée « Le design au risque de l'archive », Anthony Masure souligne le paradoxe selon lequel « [t]ravailler la forme de l'archive menace sa stabilité, mais ne pas le faire condamne ses ouvertures potentielles⁴¹⁵. » Le travail des designers peut s'attacher alors à ouvrir les potentiels de l'archive. Anthony Masure écrit :

« [c]ette notion d'archive "vivante", mobile, nous semble d'autant plus prégnante lorsque se pose la question de l'aspect de sa structure et de son fonds, car tout travail de design graphique engage un déplacement quant à l'original⁴¹⁶. »

La forme de l'archive questionne ce que l'on choisit d'archiver, d'exclure, de circonscrire : un document, une photographie, un objet, etc. Plus loin, le design de l'archive peut se révéler être un outil puissant face à la rétention d'informations. Le travail de l'artiste Allahyari illustre cette utilisation des technologies de stockage du numérique comme

415 MASURE, Anthony. Le design au risque de l'archive. *Site d'Anthony masure* [en ligne]. Communication dans le cadre des journées d'études « Documenter la production artistique : données, dispositifs, usages ». Nice, Villa Arson. 4-6 juin 2018. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <https://www.anthonymasure.com/conferences/2018-06-design-risque-archive-nice>

416 Anthony MASURE, Le design au risque de l'archive.

une forme de pouvoir alternatif. Ainsi, les institutions, qui habituellement détiennent le pouvoir de l'archive, ne sont plus les seules garantes de leur diffusion ou de leur écriture. Il s'agit de provoquer par l'archive un contre-pouvoir archivistique. De la même manière, l'ouverture en écriture du projet d'archive *Corallum Fabrica* entend encourager un pouvoir archivistique distribué et partagé. Cette ouverture, en revanche, reste à activer et demande à être accompagnée pour prendre toute son autonomie et révéler son caractère politique. Ce travail d'écriture collaborative constitue l'un des prolongements de la thèse. Enfin, une réflexion sur les noms des coraux pourrait être menée. Apposer un nom latin sur des espèces habitant des mers où cette langue n'a pas d'usage nous semble être une manière violente de nommer les coraux. Si nous n'avons pas modifié ces noms au sein de l'archive, car ils sont utiles au travail taxonomique, nous aimerions travailler à cette question dans la suite de nos recherches. L'archiviste et chercheuse américaine Michelle Caswell montre dans son ouvrage *Urgent Archives Enacting Liberatory Memory Work* comment les théories et pratiques actuelles de l'archive sont *oppressive by design*, c'est-à-dire qu'elle véhicule une oppression dans la façon dont elles sont conçues. Michelle Caswell, par une expérience ethnographique auprès de diverses communautés et une expertise dans les archives numériques, engage les archivistes à « perturber la suprématie blanche et l'hétéropatriarcat, au-delà des solutions archivistiques libérales standard d'une collecte plus diversifiée et d'une description plus inclusive⁴¹⁷. » En effet, selon l'autrice, l'archive ne se rattache ni au passé ni au futur, mais elle est un moyen de mise en œuvre du changement politique dès maintenant.

Je soutiens que choisir ce qui s'archive, comment cela s'archive, à côté de quels autres documents, selon quelles nomenclatures et selon quelle diffusion engage un processus créatif et peut participer autant à un renouveau dans les pratiques artistiques que contribuer à un besoin de mémoire depuis des perspectives très diverses : communautaires, féministes, *queer* ou non-humaines. Ce ne devrait pas être un acte réservé aux seules institutions et aux archivistes.

Utiliser l'archive comme moyen d'engager une communauté de recherche s'est révélé être une pratique non isolée. En atteste le récent projet *Ocean Archive* mené par la *TBA21 Academy* dirigée par Markus Reymann. Le projet s'inscrit dans l'initiative de l'*United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030)* plus communément appelé la « décennie de l'Océan » soutenue par l'UNESCO. Le projet numérique est une plateforme proposant à la fois une archive (dans le sens où le site web collecte divers documents et iconographies formant un commun visualisable), un cadre pour la recherche collaborative et un espace pédagogique.

« Conçues comme un dispositif de narration et de pédagogie, les archives traduisent les connaissances actuelles sur l'océan en un langage commun qui nous permet de prendre de meilleures décisions pour des politiques à mettre en œuvre de toute urgence⁴¹⁸. »

417 Voir CASWELL, Michelle. 2021. *Urgent Archives: Enacting Liberatory Memory Work*. Londres : Routledge. « to disrupt white supremacy and hetero-patriarchy beyond the standard liberal archival solutions of more diverse collecting and more inclusive description. » [traduction personnelle].

418 Voir Dive Into Stories. *Site de Ocean Archive* [en ligne]. [consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <https://ocean-archive.org/> « Designed as a storytelling and pedagogical tool, the Archive translates current knowledge about the Ocean into a shared language that enables us to make better decisions for urgently needed policies. » [traduction personnelle]

Dans la communauté *Océan Archive*, les pratiques artistiques sont convoquées pour améliorer la connaissance du public sur l'océan et les enjeux qui y sont associés. Des événements, conférences en lignes, discussions et partages de pratiques sont proposés. Le regroupement d'acteurs du monde de l'art venant de différentes parties du globe permet de donner du poids et de l'écho aux recherches respectives des différents acteurs de ce réseau.

Cette manière de faire de la recherche en réseau et à l'aide d'un outil de structuration de communautés est à l'image de l'initiative JOGL. L'acronyme signifie *Just One Giant Lab*⁴¹⁹ et insiste sur une vision collective de la recherche. JOGL propose la création de communautés internationales à travers l'utilisation d'une plateforme collaborative afin de promouvoir une science participative et non nécessairement académique⁴²⁰.

Ces deux initiatives rapidement exposées permettent d'affirmer selon nous qu'il existe sans doute une multitude d'approches similaires, qui tentent de partager les savoirs et créer des communautés de recherche. Cette documentation et diffusion des images et objets de la science, et notamment des sciences naturelles, constituent des enjeux importants que le format de l'archive (ou du Codex) permet d'interroger. Proposer un projet de construction d'une archive interroge également notre imaginaire. De son côté, la science peut s'occuper des images qu'elle produit et de leur mode de diffusion. De l'autre, les designers peuvent participer à cette ouverture de l'imaginaire scientifique.

Dans un autre registre, le projet Gravity Machine mené par Manu Prakash, professeur associé de bio-ingénierie à Stanford, exprime également un souci d'ouverture de la recherche scientifique. L'équipe de Prakash cherche à étudier le mouvement des planctons dans les eaux océaniques. Avec la conception d'un microscope permettant de garder la mise au point sur un seul plancton et d'en étudier le mouvement dans un fluide, ils peuvent reconstruire la trajectoire de ce dernier. Ce qui m'intéresse, au-delà de cette étude, est l'espace « gallery » du site web consacré au projet visible **figure 89**. Les scientifiques du projet ont choisi de rendre accessible le mouvement de chaque plancton étudié aux citoyens et aux scientifiques du monde entier à travers cette forme d'atlas de la Gravity Machine.



Figure 89 — Capture d'écran du projet Gravity Machine développée par Manu Prakash au sein du Stanford Woods Institute for the Environment (Stanford University, États-Unis).

419 Search Projects | JOGL, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 6 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://app.jogl.io/search/projects>

420 L'un des porteurs du projet est en effet à l'initiative d'actions de biologie de garage ouvertes à tous, comme celles se tenant dans le *biohackerspace*, La Paillasse à Paris.

Je pense que les trois exemples pré-cités insistent sur un point qui nous paraît important : l'hybridité des formats proposés. Ces formats ne sont pas soit scientifiques, soit citoyens ou artistiques mais s'adressent selon nous à la fois à des citoyens et à des scientifiques. Cela peut sembler un point anecdotique à soulever, mais à mon sens il n'en est rien. En effet, la spécialisation du savoir peut avoir pour effet de cloisonner les pratiques scientifiques dans un monde à part, séparé du monde public. C'est peut-être là un rapprochement avec les pratiques artistiques, qui, si elles rendent compte d'une expérience tout à fait singulière du monde, comme c'est le cas des pratiques scientifiques, sont dans la plupart du temps exposées aux yeux de tous. Ces temps de monstration ont lieu durant les représentations, expositions et événements qui marquent la vie culturelle artistique. Je pense que ces espaces de monstration sont nécessaires aux pratiques scientifiques aujourd'hui et que ces espaces ne doivent pas nécessairement être des espaces d'illustration ou vulgarisation, mais que leur forme même peut participer à la science en train de se faire. La perception des activités scientifiques est importante. Nous ne devons ni ne pouvons nous permettre de mythifier cette dernière. Si elle est porteuse d'histoire et d'imaginaire, ces récits ne doivent pas être ceux d'une *hybris* et d'une toute-puissance de l'homme sur son environnement.

Je n'ai pas démontré à ce stade de l'étude si la systématisation de la tomographie à rayons X pour l'archivage des structures internes des coraux a permis de générer de nouvelles connaissances sur les coraux et leur environnement⁴²¹. Ce travail, qui pourra être mené dans un deuxième temps, demande d'améliorer la communication du projet afin que ce dernier soit connu de tous les spécialistes des coraux, pour qu'ils puissent s'emparer de ces données. La manière d'interagir avec ces données, grâce à un dispositif de réalité virtuelle utilisable par les scientifiques eux-mêmes, n'a pas non plus pu, faute de temps et de moyens humains, fait l'objet d'une étude approfondie. Cependant, nous pouvons noter que des usages prospectifs ont été soulevés par les scientifiques, tels que des simulations directement dans le casque, le relevé du nombre de branches, et l'utilisation de vecteurs en 3D.

Je pense que nous tenons une piste intéressante pour penser conjointement des considérations d'ordre esthétique avec des questions d'ordre plus scientifique. En outre, porter une attention aux formes de la science et à ce qu'elle peut générer en guise d'expérience poétique et politique pour le public paraît être un terrain fertile de recherche.

Vers un restorative design

Dans un plaidoyer virulent contre la discipline, *Design pour un monde réel*⁴²², le designer et enseignant Victor Papanek écrit : « ce que les architectes, les designers industriels, les planificateurs, etc., pourraient faire de mieux pour l'humanité serait de cesser complètement leur travail⁴²³. » Cette « race fort dangereuse », les designers, est pointée du

421 Dans le cas de *Corallum fabrica*, je fais en effet l'hypothèse que l'utilisation de nouveaux instruments de vision d'une part et de perception d'autre part permettent des modes d'affordances qu'il nous reste encore à étudier. Pour cela, il sera nécessaire de confronter les images issues du tomographe d'une part et la manipulation VR d'autre part à un ensemble de scientifiques afin de tester cette hypothèse.

422 PAPANEK, Victor. 1974. *Design pour un monde réel*. Paris : Mercure de France.

423 PAPANEK, Victor. *Design pour un monde réel*

doigt par Papanek pour sa passivité et son acceptation des règles du capitalisme. Papanek ajoute cependant : « le design peut et doit devenir un moyen pour les jeunes de participer à l'évolution de la société », et souligne qu'« [e]n tant que designer[s] socialement et moralement engagés, nous devons répondre aux besoins d'un monde qui est au pied du mur. L'horloge de l'humanité marque toujours minuit moins une. » Ainsi, il convient d'arrêter une certaine activité du design considérée comme hautement nuisible. Pour l'historien Jocelyn de Noblet, « [l]e designer n'est pas seulement un concepteur d'objets, il est aussi un coordinateur, il peut même dans certains cas recommander la suppression d'objets qui peuplent de nombreux environnements et qui sont inutiles ». Ces positions sont réactualisées dans les recherches du philosophe du design Tony Fry⁴²⁴. Ce dernier propose une « élimination par le design » c'est-à-dire une élimination de tout produit n'entrant pas dans le cadre d'une habitabilité du monde sur le long terme — d'un point de vue humain et non humain. Selon Fry, *l'élimination by design* peut rompre avec la fétichisation du design, et dépasser les divisions dysfonctionnelles des travaux égocentriques ainsi que la passivité des prestataires de services⁴²⁵.

Il importe en effet que les designers interrogent leurs pratiques, méthodes et postures face à l'érosion de la biodiversité, comme le propose le *restorative design*. Appliquée au vivant, la réparation supposée est plutôt la recherche d'une nouvelle dimension de la vie⁴²⁶ et non un retour à un état d'équilibre antérieur. L'action de soin, de *care* du *restorative design* n'est pas une rectification ou une restauration à un état d'origine.

Le concept de *restorative design* a été proposé par Paola Antonelli pour signifier un ensemble de pratiques de design qui interrogent des manières d'habiter et de prendre soin de nos écosystèmes. Ces dernières étaient présentées lors de la vingt-deuxième triennale de Milan, commissionnée par Paola Antonelli en 2018, sous le nom *Broken Nature*. Contrairement à ce que l'on pourrait penser au premier abord, le *restorative design* n'est pas une stratégie de sauvetage qui conçoit les actions humaines comme supérieures et extérieures à leur environnement. Cette notion ne rejoue pas le dualisme entre nature et culture. Dans ce sens, le *restorative design* n'est pas « centré-humain », ainsi que le souligne Paola Antonelli, dénonçant par là même les acteurs du *design thinking* de promouvoir une vision du design « centré utilisateur », ne prenant littéralement pas en compte les autres qu'humains dans les scénarios d'usage. L'historienne et curatrice Paola Antonelli revient sur ce raté du design et insiste en écrivant qu'« [u]ne grande partie du design a été violente⁴²⁷. » Effectivement, la participation du design à une économie du désir d'abondance matérielle, critiquée depuis les années 1970, fait que le design s'inscrit dans un rapport violent à son environnement et participe fortement aux actions anthropiques et écocides. Ainsi, le *restorative design* est une tentative pour penser un design du *care* et de la réparation pour le moment particulier que nous traversons aujourd'hui. Incarner un tel *restorative design* nous place dans une posture particulière, car ce dernier ne vient pas solutionner nécessairement un problème ni proposer une innovation spécifique, mais

424 FRY, Tony. 2005. *Elimination by Design*. *Design Philosophy Papers*. Vol. 3, n° 2.

425 Une prolongation de cette réflexion peut être lue dans l'article de ÉLISE RIGOT et JUSTIN STRAYER Jonathan, Retour vers 1972 : rouvrir les possibles pour le design et l'économie face aux effondrements.

426 L'expression vient de CANGUILHEM, Georges. *Le normal et le pathologique*. Paris : Presses Universitaires de France, 1966. p. 122. Il affirme ainsi : « la maladie n'est pas une variation sur la dimension de la santé : elle est une nouvelle dimension de la vie. »

427 Voir ANTONELLI, Paola et Ala TANNIR. 2018. *Broken Nature*, catalogue de la XII Triennale di Milano., p. 27 : « Much design has been violent. » [traduction personnelle].

permet de repenser des modes de relation au monde. Depuis des relations potentiellement extractrices vers des relations de soin et de symbiogenèses. La perspective ouverte par un tel courant de design est immense. En effet, elle permet aux designers de s'emparer de nouveaux paysages et d'imaginer des dynamiques de projet nouvelles. Ces dernières impliquent des travaux de recherche futurs qui doivent être menés sur un design interespèces et une relation élargie à la notion d'habitat.

Je m'interroge à ce titre sur les limites de l'archive *Corallum Fabrica*. S'il apparaît qu'elle a des vertus tant sur les connaissances qu'elle contribue à découvrir, que sur l'ouverture d'une architecture du vivant aux citoyens, le fait qu'elle manque la représentation du corps mou, vivant, au profit du corps dur et mort des squelettes de coraux constitue une limite de ce projet, qui en ce sens ne renouvelle pas, ou du moins pas assez l'imaginaire et la perception que nous nous faisons de ces animaux marins. En effet, en rejouant les archives physiques de la zoothèque et en les médiant dans une expérience numérique dédiée, nous accompagnons le premier geste de l'archivage de ces squelettes. C'est pourquoi nous pensons qu'il y a de nombreuses actions qui restent à mener pour améliorer la perception corallienne.

D'autres histoires sur les écosystèmes marins

Aujourd'hui, la biologiste, historienne et philosophe des sciences américaine Donna Haraway permet de concevoir notre relation au monde comme une relation autant biologique que culturelle, à l'image des récifs coralliens. Cette façon de voir les choses, avec laquelle a été introduit ce chapitre (« désormais, nous sommes toutes et tous des coraux »), fait de notre condition celle d'une vie dans les ruines, condition similaire aux conditions d'existence coralliennes actuelles. Dans ces ruines, les coraux et leurs dynamiques biologiques deviennent des maîtres à penser. Ces derniers, qui vivent en colonies et en étroite adéquation avec des microalgues leur permettant de générer de l'énergie grâce à la photosynthèse, racontent une histoire du vivant coopérative et permettant une autre lecture de la théorie de l'évolution dont on ne connaît que trop les mauvaises dérives sociales consistant à calquer le système compétitif de la théorie de l'évolution comme une loi sociale. À rebours de cette vision du vivant, Haraway insiste sur un terme, « Sympoïèse » ; c'est un mot simple, écrit Donna Haraway, qui signifie « construire-avec », « fabriquer-avec », « réaliser-avec »⁴²⁸. La sympoïèse dépasse l'autopoïèse, et montre un système d'interdépendance et de relations à l'œuvre dans toute organisation vivante. Donna Haraway qualifie également ces assemblages symbiotiques d'« holobionte », reprenant là le terme utilisé par la biologiste écoévolutionniste Lynn Margulis. Margulis tourne le dos à une conception individualiste de la biologie constituée d'unités clairement délimitées telles que gènes, cellules, organismes, etc⁴²⁹. Dans l'ouvrage *Symbiotic Planet : A New Look at Evolution*⁴³⁰, Lynn Margulis explicite ses théories de l'évolution dont la symbiose (et le phénomène de

428 Donna HARAWAY, *Vivre avec le trouble*, p. 115.

429 En ce sens, elle s'inscrit contre la biologie moléculaire de son temps, nous reviendrons sur ce courant de la biologie au chapitre 4 de la thèse.

430 Voir Lynn MARGULIS, *Symbiotic Planet: a New Look at Evolution*.

l'endosymbiose⁴³¹) est le principal moteur. Haraway trouve ici matière à penser, montrant bien que des savoirs biologiques peuvent ainsi ouvrir de nouvelles manières de penser et de nouveaux imaginaires. Dans ce contexte, le corail est souvent relégué dans une histoire très commune, qui fait de cet animal bâtisseur un écosystème en danger que l'humanité aurait pour rôle de sauver. Or, ce qui nous semble intéressant dans l'endosymbiose, c'est qu'il ne s'agit plus d'une histoire de compétitivité, mais bien de formes de relations qui permettent aux uns et aux autres des formes de réciprocité. Ce n'est pas cet écosystème qui est en danger, mais plutôt la relation que nous entretenons à cet écosystème qui est toxique. Éclairer la question sous l'angle relationnel permet de situer une responsabilité plutôt que de faire comme si c'était là l'œuvre du destin d'une Nature abstraite.

Ainsi que le soulignent les auteurs de l'ouvrage *Arts of living on a damaged planet : Ghosts and monsters of the Anthropocene*,

« L'extinction d'un nombre critique d'espèces signifierait la destruction des coordinations et interdépendances qui ont évolué depuis longtemps. Alors que nous gagnons des gyres en plastique et des parkings, nous perdons des forêts tropicales et des récifs coralliens⁴³² ».

Pour travailler sur le corail, ou plutôt pour travailler avec les coraux, nous devons arriver à imaginer de nouveaux cadres de relations (pas seulement d'exploitation) : le corail ne doit plus être un objet, mais devenir un sujet. Ces histoires à partir du vivant, et les manières de raconter des phénomènes biologiques constituent un enjeu dont le design peut se saisir.

Afin de travailler sur la perception que nous avons du vivant, je pense que nous devons penser à l'avenir plusieurs points au sein du projet *Corallum Fabrica* : des histoires situées, une représentation multiespèces et multiéchelles. En effet, il me semble important, dans une future étude mêlant sciences naturelles, design & ingénierie, d'investir des histoires issues des connaissances anthropologiques sur les coraux, tels que mythes, contes et récits qui sont racontés avec des points de vue très divers, mais avant tout ancrés dans des relations interespèces. C'est le cas, par exemple, des peuples qui vivent et dépendent directement des coraux pour une partie de leur subsistance. Cette piste de travail pourra être explorée si les moyens humains et matériels le permettent après cette thèse, dans le cadre des activités de l'éco-musée Te Fare Natura en Polynésie française. Cette piste pourra inclure également d'autres zones d'attention que les coraux, comme des espèces proches, compagnes, parasites ou encore symbiotiques. Il me semble que l'addition de points de vue disparates et complémentaires pourrait constituer une manière intéressante de poursuivre ce geste archivistique. Aussi, ils viendraient combler ce « manque de vivant » (nous avons archivé les squelettes) en prenant en considération l'environnement dans lequel est impliqué le corail, environnement biologique bien sûr, mais aussi environnement social. Cette perspective exige, au fond, une définition et une recherche sur un « design interespèces » qui reste à construire et à imaginer.

431 On appelle endosymbiose la symbiose où un endosymbionte vit à l'intérieur des tissus ou des cellules de son partenaire. Il s'agit de la symbiogenèse. Les coraux sont un exemple de symbiogenèse : ils contiennent des zooxanthelles (dinoflagellés) dans leurs tissus (polypes).

432 LOWENHAUPT TSING, Anna et al. 2017. *Arts of living on a damaged planet: Ghosts and monsters of the Anthropocene*. Minneapolis ; London : University of Minnesota Press, p. 4 : « The extinction of a critical number of species would mean the destruction of long-evolving coordinations and interdependencies. While we gain plastic gyres and parking lots, we lose rainforests and coral reefs. » [traduction personnelle].

Au sein de la plateforme en ligne, afin d'interroger cette visibilité des modes d'interaction des coraux avec leur environnement, nous avons mis en place plusieurs idées avec la designer d'interaction Lysiane Lagadic lors de sessions de réflexions communes. La première idée a concerné un diagramme généré en fonction de données personnalisables, dont certaines seraient issues de banques de données externes récupérables grâce à des API et d'autres renseignées manuellement. Ces recherches de graphismes sont visibles dans la **figure 90**.

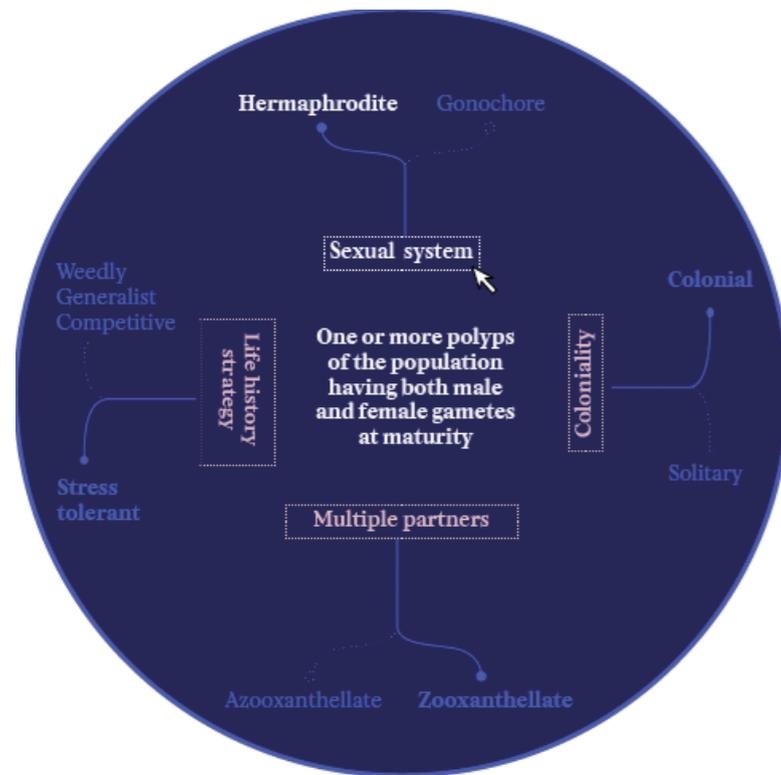


Figure 90 — Exemple d'un schéma pour l'espèce *Cyphastrea microphthalmia*. Au survol de la souris s'affiche une information correspondant à la typologie d'information concernée : système sexuel, colonialité, partenaires de vie, stratégies de survie. Ces différentes catégories sont issues d'un recensement des informations recueillies sur la base de données Coral Traits⁴³³. Crédits : Lysiane Lagadic.

Ces schémas n'ont pas été implémentés dans le site pour plusieurs raisons. La première est qu'ils réduisent les formes de relations que les coraux ont avec leur environnement, la seconde par un manque de moyens humains permettant leur implémentation technique, un futur travail graphique pourrait prendre en charge la représentation de ces relations.

433 Voir la base de données : Coral Trait Database. CORAL TRAITS [en ligne]. [consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <https://coraltraits.org/>

Design & océanographie

L'un des apports de cette thèse porte également sur un registre méthodologique. En effet, la méthodologie de recherche-création en design utilisée dans le projet *Corallum Fabrica*, propre aux pratiques de design, est sans doute un apport à généraliser pour des projets interdisciplinaires mêlant design, biologie et technologie.

Je pense que l'apport du design aux enjeux soulevés par les études océanographiques est particulièrement pertinent, en ce que ces dernières demandent un rapport au futur renouvelé. En effet, les études écologiques font souvent appel à la notion de scénario, mettant en musique plusieurs variables afin de donner des perspectives éclairées en fonction de différents paramètres écologiques. Le design comme projection sait manipuler le futur comme une potentialité et s'écarter du fatalisme, qui serait totalement dévastateur d'un point de vue de la vie commune que nous devrions définir ensemble sur une planète abîmée. En cela, le design peut contribuer à traduire ces connaissances en des expériences sensibles, de manière à rendre ces dernières ouvertes et appropriables par d'autres.

L'apport du design aux études océanographiques se situe également dans la notion de *restorative design* qu'il s'agit alors d'appliquer à l'intérieur des programmes de recherche : à la fois en prenant en considération les puissances d'agir propres des espèces et écosystèmes étudiés, mais aussi les dynamiques de pouvoir d'élaboration du savoir, qui fait partie de l'héritage culturel et historique des études océanographiques.

Afin de poursuivre les recherches menées dans cette thèse, nous pourrions intégrer le projet dans un mouvement de design plus large, à l'image de l'initiative européenne *Bauhaus of the sea*, dont le projet vise à renouveler le mouvement de design européen né de la rencontre entre l'art et l'industrie dans les années 1920 à Weimar (Allemagne) par Walter Gropius. Ainsi, l'initiative *Bauhaus of the sea* s'inscrit dans ce *New European Bauhaus*⁴³⁴ et souhaite « reconnaître et de légitimer la diversité des savoir-faire déjà présents dans les communautés et les écosystèmes côtiers et marins, en favorisant, par le biais du design et de la créativité, leur innovation, leur renouvellement, leur actualisation et leur articulation avec une nouvelle génération de politiques publiques visant à la coopération et à la résolution de problèmes transnationaux⁴³⁵. »

434 Sur le site officiel supporté par l'Union européenne, le *New European Bauhaus* est défini comme « une initiative créative et interdisciplinaire qui relie le Green Deal européen à nos espaces de vie et à nos expériences. » Voir : Nouveau Bauhaus européen. *Europa.eu* [en ligne]. [consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : https://europa.eu/new-european-bauhaus/index_fr

435 Traduction personnelle depuis le Manifeste du site. Voir BAUHAUS-SEAS. Manifeste [en ligne]. [consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <https://bauhaus-seas.eu/#manifesto>

Conclusion Chapitre 3

Dans ce chapitre, nous avons vu comment l'Anthropocène posait un problème de responsabilité et de projection à la fois aux designers, aux artistes, aux ingénieurs et aux scientifiques, exigeant de leur part une totale reconfiguration de leurs manières de faire. Nous avons vu comment la problématique du corail ne peut pas être traitée isolément, mais qu'elle doit être vue comme un système de santé global, à l'échelle planétaire. Dans ce cadre, le design n'est plus à la recherche de solutions, mais il s'inscrit plutôt dans le paradigme du soin. L'articulation entre design et science peut donner lieu à des actions de *commoning*, permettant un *empowerment* des acteurs impliqués, notamment à travers la mise en commun de savoir-faire techniques.

Nous avons vu que le format de l'archive est pertinent dans les relations entre design et science et que ce format se développera dans les années à venir. Le design participe en effet, selon moi, à un renouvellement de la forme de l'archive en en faisant à la fois un dispositif pour la recherche, mais aussi un objet de mémoire et d'action citoyenne. Par ailleurs, l'archive exige de nombreuses compétences techniques à l'image des enjeux portés par les humanités numériques aujourd'hui. Revendiquer la forme de l'archive comme moyen critique et créatif de pratiquer le design aujourd'hui peut permettre aux designers d'apporter leurs connaissances et savoir-faire à d'autres domaines et situations qui nécessitent des actes de mémoire et de mobilisation collectives. Ces derniers peuvent concerner nos écosystèmes abîmés, mais ils s'adressent également aux communautés opprimées pour qui la mémoire est un enjeu primordial dans l'action politique. Le récent champ des *Critical Archival Studies* montre bien l'importance de penser ce format tant dans ses implications que dans ses déploiements.

Nous avons vu comment le design peut opérer une authentification à même d'élargir l'horizon d'imaginaire autour d'une technique. Dans le chapitre de cette thèse, j'ai soutenu l'hypothèse selon laquelle l'imaginaire et donc les images de la science et en particulier des sciences naturelles peuvent porter en elles des manières de faire monde. La **figure 91** représente par exemple les cinq royaumes du monde vivant selon un modèle circulaire évitant un rapport hiérarchique entre les espèces.



Figure 91 — Candice Lin, 5 Kingdoms, 2015. François Ghebaly Gallery, Los Angeles⁴³⁶.

Nous avons besoin d'autres modèles pour pratiquer les sciences dites naturelles, ou du moins, étudier les vivants pour apprendre à mieux vivre et mourir avec eux, car tel est le devoir auquel nous soumet l'Anthropocène. Ces modèles ne sont pas seulement des changements d'habitudes personnelles, comme une consommation raisonnée par exemple. Ce sont des bouleversements dans nos gestes les plus fondamentaux. « Le geste de chercher » doit englober d'une manière ou d'une autre des relations interspécies plurielles et écosystémiques.

Prendre la mesure de l'héritage culturel des coraux, c'est comprendre que nous vivons sur les ruines de notre civilisation, et qu'il nous faut apprendre à vivre sur cette planète

436 Voir Anna LOWENHAUPT TSING, et al. *Arts of living on a damaged planet*.

abîmée⁴³⁷ qui est la nôtre. Cette nouvelle⁴³⁸ condition d'existence exige, pour les êtres humains, une totale reconfiguration des manières de vivre et de mourir⁴³⁹. Cette exploration, qui en appelle à notre créativité, ne peut pas faire l'économie d'une transformation des pratiques scientifiques. En effet, si les pratiques scientifiques participent à décrire le monde⁴⁴⁰, alors ces dernières nous mettent en capacité de partager des communs imaginatifs. Ces communs imaginatifs deviennent les narrations avec lesquelles et par lesquelles nous pouvons habiter le monde. Nous habitons le monde de nos histoires et ces dernières ne sont pas innocentes. Étudiant les récits consacrés à la Lune, la metteuse en scène et chercheuse Frédérique Aït-Touati voit en ces créations littéraires et images qui accompagnent la cosmologie des « instruments de preuve »⁴⁴¹.

À travers ce travail de recherche, je me suis demandé en quoi le design peut participer à la mise en place d'activités scientifiques qui prennent en compte ces nouvelles conditions d'existence, de manière à ce que ces conditions ne soient pas un frein, mais un levier, pour imaginer d'autres manières de faire et de nous conduire en ce monde. L'idée n'est pas de voir dans chaque occasion une opportunité dont il faudrait se saisir, qui serait un biais cognitif positiviste consistant à penser que les choses arrivent parce qu'elles devaient arriver, mais plutôt de dire, qu'à l'endroit de l'activité de description⁴⁴² du monde, qui occupe en partie la science, se joue quelque chose de primordial, ayant un pouvoir potentiellement transformateur. Le design doit accompagner ces descriptions pour les rendre à la fois sensibles aux scientifiques eux-mêmes. Ces descriptions-connaissances seraient émancipatrices, créant des récits nous mettant en capacité de nous projeter dans l'incertitude, des histoires nous permettant d'habiter l'inhabitable. Nous pensons que le renouvellement des manières de regarder, qui dépendent des valeurs avec lesquelles chacun observe ou étudie un animal, une situation, ou un phénomène, permet de poser de nouvelles questions scientifiques et participe aux transformations nécessaires⁴⁴³ des pratiques.

437 L'expression « planète abîmée » comme condition d'existence pour la vie humaine à l'ère Anthropocène a été formulée par l'anthropologue américaine, Anna Lowenhaupt Tsing dans l'ouvrage TSING LOWENHAUPT Anna, 2017. *Le champignon de la fin du monde : sur la possibilité de vie dans les ruines du capitalisme*, Empêcheurs de penser rond.

438 Nous parlons ici depuis la position occidentale. En effet, l'incertitude est le lot commun de bien des situations non occidentales qui n'ont pas le luxe d'imaginer une autre condition de par un régime autoritaire, des ressources naturelles limitées, des guerres, des dynamiques d'oppressions, etc.

439 AÏT-TOUATI, Frédérique et COCCIA, Emanuele, 2021. *Le cri de Gaïa: penser la terre avec Bruno Latour*. . Empêcheurs de penser rond.

440 AÏT-TOUATI, Frédérique, 2011. *Contes de la lune: essai sur la fiction et la science modernes*. . Gallimard Paris.

441 AÏT-TOUATI, Frédérique, 2008. *Poétiques du discours cosmologique au XVIIIe siècle*. These de doctorat. Paris 4.

442 La science n'est pas qu'une activité descriptive, et elle est également une activité prescriptive en ce qu'elle organise des manières de vivre.

443 Puisque nous faisons le constat que notre manière d'habiter n'est plus soutenable.



**DESIGN
VAMPYRO-
TEUTHIQUE :
POUR UN RAPPORT
RENOUVELÉ AUX
VIVANTS PAR LE
DESIGN**

Nous avons mis en place dans cette thèse des media dialogiques pour réfléchir conjointement les disciplines de la biologie, du design et de l'ingénierie. Les projets de recherche-crédation en design *Codex* et de *Corallum Fabrica* ont mis en lumière un apport de la pratique de la recherche en design sur les formats de la recherche scientifique. Ainsi, des connaissances à la fois situées, dialogiques et sensibles sont envisageables au prisme d'une pratique de recherche en design. C'est un apport épistémologique du design sur les typologies de savoirs que sa recherche est en mesure de produire. Il nous a semblé tout à fait logique, avec Anthony Masure, de nous tourner vers l'étude d'un ouvrage en archive, écrit par le philosophe des médias, Vilém Flusser rassemblant questions épistémologiques, biologie marine et théorie des médias. Cet ouvrage au nom des enfers, s'intitule le *Vampyroteuthis infernalis*. Ce chapitre ne suit pas totalement la même méthodologie de recherche-crédation que le chapitre 2 et 3 de cette thèse en ce que le projet proposé ne fait pas intervenir des chercheurs en ingénierie ou en biologie. C'est en ce sens un pas de côté, et une surprise dû à la rencontre de cette œuvre étrange qu'est le *Vampyroteuthis infernalis*. Comme le pointe si bien Vilém Flusser « Ce n'est que sur fond d'inhabituel que l'habituel devient visible et réceptif au changement. Telle est la raison qui nous incite à engager un dialogue avec le vampyroteuthis⁴⁴⁴. »

Je me suis donc tout naturellement rendue aux archives de Vilém Flusser à Berlin afin d'étudier le couple vivant/artificiel et la version française de l'ouvrage du *Vampyroteuthis infernalis* afin d'évaluer les apports de la pensée de Flusser sur les domaines émergents mêlant vivant et artificiel tels que la bio-impression 3D, l'ingénierie tissulaire, la remédiation des récifs coralliens et les technologies de biofabrication qui sont les sujets d'étude de notre doctorat. J'exposerai dans un premier temps le contexte de mon étude sur le *Vampyroteuthis infernalis*. Ensuite, j'exposerai un travail de recherche-crédation, dont le médium est un podcast. Enfin, je discuterai de la création d'une cinématique en réalité virtuelle reprenant certains principes de design vampyroteuthique.

L'ouvrage de fiction philosophique du *Vampyroteuthis infernalis*⁴⁴⁵ est écrit dans les années 1980 par le théoricien des médias Vilém Flusser. Vilém Flusser (1920-1991) est philosophe, écrivain, journaliste et pionnier des théories des médias. Né à Prague dans une famille juive, il émigre à Londres en 1939 puis au Brésil en 1940 où il devient professeur de philosophie et de communication et termine sa vie en France à partir de 1972. Également considéré comme un artiste⁴⁴⁶, il aura vécu la majeure partie de sa vie en exil. Flusser fait de cet écart une condition de recherche et d'écriture, dans laquelle tout devient inhabituel, inhabitable et informationnel. Dans un essai inédit (non publié), *Exil*

444 Vilém FLUSSER et Louis BEC, *Vampyroteuthis infernalis: un Traité, suivi d'un Rapport de l'Institut scientifique de recherche paranaturaliste*.

445 Nous verrons dans ce chapitre qu'il existe trois versions de cet ouvrage qui correspondent à trois traductions en français (FR), allemand (AL) et brésilien traduites ici en anglais par Rodrigo Maltez Novaes (BR) et à une chronologie de travail. Voici les différentes versions sur lesquelles nous nous sommes appuyés : (FR) Vilém FLUSSER et Louis BEC. *Vampyroteuthis infernalis*. [Tapuscrit]. Berlin : Vilém Flusser Archive, 1981-1983. (AL) FLUSSER, Vilém, et BEC Louis. *Vampyroteuthis infernalis*. Berlin : Immatix Publication, 1987. (BR) FLUSSER, Vilém. *Vampyroteuthis infernalis*. New York/Dresden : Atropos Press, 2011. Nous nous référons à ces trois versions comme la version française, allemande et brésilienne dans la suite du texte.

446 MARBURGER, Marcel René. 2016. From Science to Fiction. Considering Vilém Flusser as an Artist. *Flusser Studies*. Vol. 22, n° 1.

et créativité⁴⁴⁷, Flusser exprime la créativité à laquelle l'oblige cet exil. Il explique comment cette condition d'existence rend la réalité montrable et monstrueuse. Pour Flusser, il n'y a pas de sujet trivial pour la pensée : vache, prairie, théorie des médias, design, photographie, *bioart*, gestes, etc. ; Flusser aura écrit et pensé à partir de tous ces objets, préférant sans doute les situations les plus banales pour en révéler toute la singularité. La pensée de Flusser fonctionne comme les couches d'un programme : une première surface, en apparence simple, offre une image saisissable et compréhensible de sa pensée. Dans les autres strates, d'autres codes et d'autres lectures surgissent. Les liens se font plus difficilement d'autant que Flusser écrit sans notes de bas de page et sans citations. Ainsi faut-il se confronter aux archives pour éclaircir certains passages — archives où se trouvent notamment sa bibliothèque de voyage, des essais et ouvrages non publiés, ses cours, ses notes de conférences et sa correspondance.

Le travail de recherche mené sur l'ouvrage du *Vampyroteuthis infernalis* nous a permis de chercher dans la créature abyssale décrite par Vilém Flusser un modèle vampyroteuthique pour penser et faire du design avec les sciences naturelles et les media. Bien que cette affirmation puisse paraître de prime abord étonnante, il s'avère que cet ouvrage de Vilém Flusser ou « traité »⁴⁴⁸ est en soi un livre très particulier. Dans ce dernier, il étudie l'être-au-monde du *Vampyroteuthis infernalis*, une créature des abysses (réelle). Son étude est triple : à la fois taxonomique, phénoménologique et culturelle. La particularité de ce travail est que Flusser fait du *Vampyroteuthis infernalis* une « créature à penser ». Ainsi, en convoquant l'être-au-monde d'une totale altérité (un poulpe qui vit dans les profondeurs abyssales), il démontre comment notre rapport au dualisme et à l'art est limité. Flusser nous encourage à percevoir les choses d'une manière plus complexe. Cette complexité vient d'un savoureux mélange entre d'une part, des études biologiques et environnementales, et d'autre part une influence de la théorie des médias et de la cybernétique. Nous avons repris à notre compte ce *modèle vampyroteuthique* pour penser un autre rapport au design qui soit moins extractiviste, fonctionnaliste et universel que nous nommons dans ce chapitre *design vampyroteuthique*.

Nous avons trouvé dans la pensée singulière⁴⁴⁹ de Flusser des apports pertinents pour envisager la tâche du design dans un moment où tout est à la fois vivant et artificiel⁴⁵⁰. Le rapprochement entre les théories de Flusser et les pratiques des designers⁴⁵¹ est évident à la lecture de son ouvrage s'intitulant *Petite philosophie du design*⁴⁵² qui rassemble une série de textes issus de conférences que le philosophe avait données dans des écoles⁴⁵³

447 FLUSSER, Vilém. *Exil et créativité*. Essai non publié. Berlin : Vilém Flusser Archive. Ref. n° : 2 945.

448 Voir titre de la version allemande traduite en français) : Vilém FLUSSER et Louis BEC. *Vampyroteuthis infernalis : un Traité, suivi d'un Rapport de l'Institut scientifique de recherche paranaturaliste*.

449 Nous soutenons plus généralement qu'une pensée peut surgir de l'étrange, de l'anormal, des franges à la manière de cet ouvrage : DASTON, Lorraine et Katharine PARK. *Wonders and the Order of Nature, 1150-1750*. New-York : Zone books, 1998.

450 FLUSSER, Vilém. Le vivant et l'artificiel. *Multitudes*. 2019. N° 1, p. 199-202.

451 Bien que Flusser ait donné des conférences spécifiques sur le design, par rapport au sujet de cette thèse, l'ouvrage *Petite philosophie du design* (ed. Circé, 2002) ne sera plus convoqué par la suite. Nous essayons plutôt de voir en quoi les ouvrages relatifs à l'épistémologie et ses écrits sur les sciences naturelles peuvent éclairer notre recherche.

452 FLUSSER, Vilém. 2002. *Petite philosophie du design*. Belfort : Circé.

453 Les conférences ont été données entre 1970 et 1991.

de design. Dans ce livre, il questionne la responsabilité des designers, et la nature qu'il qualifie de profondément « perfide » du design. Il revient sur les sens du mot design en tant que substantif et verbe, donnant un caractère subversif à la définition habituelle de la discipline qui, dans l'entendement général, s'occupe des belles formes des artefacts⁴⁵⁴. Flusser écrit :

« En anglais, ce mot est tout à la fois un substantif et un verbe — détail qui caractérise bien, de façon générale, l'esprit de la langue anglaise. En tant que substantif, il signifie entre autres choses « projet, plan, dessein, intention, objectif », mais aussi « mauvaise intention, conspiration », ainsi que « forme, configuration, structure fondamentale », toutes ces significations et d'autres encore étant liées aux idées de « ruse » et de « perfidie ».

En tant que verbe – *to design* – il veut dire notamment « manigancer, simuler, ébaucher, esquisser, donner forme » et « procéder de façon stratégique ».

Ce mot vient du latin; il contient le substantif *signum*, le signe, dont la très lointaine racine est aussi celle de l'allemand *Zeichen*. Selon l'étymologie, *to design* veut donc dire « dé-signer » quelque chose : lui ôter son « signe »⁴⁵⁵. »

Ce rapprochement du design avec la notion de plan et de stratagème est important à garder en mémoire pour la suite. Il n'est en effet pas anodin que Flusser insiste sur le caractère en partie déterministe du design. Flusser fait partie des auteurs qui, avec Hannah Arendt, ont réfléchi à la responsabilité morale des actions humaines, et comment ces dernières, avec l'histoire des techniques et de l'industrie, procèdent d'une forme de dissolution de la responsabilité. Flusser et Arendt s'appuient tous deux sur l'atroce expérience d'Auschwitz pour tirer des conclusions, qui, chez Flusser, prennent la forme d'un programme culturel occidental profondément destructeur et, chez Arendt, d'une banalité du mal. Si la *Petite philosophie du design* permet indéniablement de penser la notion de responsabilité des designers envers l'industrie, il existe d'autres textes qui, selon nous, méritent une grande attention de la part des designers. Dans le numéro 21 de la revue *Flusser Studies* 21 (2016) dont la thématique est le design, les directeurs de la revue soulignent en effet en introduction du numéro que « l'originalité de [la] démarche [de Flusser] n'a pas encore été suffisamment étudiée, notamment par ceux qui travaillent dans le domaine du design ⁴⁵⁶ » ; cet effort doit donc encore se poursuivre. Ces textes, nous les aborderons en partie dans ce chapitre, et ils transparaissent, selon nous, dans la fiction du *Vampyroteuthis infernalis*.

454 Dans son anthologie, Alexandra Midal souligne cette opposition : « Flusser oppose le rôle habituellement porté par le design de "la mise en forme, fonctionnelle et esthétique des produits industrialisés", pour le définir comme "une stratégie visant à duper les corps pesants". » Alexandra MIDAL, *Design, l'anthologie*.

455 Vilém FLUSSER, *Petite philosophie du design*, p. 7.

456 OSTHOFF, Simone et Priscilla ARANTES. 2016. Introduction. *Flusser Studies* 21 — Thematic focus: Design.

Nous nous sommes appuyés sur un travail de fouille dans les archives de Vilém Flusser à Berlin afin de pouvoir comparer les trois versions de l'ouvrage *Vampyroteuthis infernalis* et d'avoir accès à sa correspondance, ses cours et essais non publiés. Le corpus de texte sur lequel nous nous appuyons dans ce chapitre est le suivant :

Ouvrages :

FLUSSER, Vilém et Louis BEC. *Vampyroteuthis infernalis*. [1981-1983, version française inédite]. Berlin : Vilém Flusser Archive.

FLUSSER, Vilém et Louis BEC. *Vampyroteuthis infernalis*. Berlin : Immatrix Publication, 1987.

FLUSSER, Vilém et Louis BEC. *Vampyroteuthis infernalis : un Traité, suivi d'un Rapport de l'Institut scientifique de recherche paranaturaliste*. Trad. de l'allemand par Christophe Lucchese. Bruxelles : Zones sensibles [1981-1987], 2015.

FLUSSER, Vilém. *Vampyroteuthis infernalis*. New York/Dresden : Atropos Press, 2011.

FLUSSER, Vilém et Marc PARTOUCHE. *Les gestes*. Paris : Éditions Hors Commerce, 1999.

FLUSSER, Vilém. *Post-histoire*. [1982, version française inédite]. Paris : T&P work unit ; Saint-Étienne : Cité du design, 2019.

Essais⁴⁵⁷ :

FLUSSER, Vilém. *Exil et créativité*. [essai en français non publié] Vilém Flusser Archive, Berlin. Ref. n° : 2 945.

FLUSSER, Vilém. *Considérations écologiques*. [essai en français non publié] Berlin : Vilém Flusser Archive. Ref. n° : 2 935.

FLUSSER, Vilém. *Orthonature, Paranature*. Institut de recherche paranaturaliste. [édition limitée]. Berlin : Vilém Flusser Archive, 1978.

FLUSSER, Vilém. *Deux lectures du monde*. [essai en français⁴⁵⁸] Berlin : Vilém Flusser Archive. Ref. n° : 2942.

FLUSSER, Vilém. *La crise de la science*. [essai en français non publié] Berlin : Vilém Flusser Archive, 1978.

FLUSSER, Vilém. 2019. Le vivant et l'artificiel. *Multitudes*. N° 1, p. 199–202.

FLUSSER, Vilém. *Toward a map of the body*. [essai] Berlin : Vilém Flusser Archive. Ref. n° : 2 800.

Ouvrage de référence :

FLUSSER, Vilém. *Flusseriana: An Intellectual Toolbox*. Minnesota : Univocal Publishing, 2015.

Ce corpus se concentre principalement sur des textes ayant trait au couple vivant et artificiel dans la pensée de Flusser et à des éclairages sur les positions épistémologiques du penseur. Cette thèse de doctorat n'étant pas une thèse de philosophie, ou d'histoire des

457 Nous remercions la chercheuse Anita Jóri, responsable de la Vilém Flusser Archive pour son aide dans les archives et la reproduction des textes qui nous ont servi pour cette étude.

458 publié ici : FLUSSER, Vilém, 2019. Deux lectures du monde. *Multitudes*. Vol. 74, n° 1, pp. 203-206.

idées, nous avons cherché chez Flusser des façons de nous éclairer sur des manières de penser la création et le design dans le contexte particulier de notre thèse en design *au sein de la recherche en ingénierie sur le vivant*. Nous avons trouvé dans les positions affirmées et étonnantes de Flusser des pistes intéressantes. Nous pensons qu'au-delà des positions hybrides nouvellement prises par les designers, se revendiquant par exemple du *biodesign*⁴⁵⁹, Flusser nous permet de décloisonner la pratique du design en France. Avec Flusser, il s'agit d'oublier les notions d'objets, d'auteurs ou encore d'artifices. Pour nous qui voyons dans la tradition française une histoire du design comme un prolongement des arts décoratifs, Flusser opère une totale remise en question de la figure du designer comme concepteur de mobilier. Nous pensons en outre que Flusser permet le contournement de la question « qu'est-ce que le design ? » qui selon nous bloque une partie des débats. Cette question revient en effet à chercher un territoire et à légitimer une pratique plutôt qu'une autre. Nous verrons ainsi comment nous pouvons trouver dans la pensée de Flusser un rapport à la création émancipateur pour les designers : un *design vampyroteuthique*. Nous explorons également dans une deuxième partie de ce chapitre une démarche de recherche-création.

Ce chapitre s'appuie en effet sur un travail de recherche-création, et notamment des textes écrits pour le podcast *Bio is the New Black*⁴⁶⁰. Nous y exposerons un travail de création concernant une cinématique en réalité virtuelle s'inscrivant dans le projet *Corallum Fabrica* présenté dans le chapitre précédent, mais que nous avons choisi d'exposer ici. Il me semble que la cinématique entre subtilement en écho aux recherches à propos du *Vampyroteuthis infernalis*. Ce chapitre est également écrit à partir de deux articles⁴⁶¹ que nous avons publiés dans la revue *Flusser Studies*⁴⁶², revue en ligne consacrée aux études faites sur les sujets et les textes de Vilém Flusser. Dans le chapitre qui suit, nous appellerons « Vampy » le personnage de la fiction philosophique du *Vampyroteuthis infernalis* (l'ouvrage de Vilém Flusser et Louis Bec), et mentionnerons explicitement quand nous nous référerons à l'animal biologique, vivant depuis les temps les plus anciens dans les abysses de nos océans et portant le nom taxonomique *Vampyroteuthis infernalis* Chun, 1903⁴⁶³, comme reproduit **figure 92**.

459 Le *biodesign* désigne un ensemble de pratiques qui utilisent la biologie comme matériau pour créer de nouveaux artefacts, notamment par exemple la biologie synthétique qui permet de concevoir en laboratoire des bactéries en vue d'un usage particulier. Plus largement, les pratiques s'emparent de matériaux biologiques pour penser un autre rapport aux objets. Le *biodesign* est souvent mis en avant comme manière de penser des objets biodégradables ou évolutifs. À ce sujet, voir : RIGOT, Élise, 2020. « Bio Is the New Black #5 - dialogues entre Arthur-Donald Bouillé, Lisa Dehove & Xavier Montoy. Partie 1 : Le concours iGEM vu et vécu par les designers », radio FMR, CPU.

460 *Bio is the New Black* est un podcast qui interroge les technologies de biofabrication sous le prisme du design. En tant que pratique, il s'inscrit dans le travail de recherche du doctorat. Vous pouvez retrouver une description des différents épisodes *annexe 1*.

461 RIGOT, Élise. 2021. *Vampyroteuthis infernalis*, le podcast comme format de recherche-création. *Flusser Studies*. N° 31, et RIGOT, Élise. 2020. *Vampyroteuthis as a bioluminescent lighthouse to think under the livings*. Some mutations: From 1981 to 1991. *Flusser Studies*

462 *Flusser Studies* [consulté le 17 avril 2022]. Disponibilité : <http://www.flusserstudies.net/flusser-studies>

463 Les noms taxonomiques d'espèces sont composés du nom du genre (*Vampyroteuthis*) suivi du nom de l'espèce (*infernalis*) et complétés par le nom de la personne qui a découvert et décrit cette espèce pour la première fois ; ici le biologiste allemand Carl Chun (1852-1914) dans l'ouvrage de Carl CHUN, 1903. *Aus den tiefen des weltmeeres*.

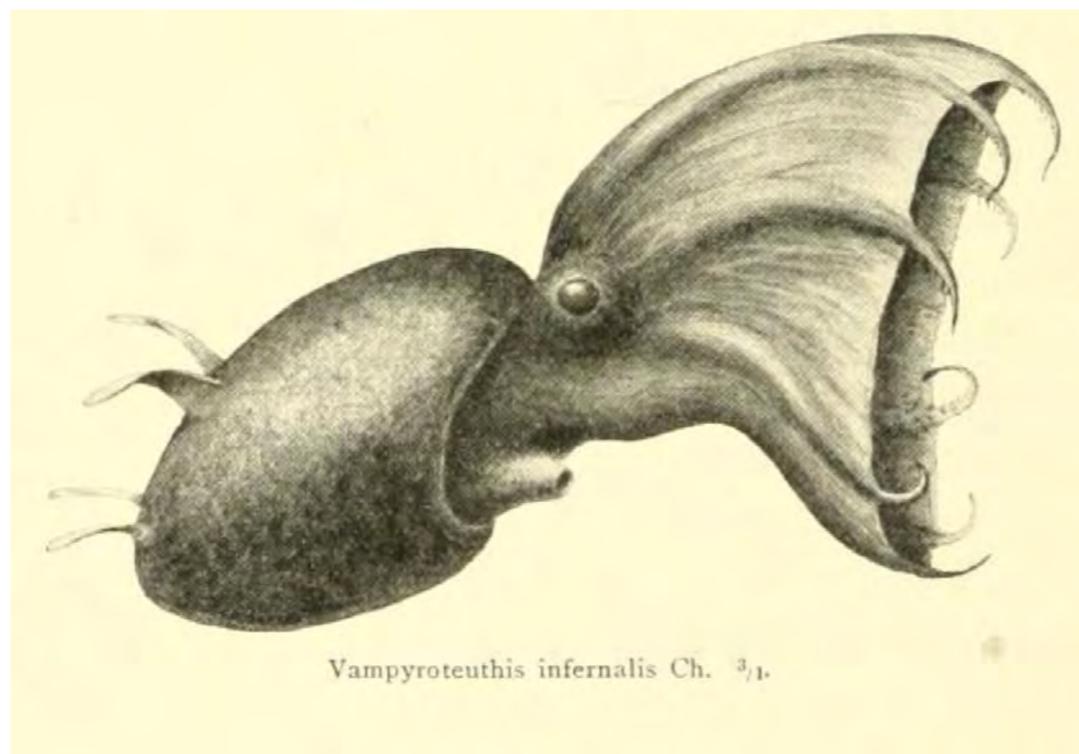


Figure 92 — : Illustration du *Vampyroteuthis infernalis* Chun, dans CHUN, Carl. 1903. *Aus den tiefen des weltmeeres : Schilderungen von der Deutschen Tiefsee-expedition. Jena, p. 88.*

1. Contexte : le *Vampyroteuthis infernalis*, un métamodèle de l'appareil critique de Flusser

En mai 2019, j'ai effectué un séjour de recherche dans les archives de Vilém Flusser⁴⁶⁴ à Berlin. J'ai été accueillie par Anita Jóri, chercheuse associée à la *Vilém Flusser Archive*. Les archives, situées à l'Université des arts de Berlin, conservent toutes les photocopies des manuscrits originaux de Flusser (essais, monographies, ébauches de cours et de projets, documentation de projets, correspondances et autres documents) dont les originaux se trouvent à Cologne, et dont une autre réplique existe à São Paulo. En 2007, les archives ont déménagé avec la chaire d'archéologie et des médias du professeur Zielinski de Cologne à l'université des arts de Berlin (HdK).⁴⁶⁵ 197 mots clefs et sept catégories⁴⁶⁶ permettent de naviguer dans ce contenu écrit en quatre langues principales : allemand, anglais, portugais et français. Un système de classification est consultable dans un catalogue papier mettant en correspondance les écrits de Flusser en fonction de mots clefs structurants relatifs à la pensée de ce dernier. Ce catalogue papier est une réminiscence du travail du fils de Vilém Flusser, Miguel Gustavo Flusser, qui avait développé un logiciel de base de données sous MS-DOS afin d'avoir une vue d'ensemble du matériel d'archives. « Aujourd'hui, ce système de mots clefs est toujours utilisé, mais pour des raisons techniques et pratiques, il n'est actuellement disponible que sous la forme d'un catalogue index imprimé, inclus dans les dossiers des Archives Vilém Flusser⁴⁶⁷. » Il y a un intérêt (supplémentaire) en tant que chercheur francophone à venir aux archives de Vilém Flusser en ce que de nombreux essais sont des inédits, et en ce que Vilém Flusser reste encore largement méconnu des recherches en langue française⁴⁶⁸.

Nous avons commencé notre travail en prenant connaissance du tapuscrit français de l'ouvrage du *Vampyroteuthis infernalis* (non édité), de la correspondance, des essais et cours se rapportant à cette fiction philosophique. Différents mots-clefs issus du système de classification des archives nous ont servi à explorer des textes produits par Flusser, correspondant à des documents d'archives : *bio, parana, daseign, organ, infor, dialog, evolut, future, geste, immat, inters, mito, natur, octops, fenom, sc, tech* – autant de points d'entrées sur des essais, formes appréciées par Vilém Flusser pour mettre à l'épreuve sa dialectique.

Nous allons présenter les différentes versions du *Vampyroteuthis infernalis* puis nous

464 Séjour de recherche effectué du 13 au 24 mai 2019 grâce à une bourse de la Campagne Aide à la Mobilité Internationale et Nationale des Doctorant(e)s 2018-2019 de l'Université Toulouse – Jean Jaurès.

465 Vilém Flusser Archiv [consulté le 17 avril 2022]. Disponibilité : <https://www.flusser-archive.org/>

466 JORI, Anita et Alexander W. SCHINDLER. 2017. (Re-)Archiving Flusser. *Flusser Studies*. Décembre. Vol 24 – Special Issue: Archiving Flusser.

467 Idem. « Today this keyword system is still in use, but due to technical and practical reasons it is currently only available as a printed index catalogue enclosed in the folders at the Vilém Flusser Archive. » [traduction personnelle].

468 MASURE, Anthony. Introduction. In : *Post-histoire*. [1982, version française inédite]. Paris : T&P work unit ; Saint-Étienne : Cité du design, 2019.

définirons la triple nature de cet ouvrage (fiction philosophique, essai scientifique⁴⁶⁹ et œuvre de recherche-crédation), pour enfin questionner son héritage actuel.

Différentes versions du *Vampyroteuthis infernalis*

Dans les archives Flusser, un entretien avec Anita Jori (mai 2019) m'apprend l'histoire de ce livre. D'abord écrit en français, l'ouvrage est publié pour la première fois en allemand en 1987, avec une quinzaine d'illustrations de l'artiste Louis Bec. Comme Flusser traduisait lui-même ses textes, il récrivait tout, de sorte qu'il faudrait lire l'ensemble des versions du *Vampyroteuthis infernalis* pour saisir l'ensemble de cette œuvre. Flusser a ainsi retravaillé ce texte en portugais (1988) et quelques passages en anglais. Ces derniers travaux sont restés dans les archives Flusser jusqu'à ce que le chercheur Rodrigo Maltez Novaes s'attèle à la traduction du *Vampyroteuthis infernalis* « brésilien » écrit dans les dernières années de la vie du philosophe et disponible aux éditions Atropos⁴⁷⁰ (2011). L'ouvrage du *Vampyroteuthis infernalis* connaît chez Flusser plusieurs stades de mutation. Dans la version la plus proche de nous, l'organisme biologique, animal, devient lui-même un appareil. Ainsi, le corps du *Vampyroteuthis infernalis* utilisant des informations lumineuses à l'aide de ses chromatophores devient une métaphore de notre condition post-moderne⁴⁷¹.

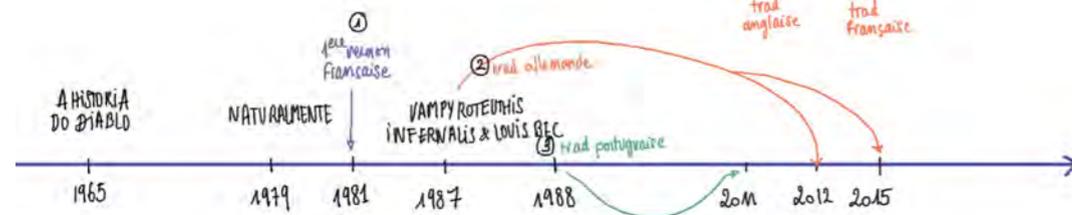


Figure 93 — : Frise chronologique pour situer les différentes versions du *Vampy* faisant apparaître en 1965 le premier ouvrage de Flusser, *Histoire du diable*, jusqu'à 2015, date de la traduction française du *Vampyroteuthis infernalis*.

De 1981, date à laquelle Flusser écrit la première version tapuscrite française jusqu'à 1991, l'année de sa mort, le livre mute avec la méthode d'écriture de Flusser. En effet, Flusser pratique le dialogue pour former sa pensée. Il utilise différents médias tels que lettres, conversations, essais, expositions, cours, conférences et traductions. Il y a une généalogie qui peut être retracée par les différentes langues employées à l'écriture du *Vampyroteuthis infernalis* depuis une première version française jusqu'à sa version brésilienne telle que représentée dans la frise **figure 93**. Nous avons reproduit les trois tables des matières différentes dans la **figure 94**, depuis la version tapuscrite française, la version allemande

469 Selon l'édition révisée et traduite de la version brésilienne par Rodrigo Maltez Novaes (Flusser 2011), l'œuvre est qualifiée à la fois d'essai scientifique et de fiction philosophique.

470 Vilém FLUSSER, *Vampyroteuthis infernalis*. [BR]

471 Nous invitons le lecteur, un peu plus loin dans ce chapitre, à écouter l'adaptation radiophonique du *Vampyroteuthis infernalis* qui rend compte de cette évolution.

(traduite en français par Christophe Lucchese aux éditions Zones Sensibles, 2015) et la version brésilienne (traduite en anglais par Rodrigo Maltez Novaes aux éditions Atropos, 2011). Si nous comparons les trois versions, le compte se transforme petit à petit en une métaphore de notre condition d'existence au sein des médias numériques. Le vampire des abysses mute en appareil et devient un guide pour naviguer dans le monde cybernétique où nous habitons.⁴⁷² Une autre dynamique apparaît : elle s'intéresse au modèle d'étude du vivant contenu dans le *Vampyroteuthis infernalis*.

1. [FR] FLUSSER, Vilém et Louis BEC. <i>Vampyroteuthis infernalis</i> . [Tapuscrit] Berlin : Vilém Flusser Archive, 1981-1983.	2. [AL] FLUSSER, Vilém et Louis BEC. <i>Vampyroteuthis infernalis : un Traité, suivi d'un Rapport de l'Institut scientifique de recherche paranaturaliste</i> . T. Bruxelles : Zones sensibles [1981-1987] 2015.	3. [BR] FLUSSER, Vilém. <i>Vampyroteuthis infernalis</i> . New York/Dresden : Atropos Press, [1988-1991] 2011.
(1) Octopoda	I. Octopus	I. Octopi
(2) Généalogie (a) La phylum des mollusca (b) La classe des cephalopoda (c) L'espèce (hypothétique ?) <i>Vampyroteuthis</i>	II. Arbre généalogique Le phylum des mollusques La classe des céphalopodes L'espèce <i>Vampyroteuthis infernalis giovanni</i>	II. The Genesis of the <i>Vampyroteuthis</i> a. The Phylum Mollusca b. The Class Cephalopoda c. The Species <i>Vampyroteuthis infernalis</i>
(3) Phénoménologie (a) Le modèle octopodal (b) L'abîme (c) L'être dans le monde octopodal	III. Le monde vampyroteuthique Son modèle Les abysses L'être au monde vampyroteuthique	III. The World of the <i>Vampyroteuthis</i> a. The <i>Vampyroteuthian</i> Model b. The Abyss c. <i>Vampyroteuthian</i> Existence
(4) Intuition (a) La réflexion octopodale (b) La société octopodale	IV. La culture vampyroteuthique Sa pensée Sa vie en société V. Son émergence	IV. The Culture of the <i>Vampyroteuthis</i> a. <i>Vampyroteuthian</i> Thought b. <i>Vampyroteuthian</i> Social Life c. <i>Vampyroteuthian</i> Art V. The Emergence of the <i>Vampyroteuthis</i>

Figure 94 — : Table des matières française, allemande et brésilienne du *Vampyroteuthis infernalis*.

472 CITTON, Yves. Naviguer ou filtrer. Vilém Flusser et l'alternative vampirique de l'imaginaire numérique. *Hybrid. Revue des arts et médiations humaines*. 2016. N° 3.

Version française : Un premier ouvrage offert en cadeau d'amitié à l'artiste Louis Bec.

La version française, qui est la première version, non publiée, prend la forme d'un tapuscrit de cinquante pages, donné en cadeau à son ami Louis Bec en 1981. La version française est née dans un contexte scientifique particulier à prendre en considération. Ce contexte est la naissance d'une nouvelle histoire de la biologie racontée à l'aide de briques élémentaires que sont le gène, l'ADN, la molécule et la cellule. En effet, à la fin des années 1960, la biologie est liée à la pensée du code, par la découverte de l'ADN : un événement historique pour la biologie moléculaire. Cette nouvelle perception de la biologie arrive au sein de l'école de biologie moléculaire française marquée par des scientifiques comme François Jacob⁴⁷³ (prix Nobel de médecine en 1965) et Jacques Monod⁴⁷⁴. Le contexte français est également marqué par la pensée de certains philosophes de la biologie et de la médecine tels que Georges Canguilhem⁴⁷⁵. La première version du *Vampyroteuthis infernalis* est née d'un dialogue continu entre Louis Bec et Vilém Flusser, accompagnés par Edith Flusser⁴⁷⁶ dans les années 1980 (1981-1987). En 1974, Flusser rencontre l'artiste français *paranaturaliste* Louis Bec. Invités par ce dernier un été à Cabrières d'Aigues, près de Pertuis, Vilém et Edith Flusser s'installent dans la région. La commune de Robion est entourée de petits monts dans le Vaucluse, et c'est dans un paysage provençal aux odeurs de cerisiers, d'oliviers et de lavande que naît la fable du *Vampyroteuthis infernalis*. Dans les après-midi de discussions entre Louis Bec et Vilém Flusser, dont on peut voir la fréquence dans les agendas personnels de Vilém Flusser conservé aux archives (fig. 95) un monstre octopodal s'invite à la table.



Figure 95 — : Agenda personnel de Vilém Flusser où l'on peut lire à la date du samedi 15 janvier 1983 un rendez-vous avec Louis Bec (mention à 18 h de « Bec »).

473 FRANÇOIS, Jacob. 1970. *La logique du vivant. Une histoire de l'hérédité*. Paris : Gallimard.

474 MONOD, Jacques. 2014. *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*. Paris : Seuil.

475 Geogres CANGUILHEM, *Le normal et le pathologique*.

476 Dans la correspondance de Flusser à Louis Bec, Edith est mentionnée comme faisant partie des dialogues des deux amis, rapportant livres, références, et autres documents à la table où ils étaient installés tous les trois.

Nous avons trouvé dans les archives la correspondance entre Louis Bec et Vilém Flusser mentionnant le manuscrit du *Vampyroteuthis infernalis* dès l'année 1981. Plus tard, en 1984⁴⁷⁷, Flusser envoie à Louis et Dany Bec les pages 28 à 35 du tapuscrit jointes à une lettre, comme en atteste la figure 96. Ces pages sont toujours manquantes dans les archives de Vilém Flusser à Berlin. Cette partie manquante correspond au chapitre « (3) Phénoménologie (c) L'être dans le monde octopodal » qui semble coïncider dans la version publiée aux éditions Atropos au chapitre « III. Le monde des vampyroteuthis c. L'existence vampyroteuthienne⁴⁷⁸ » (Flusser, 2011).

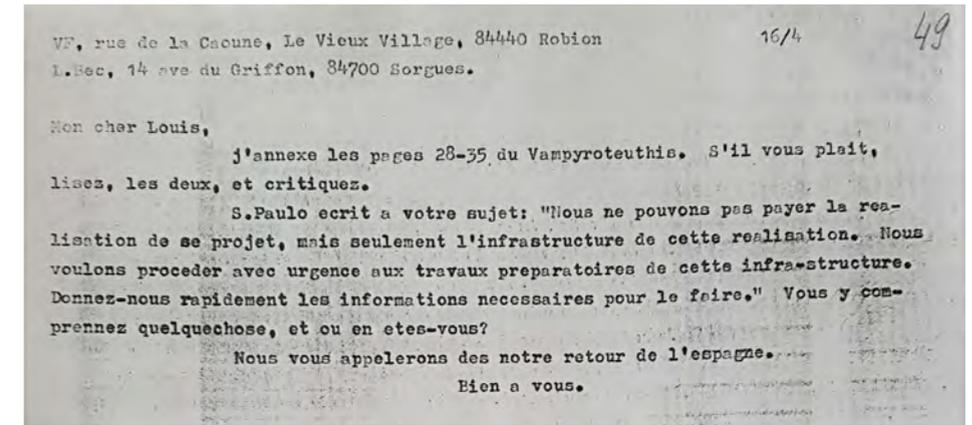


Figure 96 — : Lettre de Vilém Flusser adressée à Louis Bec du 16 avril 1984 attestant des pages 28 à 35 du *Vampyroteuthis*.

Une deuxième version allemande

La deuxième version est la traduction allemande (puis anglaise) de l'ouvrage pour sa première publication aux éditions Immatrix (1987). Elle est issue du premier tapuscrit français retravaillé. La première tentative a été de l'éditer pour une lecture sur ordinateur (via une disquette), mais elle n'a jamais été réalisée. Pourtant, la même année, ce médium est utilisé par Flusser chez ce même éditeur, en 1987, Flusser a publié sur disquette son essai *Does Writing Have a Future?* aux éditions Immatrix visibles figure 97. Ensuite, il a été publié pour la première fois par l'éditeur allemand Andreas Muller Polhe dans l'édition Immatrix en 1987 avec quinze dessins de Louis Bec. Ces quinze illustrations sont réalisées au point par Louis Bec afin d'anticiper leurs éventuelles copies numériques et leur encodage sur disquette.

477 Cette date a été confirmée par échange avec Anita Jori.

478 « III. The World of the Vampyroteuthis c. Vampyroteuthian Existence » [traduction personnelle]. Vilém FLUSSER, *Vampyroteuthis infernalis* [BR].

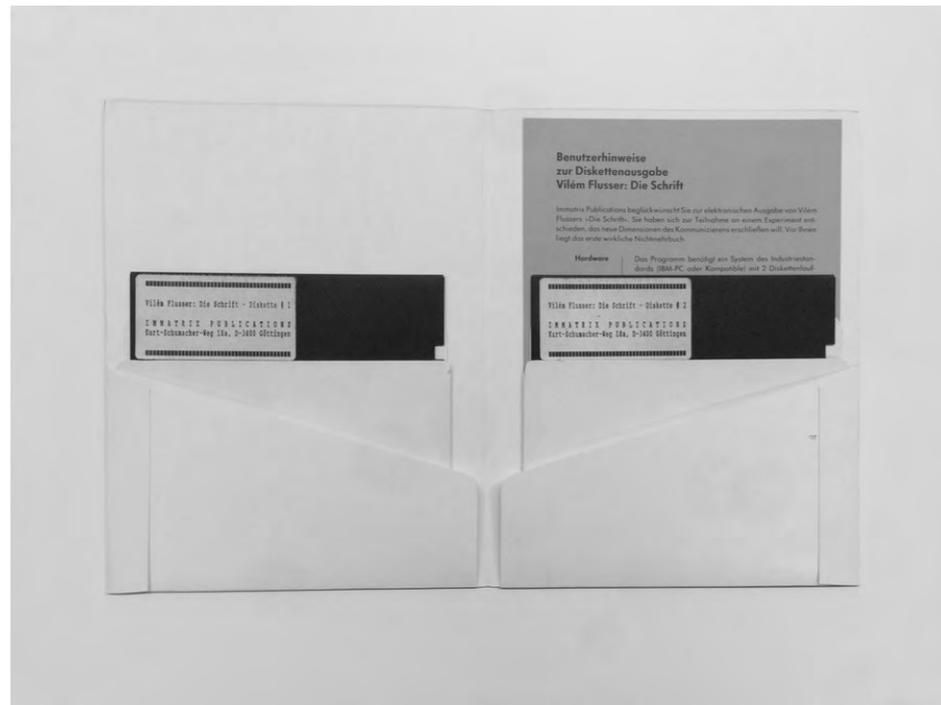


Figure 97 — : FLUSSER Vilém. Die Schrift. [édition sur disquette]. Immatrix, 1987

Dans un mail⁴⁷⁹ du 22 mai 2007 adressé à Rainer Guldin par Louis Bec, l'artiste s'exprime en ces termes :

« Vilém est venu un jour chez moi et m'a donné un manuscrit, écrit initialement en français, en geste de profonde amitié, et pour témoigner de l'intérêt qu'il portait au travail que je faisais sur des formes de vies artificielles et qu'il suivait attentivement. Il n'y avait aucune intention de publication au départ. Quelque mois après, Andreas Müller-Pohle, voulant éditer de nouveaux textes de Vilém, est tombé sur ce celui-ci. Il a donc voulu l'éditer. Vilém lui a signifié que ce texte m'appartenait. Dans la discussion qui s'en est suivie, Vilém m'a proposé de participer librement à cette édition et Andreas a accepté. J'ai donc imaginé d'inscrire Vilém dans ma taxonomie upokrinoménologique, à travers le développement de la classe des Vampyromorpha... Chacune des planches représente donc des attitudes des comportements ou des traits de caractère vampyromorphiques de Vilém. Je lui ai offert cette série de planches paranaturalistes. »

Dans la **figure 98**, Louis Bec choisit de représenter Vilém Flusser lui-même sous les traits de l'animal *Vampyroteuthis infernalis* imaginaire (paranaturel), expliquant que là était véritablement le sens des illustrations (**fig. 99**) complétant le texte de Vilém Flusser dans l'édition allemande.

479 BEC, Louis. 2007. Vampyroteuthis infernalis. Postscriptum. *Flusser Studies* [en ligne]. Vol 4 — Louis Bec [consulté le 18 avril 2022]. Disponibilité : http://www.flusserstudies.net/sites/www.flusserstudies.net/files/media/attachments/bec_vampyroteuthis.pdf

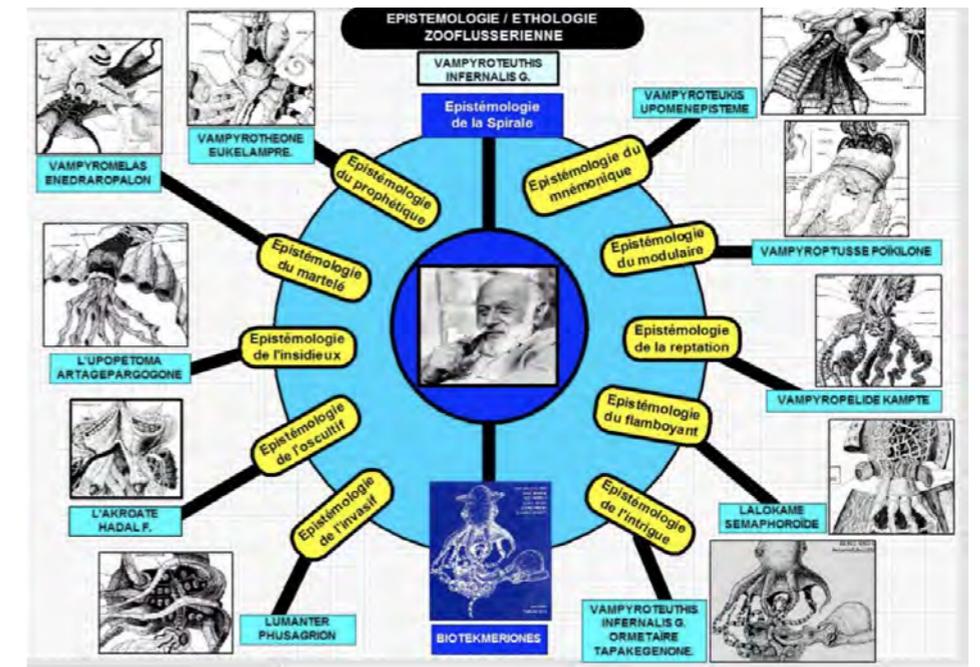


Figure 98 — : Représentation schématique des différents traits de caractère de Vilém Flusser présents dans les différents dessins de Louis Bec à propos du *Vampyroteuthis infernalis*. BEC, Louis. *Zoosystème* [en ligne]. Prague : CIANT, 2014. [Consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <https://books.apple.com/us/book/zoosyst%C3%A9mie/id993775694>

VAMPYROTEUKIS UPOMENEPISTEME

LE VAMPYROTEUKIS UPOMENEPISTEME APPARTIEN À L'ORDRE DES VAMPYROMORPHA. PARTICULIÈREMENT AVIDE DE BIOTEKMERIQUES, IL SYNTHÉTISE LES SUBSTANCES DOLOTROPHESIQUES. CELLES-CI SONT MÉMORISÉES DANS LES PLISTÈNES DU HNE-MOTEUKTE ET ESSAIMÉES SOUS FORME DE PASTILLES, LES PHULLOKARTES, À DES FINS ZOOSÉMIOTIQUES VERS D'AUTRES VAMPYROMORPHA.

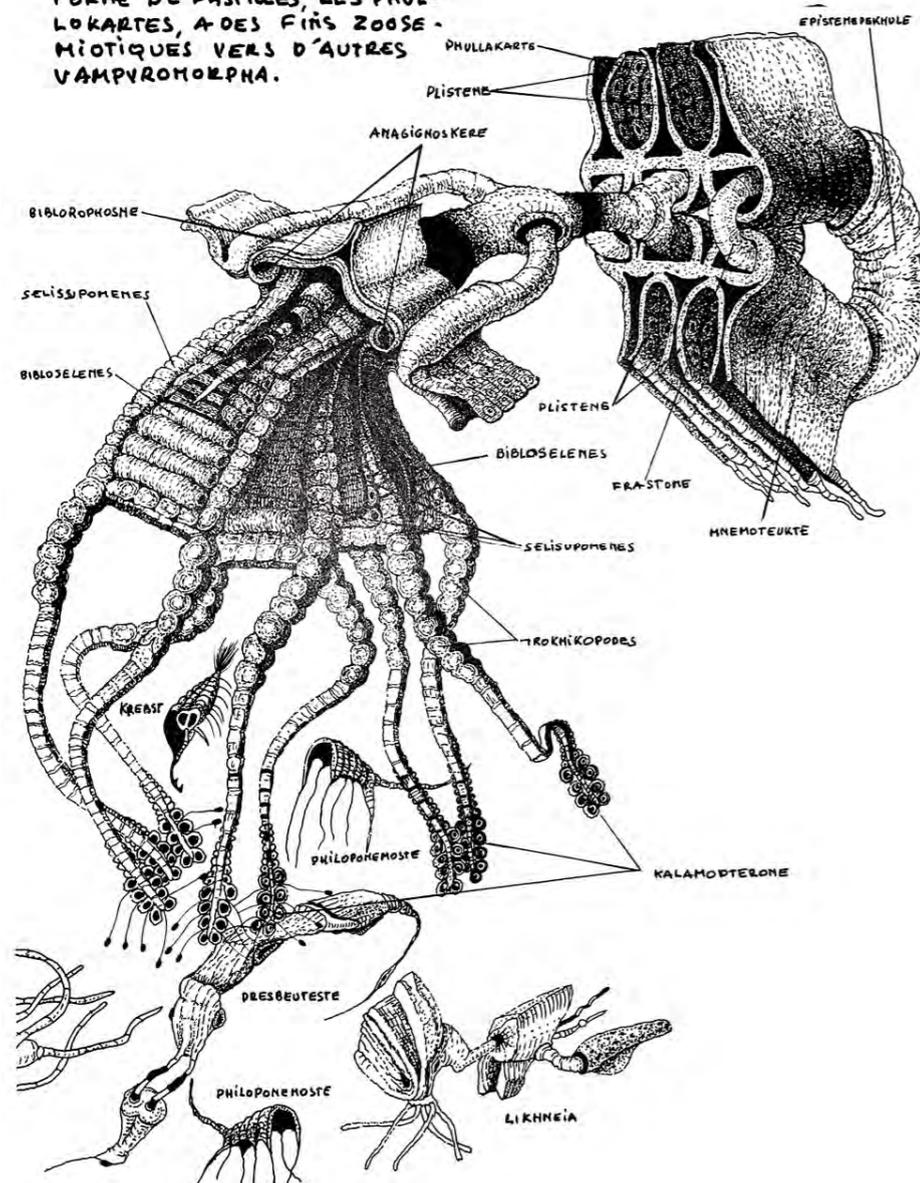


Figure 99 — « Planche 6 : Un incroyable capacité d'engrammer et d'absorption vertigineuse de pour un immense mémoire ». BEC, Louis. *Vampyroteuthis infernalis*. Postscriptum [en ligne]. *Flusser Studies* 4 — Louis Bec. 2007. [consulté le 18 avril 2022]. Disponibilité : http://www.flusserstudies.net/sites/www.flusserstudies.net/files/media/attachments/bec_vampyroteuthis.pdf

Une troisième version brésilienne

La troisième version est la version brésilienne de l'ouvrage que Flusser retravaillera jusqu'à sa mort (1991). La traduction, en tant que méthode, joue un rôle important dans les différentes versions. Flusser explique qu'il « traduit constamment des parties écrites en allemand vers le français, l'anglais et le portugais » dans une lettre pour Dora Ferreira da Silva écrite en 1981⁴⁸⁰ et publiée à la fin de la version brésilienne du *Vampyroteuthis infernalis*.

Nous voyons clairement l'évolution des derniers chapitres de l'ouvrage dans la dernière version. Le chapitre 4 représente sans doute l'aspect le plus précurseur de la réflexion de Flusser. Si nous comparons les trois versions, « (4) (b) La société octopodale » devient « IV. La culture vampyroteuthique : Sa vie en société » puis « b. *Vampyroteuthian Social Life* », donnant une importance singulière au vampyroteuthis au point d'en faire un personnage à part entière. Dans la dernière traduction anglaise de Rodrigo Maltez Novaes, le pronom *it* a totalement été supprimé ainsi que l'explique le traducteur, afin de « laisser [le vampyroteuthis] tel que Flusser l'avait initialement prévu, comme un personnage de fiction philosophique⁴⁸¹ ». Pour Novaes, faire référence (en langue anglaise) au Vampy par le pronom *it* serait une façon de neutraliser une image métaphorique du diable contenue dans le Vampy ; sorte d'hommage au premier livre de Flusser, *Histoire du Diable*, publié pour la première fois en portugais en 1965.

Natures de l'ouvrage

Flusser choisit de rendre compte de la créature du *Vampyroteuthis infernalis* à travers un geste d'écriture particulier mêlant généalogie, phénoménologie et « intuition ». Il lie ainsi théorie de l'évolution (issue de la biologie), expérience de pensée située (issue de la philosophie, notamment de la phénoménologie de Merleau-Ponty) et ce qu'il appelle intuition, qui deviendra par la suite la culture du vampyroteuthis et que l'on peut anachroniquement rapprocher des *animal studies* voire de l'ethnographie contemporaine qui prend en considération l'agentivité propre des animaux, plantes et autres non-humains avec qui nous vivons. En premier lieu, l'écriture de Flusser prend en compte l'histoire de l'évolution avec des notions de taxonomie telles que celles de « phylum », « classe », « espèce ». Ensuite, il propose une expérience de philosophie phénoménologique en prenant en considération l'être-au-monde du *Vampyroteuthis infernalis*. Enfin, il ajoute la notion de culture habituellement dédiée à l'action humaine et aux artifices humains dans ce qu'il appelle « orthonature »⁴⁸². Ainsi, les termes de « pensée », « vie sociale » ou « art »

480 « constantly translates parts written in German to French, English and Portuguese » [traduction personnelle]. Vilém FLUSSER, *Vampyroteuthis infernalis*. [BR]

481 « to leave [the vampyroteuthis] as Flusser originally intended, as a character of philosophical fiction » [traduction personnelle]. Vilém FLUSSER, *Vampyroteuthis infernalis*. [BR]

482 Flusser propose d'appeler orthonature la doxa selon laquelle la nature préexiste à la culture, dans laquelle l'homme est considéré comme un animal naturel, primate, qui transforme la nature en culture ; et d'appeler paranature l'idée paradoxale qui consiste à poser l'homme comme un animal culturel primitif ou la culture comme milieu de l'homme par lequel il construit de la nature. FLUSSER, Vilém. 1978. *Orthonature, Paranature*. Institut de recherche paranaturaliste [édition limitée]. Berlin : Vilém Flusser Archive.

décrivent les activités vampyroteuthiques. En utilisant trois niveaux de vision, biologique, phénoménal et culturel, Flusser déconstruit un modèle objectif de la connaissance et propose une nouvelle base pour les sciences naturelles. Ces trois points de vue permettent d'envisager l'étude d'un animal en dehors du registre de l'objectivité scientifique habituellement attendue des traités scientifiques (puisque nous sommes ici en présence d'un essai de science paranaturaliste).

Une fiction philosophique

Le *Vampyroteuthis infernalis* est une fiction philosophique mettant en scène une créature abyssale, qui est un modèle de totale altérité. Il habite l'obscurité. Il est écrasé par la pression. Son corps est mou. Il ne connaît le monde que par ses tentacules. Par un jeu dialogique et de miroir, la créature permet de réfléchir à notre propre condition, ainsi qu'en atteste cette citation présente au tout début de l'ouvrage « *De te fabula narratur* ⁴⁸³. » Flusser invite à réfléchir « sur la structure vertébrée du point de vue mollusque ». ⁴⁸⁴ Flusser y tente l'impossible : une expérience phénoménologique depuis l'être au monde d'un animal qui en tous points nous est différent — une façon pour le philosophe d'habiter l'inhabitable. Deux essais trouvés dans les archives peuvent éclairer l'ouvrage du *Vampyroteuthis infernalis* et ses apports pour la pensée occidentale : le premier est un essai inédit (en français : « *Considérations écologiques* ⁴⁸⁵ »); le deuxième est un essai en anglais, intitulé « *Toward a map of the body* ⁴⁸⁶ ». Les idées principales de ces deux textes sont interprétées dans la représentation graphique **figure 100**.

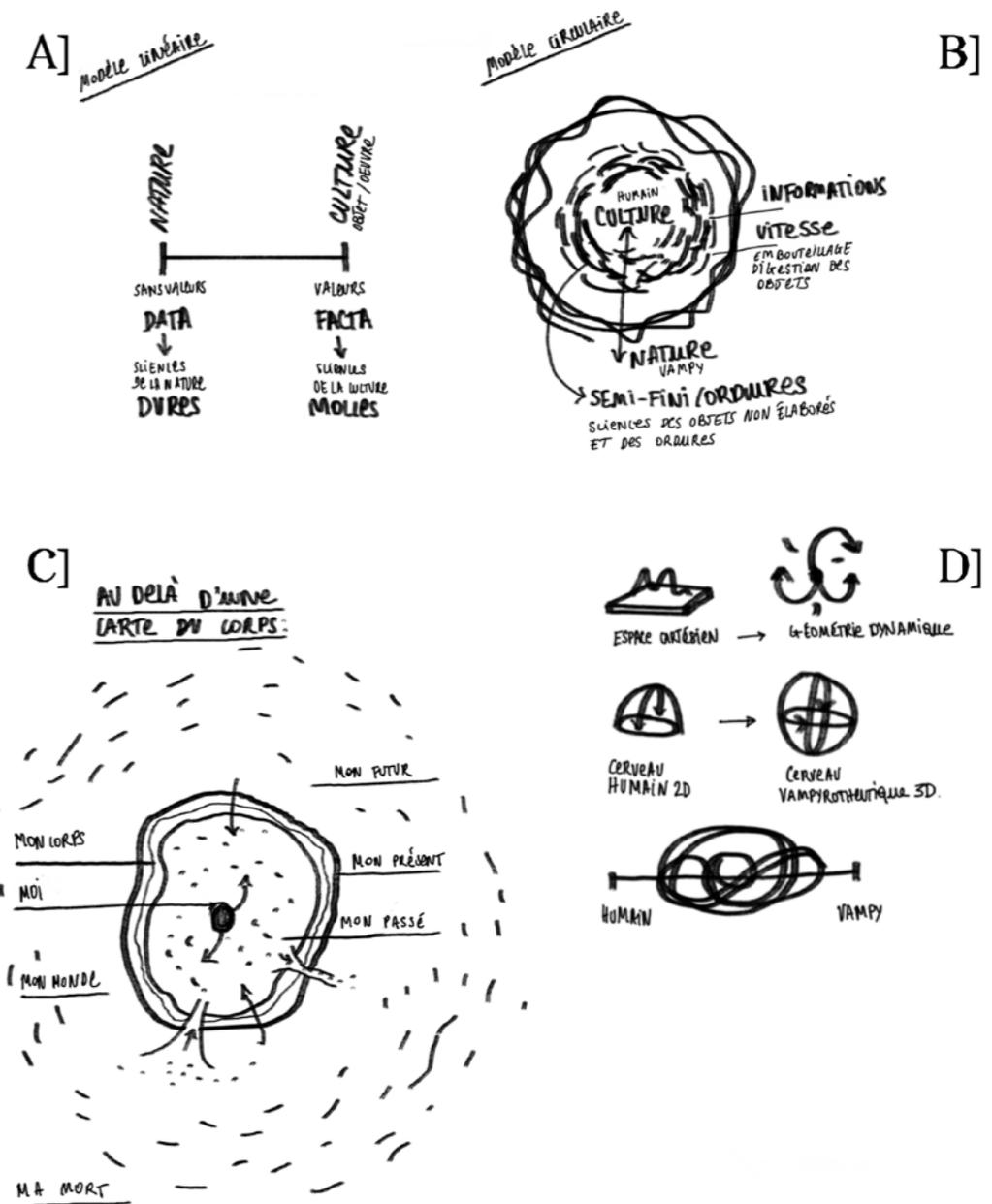


Figure 100 — : Schémas entre modèle linéaire et modèle circulaire dans les essais de Flusser, interprétation personnelle à la lecture de deux essais de Vilém Flusser : A) et B) Interprétation visuelle du modèle linéaire et circulaire tel que décrit par Vilém Flusser dans l'essai « *Considérations écologiques* », Flusser Studies 31 (2021), Flusser et la France [en ligne] : « Le modèle linéaire affirme que nous nous trouvons dans un monde "objectif" composé de deux types d'objets : les "naturels" et les "artificiels". Les objets "donnés", et les "objets faits". "Data" et "facta". Le modèle circulaire ne permet pas de distinction aussi nette. [...] Entre la nature et la culture, il entrepose la région des objets en voie de production, la région des "produits demi-finis". Et entre la culture et la nature, il entrepose la région des objets en voie de consommation, la région des "ordures". » C) Interprétation visuelle d'un modèle métabolique proposé par Flusser dans l'essai (non publié) *Toward a map of the body*. « let us label the wall of the sphere 'my body', the hole in the sphere 'myself', the context 'my world', and the horizon 'my death', and let us see how we can use such a model. [...] We can label the incoming influences from the context toward the sphere 'my future', or 'my problems'. We can label the outgoing secretions 'my past' or 'my products'. We can label the places of feedback between sphere and context 'my presence in the world,' or, more compactly, 'my present'. » D) Interprétation visuelle des différences de modélisation du monde entre l'humanité et la Vampy symbolisant les altérités du vivant.

483 Vilém FLUSSER, *Vampyroteuthis infernalis*. [BR], p. 28 : une note du traducteur Novaes permet de préciser que cette expression vient d'Horace « Mutato nomine de te fabula narratur » (« Ne changez que le nom et c'est de vous que l'histoire est racontée » [traduction personnelle]).

484 FLUSSER, Vilém et Louis BEC. *Vampyroteuthis infernalis*. [version française inédite] Berlin : Vilém Flusser Archive, 1981-1983.

485 FLUSSER, Vilém. *Considérations écologiques*. [essai en français non publié] Berlin : Vilém Flusser Archive. Ref. n° : 2 935.

486 FLUSSER, Vilém. *Toward a map of the body*. [essai] Berlin : Vilém Flusser Archive. Ref. n° : 2 800.

Dans ces dessins **figure 100**, nous visualisons l'écart décrit par Flusser entre un modèle linéaire nature/culture, qui repousse les concepts et disciplines aux deux pôles d'un axe) et un modèle circulaire (explicitant le continuum Nature/Culture et leurs interactions intimes) qui serait à produire. De l'espace cartésien à la géométrie dynamique, du cerveau humain 2D au cerveau vampyroteuthien 3D, de la vision dualiste de la nature/culture au modèle circulaire de la nature et de la culture : Flusser cherche une épistémologie nouvelle. Dans un tel modèle circulaire, on n'oppose pas les choses de la nature (*data*) et celles de la culture (*facta*). Il n'existe que des « objets semi-finis » et des « ordures ». ⁴⁸⁷ Dans un tel modèle circulaire, le design est précisément *une science de ces objets demi-finis et ordures*. Cela signifie que le design n'occupe pas un cadre hypothétique d'objets nouveaux à inventer, mais qu'il s'occupe d'objets déjà existants et de leur futur devenir (tel que cela peut être le cas dans les projets d'économie circulaire par exemple). Dans l'article « Pour un design radicalement circulaire. À propos des “Considérations écologiques” de Vilém Flusser ⁴⁸⁸ . », Victor Petit et Anthony Masure analysent les portées de l'essai *Considérations écologiques* pour la pensée du design contemporain. Pour les auteurs, l'intuition de Flusser « serait effectivement une révolution pour le design que de se fonder sur cette idée que la conception est par essence “non finie”. Jamais le design ne peut se clore sur lui-même. C'est là une nouvelle perspective pour l'*open design* qui inscrit l'inachèvement dans le processus même de création. » Flusser permet d'envisager un rôle pour le design où ce dernier est pris dans un modèle circulaire, ainsi il n'y a plus l'auteur d'un côté, et des objets finis de l'autre, mais des humains qui interagissent dans le monde et qui par leurs actions transformatrices agissent sur les choses du monde et font entrer dans la circulation des choses : objets semi-finis et ordures, des modes de digestions et d'humus. La fiction philosophique du *Vampyroteuthis infernalis* incarne cette vision dynamique du vivant et de la création qui nous intéresse pour définir les contours d'un *design vampyroteuthique*.

Un essai scientifique

Le *Vampyroteuthis infernalis* est également un essai scientifique ou pour le dire dans la terminologie de Flusser, un « essai para-scientifique ». En effet, en dialoguant avec l'artiste Louis Bec, Louis s'inscrit dans un projet de parascience, l'Institut scientifique de recherche paranaturaliste ⁴⁸⁹ dont Louis Bec est le président. Louis Bec, à travers son œuvre plastique, propose de nouveaux ordres « paranaturels » afin d'y faire intégrer ceux d'une paranature fictive et imaginée. L'artiste a contribué à la création de « sciences paranaturalistes » comme le montre la **figure 101**, qui, si elles ne sont pas de véritables sciences pratiquées dans des laboratoires, s'avèrent poser des questions tout à fait pertinentes d'un point de vue scientifique.

⁴⁸⁷ Vilém FLUSSER, *Considérations écologiques*.

⁴⁸⁸ MASURE, Anthony et Victor PETIT. Pour un design radicalement circulaire. À propos des « Considérations écologiques » de Vilém Flusser [en ligne]. *Flusser Studies*. 2021. [consulté le 18 avril 2022]. N° 31 : « Flusser et la France ». Disponibilité : <https://www.anthonymasure.com/articles/2021-07-design-circulaire>

⁴⁸⁹ Fondé en 1972.

Hypo zoologie	Étude d'une zoologie qui émerge des dessous de la zoologie.
Zoosystémique	Étude des systèmes zoologiques.
Biomologie	Étude des milieux et de leurs composants.
Sulbiomologie	Étude de sulfobiome, biome composés de soufre.
Biochromologie	Étude de l'importance des variables chromatiques et chromatophoriques.
Zoosémiotique	Étude des modes de communication entre Upokrinomènes et le monde animal.
Technozoosémiotique	Étude des modes de communication par des dispositifs technologiques.
Sulfozoosémiotique	Étude des modes de communication conditionnées par le soufre et les sulfonations.
Ambulobiomologie	Étude des mobilités et motricités physiologiques des Upokrinomènes.
Hygrozoosémiotique	Étude de communication par la buée, crachotis et nébulisations.
Bioluminophorologie	Étude des modalités phosphorescentes, bioluminescentes communicatoires.
Chétozoosémiotique	Étude portant les fonctions des pilosités. Chétotaxie ,
Chromatophorologie	Étude communication de messages colorés par des organes sémaphoriques.
Chromotemnosquamie	Étude des squames comme agent communicatoire des constituants dermiques.
Ikhnogénèse	Étude des traces diversifiées élaborées avant, pendant et après un trajet et un déplacement comportemental.
Necrochromologie	Étude des formes de la chromatique des disparitions.
Chromomorphogénèse	Étude des morphogénèses basées sur structures chromatiques.

Figure 101 — : Sciences paranaturalistes créées par Louis Bec au cours de sa vie. Voir : BEC, Louis. Zoosystémie.

Par exemple, la « Sulbiomologie » qui s'attache à l'« [é]tude de sulfobiome, biome composé de soufre. » est contemporaine de recherches établies sur les fonctionnements biologiques d'êtres vivants qui ne puisent pas leur source d'énergie dans le soleil. Les communautés vivantes dans ces espaces abyssaux utilisent la chimiosynthèse bactérienne et des associations symbiotiques pour survivre dans un environnement que nous pourrions qualifier d'hostile (pression et obscurité). Dans une publication intitulée « Symbiosis of methylotrophic bacteria and deep-sea mussels » (publiée dans *Nature* en 1987), les auteurs montrent ainsi l'implication non connue d'une bactérie avec les moules abyssales. Les cheminées hydrothermales qui sont découvertes en 1977 abritent de tels êtres, naturalisant ainsi cet aspect initialement paranaturel.

En effet, la fable est la mise à l'épreuve d'un modèle épistémologique non binaire d'étude du vivant. Dans ce modèle, l'animal n'est pas considéré comme un *objet de la nature* à étudier. En tant qu'être sentant, son être-au-monde et sa puissance d'agir (et de créer) sont pris en considération. C'est également un essai de science paranaturelle, qui fait la démonstration qu'il est possible de concevoir les sciences naturelles selon d'autres méthodes que la méthode scientifique naturaliste consistant à observer, décrire et interpréter. Dans la parascience du *Vampyroteuthis infernalis*, la théorie de l'évolution ne place pas l'humain au-dessus des autres espèces de la nature ; il y a une coévolution des espèces. ⁴⁹⁰ Dans cette parascience spéculative, la biologie n'est plus tenue à l'objectivité scientifique, c'est-à-dire à une description appuyée sur des faits vérifiables et reproductibles du réel. Elle peut devenir émotive. Cette autre science ne laisse pas de côté les expériences, les désirs et les rêves propres à la connaissance. Elle reconnaît les valeurs des acteurs de la

⁴⁹⁰ De ce point de vue, la figure de l'arbre a largement été remise en cause par la taxonomie actuelle lui préférant une visualisation circulaire de l'histoire évolutive des espèces ou encore le système graphique de clades.

science, des êtres et phénomènes qu'elle étudie. Fables et textes scientifiques cohabitent dans une telle science, baptisée « *fictitious science* ⁴⁹¹ » par Flusser, celle-là même proposée comme méthode d'écriture dans le *Vampyroteuthis infernalis*. Dans une lettre adressée à Louis Bec datée du 30 mars 1976, Flusser écrit : « Il faut une science nouvelle. À partir de l'expérience de ce geste. Faisons-la ? ». Le geste dont parle ici Vilém Flusser est celui de l'écriture-dialogue du *Vampyroteuthis infernalis*. Un geste dans le vocabulaire de Flusser est une action intentionnelle et incarnée. Vilém Flusser écrit, dans la conclusion de son ouvrage : « Un geste est libre, et non pas un mouvement conditionné, quand il signifie quelque chose dans une relation intersubjective. Écrire est un geste et non un réflexe conditionné, parce qu'il signifie quelque chose pour autrui. ⁴⁹² ». Le geste permet de penser. L'usage serait quant à lui programmé. La nouvelle épistémologie⁴⁹³, souhaitée par Vilém Flusser et par Louis Bec, est esquissée dans le traité du *Vampyroteuthis infernalis* à travers lequel le philosophe et l'artiste tentent un exercice de pensée non linéaire et interdisciplinaire, mêlant biologie, phénoménologie et théorie des médias. Ce polymorphisme d'inspiration, de forme et de discipline nous semble particulièrement fécond pour un hypothétique *design vampyroteuthique*.

Une œuvre de recherche-crédation

Nous pourrions dire de manière anachronique que Vilém Flusser travaille avec une méthodologie de « recherche-crédation ». En effet, selon l'article « *From Science to Fiction. Considering Vilém Flusser as an Artist* ⁴⁹⁴ » de Marcel René Marburger, nous pouvons voir dans le travail de Flusser l'intention de traduire « la théorie en pratique » comme le ferait un artiste. Nous trouvons en effet de forts rapprochements entre les manières de faire de Flusser et la recherche-crédation contemporaine, pour qui les formats de création peuvent incarner des hypothèses scientifiques à faire évoluer. Le chercheur Yves Citton propose ainsi de rapprocher Flusser de la recherche-crédation dans un texte ⁴⁹⁵ où il montre comment la pensée de Flusser éclaire trois angles morts de la recherche-crédation contemporaine. Ces derniers sont un idéal scientifique positiviste de la recherche, une conception encore trop productiviste de la création et la nécessité de désenclaver les lieux dédiés à la recherche-crédation. Avec Flusser, en effet, la recherche ne vise pas la découverte, mais la recherche *est* création. Bien que la définition ne fasse pas consensus tant la recherche-crédation est prise dans un système de légitimation et d'enjeu financier, Citton propose d'en garder la description qu'en faisait l'artiste Jean-Louis Boissier : « cultiver une position critique, à la fois contre le modèle universitaire et contre le système de l'art ».

491 Cette *fictitious science* est très proche du concept de SF chez Donna Haraway qui rassemble : *scientific fabulation, speculative feminism, science fiction, science fantasy, scientific fact, so far et string figure*. De nombreux rapprochements ont été faits entre Flusser et Haraway, qui pourtant ne semblent pas se connaître, durant le colloque *Vilém Flusser and His "Languages"* organisé par la Vilém Flusser Archive en 2021.

492 FLUSSER, Vilém. *Les gestes*. Paris : D'arts Éditeur et Éditions Hors Commerce, 1999. p. 193.

493 Louis Bec qualifie cette épistémologie de fabulatoire. Si l'épistémologie désigne habituellement l'étude critique des connaissances, « l'épistémologie fabulatoire [...] propose tout simplement la liberté et la faculté de palabrer sur la connaissance [...] de l'ouvrir à d'autres logiques à la gourmandise des mots et à leur invention. » BEC, Louis, *Zoosystème*. p.217.

494 Marcel René MARBURGER, « *From Science to Fiction. Considering Vilém Flusser as an Artist* »

495 CITTON, Yves. 2021. Vilém Flusser et la recherche-crédation. *Flusser Studies* [en ligne] n° 31, "Flusser et la France" [Consulté le 18 avril 2022]. Disponibilité : <http://www.flusserstudies.net/sites/www.flusserstudies.net/files/media/attachments/citton-recherche-creation.pdf>

Le *Vampyroteuthis infernalis* incarne avec brio cette intention. Il cherche en effet à mettre en pratique par l'écriture et la création des hypothèses et questions de recherche qu'elles soient biologiques, philosophiques et artistiques. Ce faisant, il teste ces hypothèses au sein de l'œuvre de recherche-crédation du *Vampyroteuthis infernalis*.

Héritages du vampyroteuthis face aux enjeux actuels : depuis l'étude du « vivant mort » vers l'étude du « vivant vivant »

Le processus d'écriture du *Vampyroteuthis infernalis* peut servir de « phare » dans le « moment du vivant ⁴⁹⁶ » que nous traversons actuellement. En tant qu'organisme biologique, fictionnel et culturel, le Vampy constitue un « méta-modèle » de la pensée de Flusser, dont nous pouvons tirer des enseignements. Quels héritages pouvons-nous en faire ?

La biologiste Carol Kaesuk Yoon, dans son livre *Naming Nature : The Clash Between Instinct and Science* ⁴⁹⁷, défend l'idée selon laquelle nos catégories sont autant culturelles que scientifiques. Elle nous rappelle que notre façon de nommer les organismes, animaux, végétaux, bactéries, virus et minéraux reflète notre vision du monde bien plus qu'un « ordre naturel ». Ainsi, avec Flusser, poser une question culturelle sur l'animal du *Vampyroteuthis infernalis* est un geste qui peut participer à une nouvelle vision scientifique.

Flusser exprime cette nécessité d'un détour par la biologie : « la biologie nous permet de voir dans le *Vampyroteuthis infernalis* la réalisation de possibilités qui n'ont pas trouvé à se réaliser en nous ⁴⁹⁸. » Par possibilité, Flusser entend une forme de l'évolution qui a fait que le *Vampyroteuthis* est du genre *Vampyroteuthis* et que nous sommes du genre *Homo*. Le modèle du vivant proposé par la biologie évolutive néo-darwinienne⁴⁹⁹ est une vision fratricide, qui se réalise par hasard et nécessité. Ce modèle est programmatique en ce que la vie y est étudiée comme un livre dont le sens serait à décoder. Un tel modèle du vivant nous prépare, selon Flusser, à vivre une révolution industrielle biotechnologique qui remplacera les machines inanimées par des machines animées et des appareils.⁵⁰⁰ La vision tierce de la biologie que recherche Flusser est celle où nous n'aurons pas besoin de ramener l'animal mort pour en étudier le cadavre et le disséquer, mais celle où le *Vampyroteuthis infernalis* nous apparaîtra *vivant*. Flusser évoque sa visite de l'aquarium de

496 WORMS, Frédéric. 2016. *Un moment du vivant ?*, Paris : Presses Universitaires de France. Pour le philosophe français Frédéric Worms, ce « moment du vivant » que nous traversons actuellement nous oblige à quitter deux modes de perceptions du vivant : le réductionnisme et la sacralisation. Ce moment concerne les effondrements, l'anthropocène et la sixième grande extinction causée par les activités anthropiques discutées dans le chapitre 3 de ce manuscrit.

497 Carol Kaesuk YOON, *Naming nature: the clash between instinct and science*.

498 FLUSSER, Vilém et Louis BEC. 2015. *Vampyroteuthis infernalis : un Traité, suivi d'un Rapport de l'Institut scientifique de recherche paranaturaliste*. Trad. de l'allemand par Christophe Lucchese. Bruxelles : Zones sensibles, [1981-1987]. p.68.

499 Le néo-darwinisme est la réception qui sera faite du darwinisme suite à Menguel et dont découle l'idée d'un darwinisme social, complètement absent du projet de Darwin. Au contraire, la biologie écoévolutionniste de Lynn Margulis propose une vision de la théorie de l'évolution basée sur la coopération et la symbiose comme discuté au chapitre 3 de cette thèse. On peut reprocher à Flusser une vision très compétitive du vivant où il est vu comme un modèle de survie contre la mort de tous. Cette remarque est à nuancer, car si Flusser amène une vision de la vie comme une digestion de tous les autres au risque de se faire soi-même digérer, c'est également pour contrebalancer une forme d'admiration pour le vivant qui empêcherait de la penser.

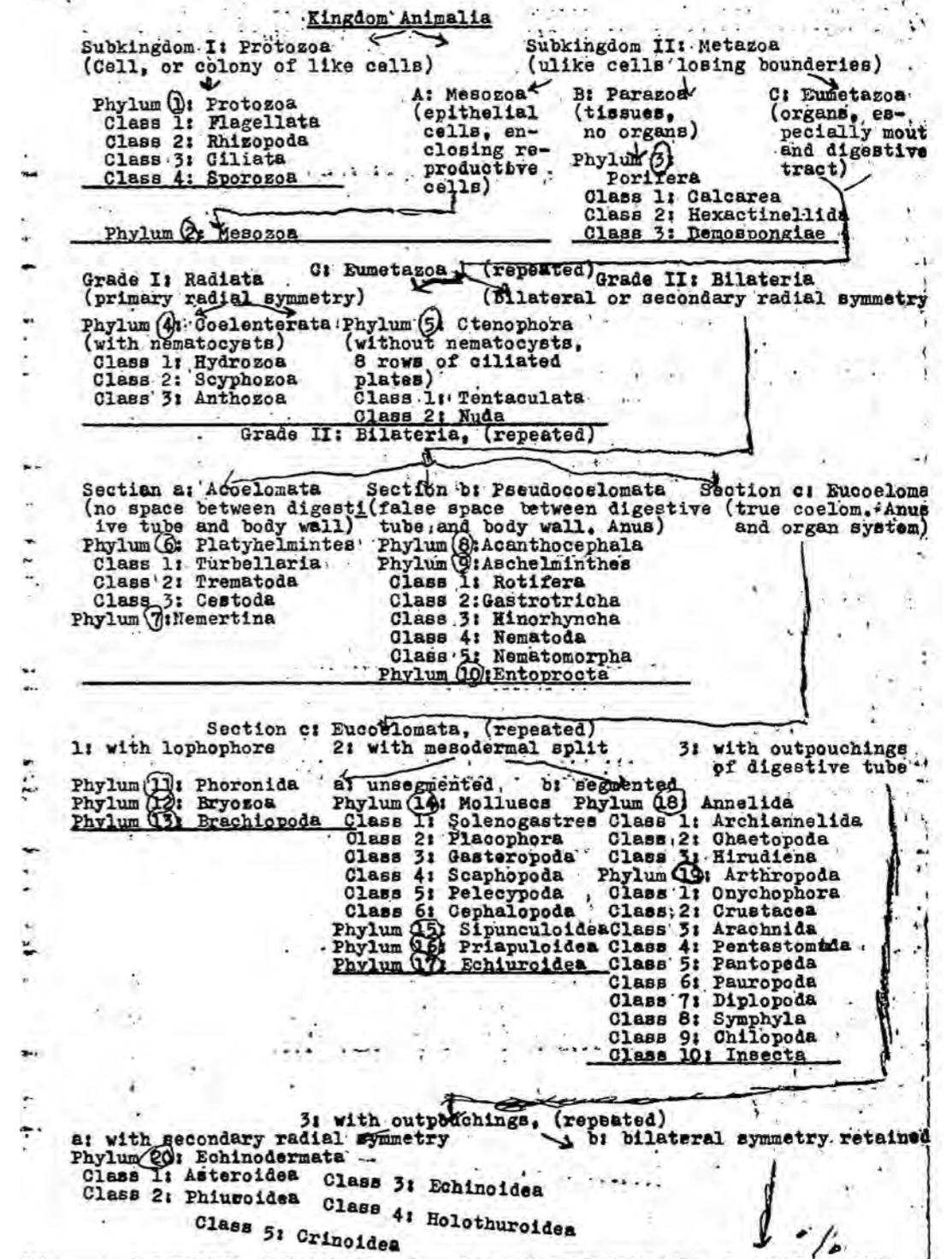
500 Vilém FLUSSER, *Vampyroteuthis infernalis*. [BR], p. 214.

Banyuls-sur-Mer, et sa rencontre avec un poulpe. Il écrit « l'auteur a vu son cousin sortir de l'aquarium de Banyuls : son regard malveillant suivait les mouvements de l'observateur fasciné. ⁵⁰¹ »

Aussi, une certaine lecture du *Vampyroteuthis infernalis* permet de penser que Flusser trouve la limite des méthodologies de la biologie évolutive, basée sur la classification et la taxonomie, démontrant qu'elle n'arrive pas à saisir la complexité de l'animal. Des questions qui « comptent » telles que : Comment pense le *Vampyroteuthis infernalis* ? Comment communique le *Vampyroteuthis infernalis* avec ses congénères ? seraient pour Flusser plus pertinentes.

La perspective des deux amis est sans doute un peu différente concernant l'évolution. D'un côté, Louis Bec crée une « paranature » à la fois vivante et artificielle et en fera le projet de sa vie, qu'il a rendue accessible et visible dans l'ouvrage *Zoosystème* ⁵⁰² ; de l'autre, Flusser pose des hypothèses qui ne sont pas résolument fictionnelles, mais qui sont, de notre point de vue, de vraies interrogations biologiques et épistémologiques. En atteste l'essai/diagramme (figure 102) *Kingdom animalia, subkingdom I stammbaum* ⁵⁰³ *vampyroteuthis*. ⁵⁰⁴

Nous reproduisons cet « essai » (diagramme) ci-dessous :



501 « the author has seen his relative emerge from the aquarium of Banyuls: his spiteful gaze followed the movements of the fascinated observer. » [traduction personnelle]. FLUSSER, Vilém. op. cit., 2011, p. 124.

502 Louis BEC, *Zoosystème*.

503 *stammbaum* signifie « arbre généalogique » en allemand. L'essai peut être traduit par « Royaume animal, sous-royaume arbre généalogique du *Vampyroteuthis* ».

504 Dans les archives : 1— VIEF-01_1844_KINGDOM ANIMALIA — SUBKINGDOM I STAMMBAUM VAMPYROTEUTHIS.

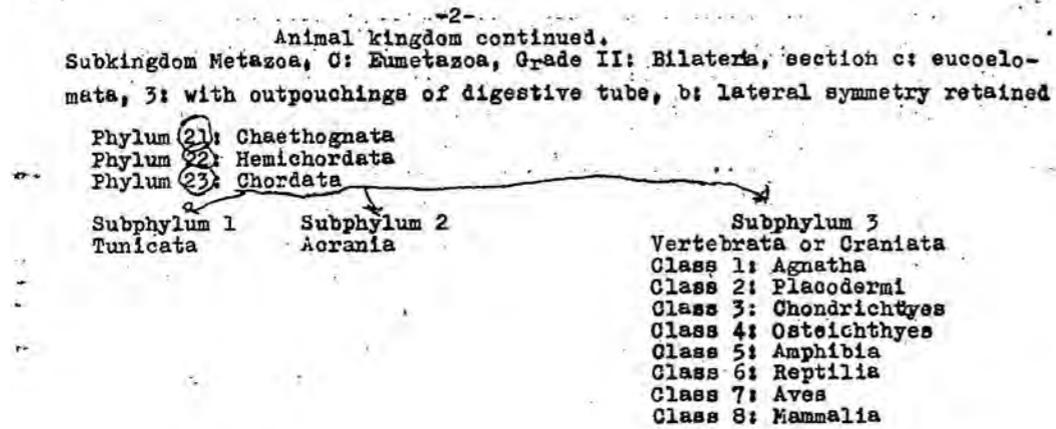


Figure 102 — : FLUSSER, Vilém. Royaume animal, sous-royaume arbre généalogique du Vampyroteuthis. [essai]
 Berlin : Vilém Flusser Archive. Ref. no : 1 844.

Cet essai n'en est pas un, et il s'agit plus vraisemblablement d'un document qui atteste des recherches de Vilém Flusser sur la taxonomie du *Vampyroteuthis infernalis* et montre ainsi une forme d'intérêt dans ces classements (ainsi qu'en atteste sa visite de l'Aquarium précité et ses recherches historiques de l'expédition menée par Carl Chun).

Le détour par la biologie opéré par Flusser est également, selon nous, une manière de prendre la mesure de l'héritage de notre histoire naturelle. Une histoire qui tente de décoder le « livre de la nature ⁵⁰⁵ » qui nous préexiste et qui contiendrait un « ordre naturel ». Nous sommes en effet héritiers de ces images, de ces modes de représentations, de ces modalités expressives de formes de voir le monde. En hériter est une tâche ⁵⁰⁶. Nous héritons des théories scientifiques, des divisions de la pensée moderne, nous héritons des gestes qui nous ont précédés. Dire cela, c'est commencer à appréhender notre manière de saisir cet héritage. Dans le sillage de Flusser, nous pouvons d'une part réfléchir à cet héritage, ne pas le recevoir comme quelque chose qui irait de soi, innocent⁵⁰⁷, et nous pouvons également planter d'autres images sur notre sol commun.

Bien que Flusser n'ait a priori pas eu connaissance des recherches en microbiologie qui se passaient en Russie et aux États-Unis à son époque, ses théories rejoignent celles de la microbiologiste Lynn Margulis (dont nous avons déjà abordé les recherches au chapitre précédent). Chez Lynn Margulis, il s'agit en effet d'une révolution dans notre manière de comprendre le vivant où : « La vision autopoïétique de la vie est circulaire ⁵⁰⁸. » Cette révolution est réactualisée — grâce notamment aux recherches de Donna Haraway qui ont contribué à faire connaître la biologiste dans le champ de la pensée contemporaine puis aux recherches de Bruno Latour qui en a suivi les prolongements par ses ouvrages sur Gaïa⁵⁰⁹. Dans l'article « *The Epistemic Revolution Induced by Microbiome Studies: An Interdisciplinary View* », des auteurs venant de disciplines différentes (biologie évolutive, écologie, études des écosystèmes, arts, médecine, analyses médico-légales, agriculture, droit et philosophie des sciences) montrent comment les recherches en microbiologie bouleversent un vaste champ de pratiques qu'ils proposent de voir comme une « révolution épistémique pluridisciplinaire ⁵¹⁰ ». Les auteurs de l'article décrivent les changements qui s'opèrent dans cette manière de voir le vivant. Ils insistent sur le décalage que créent les recherches en microbiologie :

« Ensemble, cette écologisation des concepts traditionnels, cette focalisation sur les interactions systémiques et multi-scalaires avec les microbes, et l'adjonction d'individus moins familiers dans divers domaines contribuent à une cinquième tendance forte induite par les études sur

505 Flusser utilise cette expression dans plusieurs essais.

506 Par exemple, Haraway, Stengers et avant elles Whitehead se sont posé la question « Comment hériter ? ». Cet héritage et ce qu'il exige comme réponse bouleversent l'attitude intellectuelle chez ses penseurs.

507 En finir avec l'innocence est une idée défendue par Isabelle Stengers à partir du travail de Donna Haraway dans DESPRET, Vinciane. 2013. En finir avec l'innocence. Dialogue avec Isabelle Stengers et Donna Haraway. *Penser avec Donna Haraway*. p. 22-45.

508 « The autopoietic view of life is circular. » [traduction personnelle]. Voir MARGULIS, Lynn et Dorion SAGAN. 1986. *Microcosmos*. Berkeley : University of California Press. p. 264.

509 LATOUR, Bruno. *Face à Gaïa : huit conférences sur le nouveau régime climatique*. Paris : La découverte, 2015.

510 « pluridisciplinary epistemic revolution » [traduction personnelle]. Voir BAPTESTE, Éric et al. 2021. The Epistemic Revolution Induced by Microbiome Studies: An Interdisciplinary View. *Biology*. Vol. 10, n° 7, p. 651.

le microbiome dans toutes les disciplines qui s'intéressent aux microbiomes : une dé-anthropocentrification de notre perception du monde. En effet, les études sur le microbiome nous incitent à réaliser que les humains occupent des positions moins centrales ou moins prestigieuses dans la nature que nous ne le pensions ⁵¹¹ ».

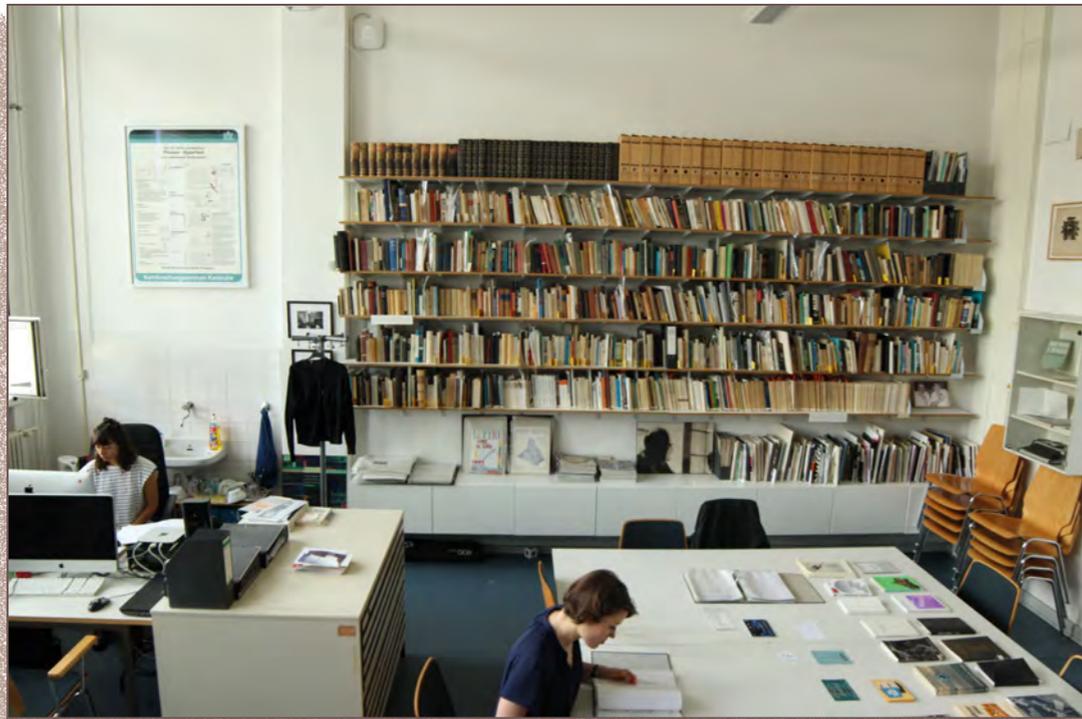
Ainsi, les recherches de Vilém Flusser sur le *Vampyroteuthis infernalis* nous semblent trouver un écho tout à fait intéressant et pertinent par rapport aux problématiques contemporaines qui tentent d'intégrer une vision où l'individu (la cellule, le gène, etc.) aurait moins d'importance qu'une vision écologique, intégrative et relationnelle.

Afin de travailler ces questions théoriques et d'articuler les apports du *Vampyroteuthis infernalis* à un design mêlant ingénierie et biologie marine, j'ai travaillé à une forme de recherche-création mêlant écriture littéraire et création radiophonique.

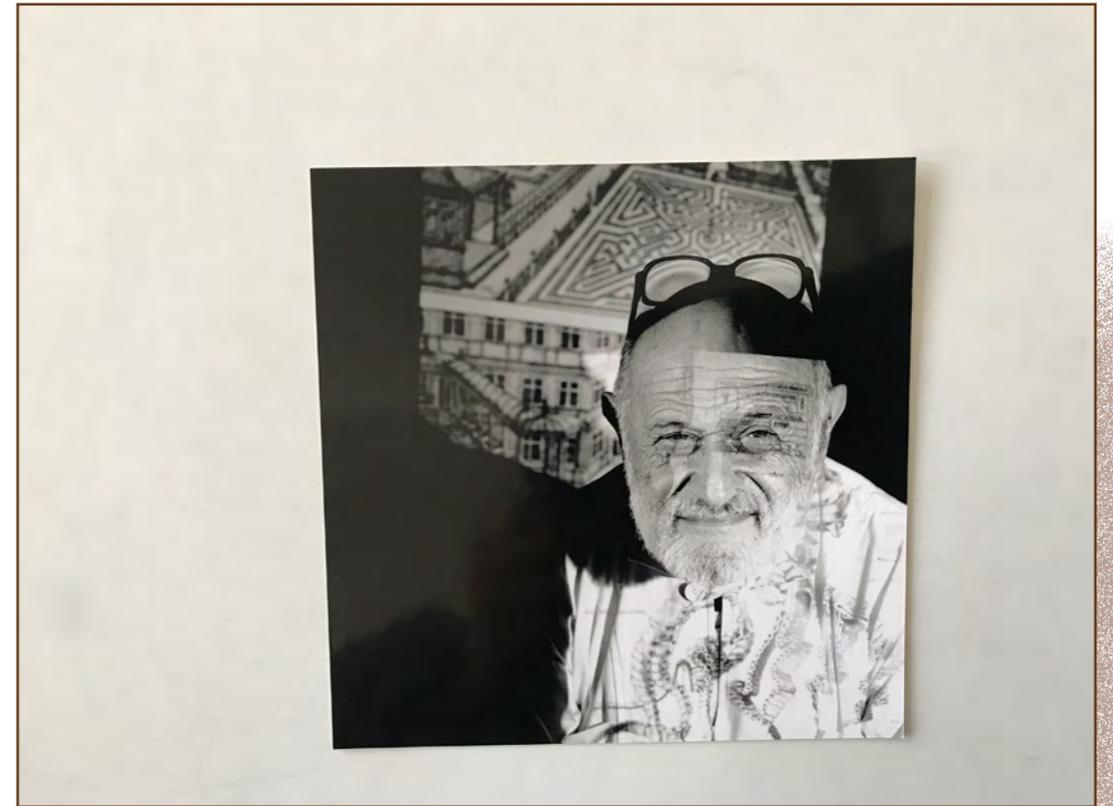
Cahier d'images

Ce cahier d'images revient sur le travail en archive, dans les archives de Vilém Flusser à Berlin. Ce travail a été supervisé par la chercheuse Anita Jóri.

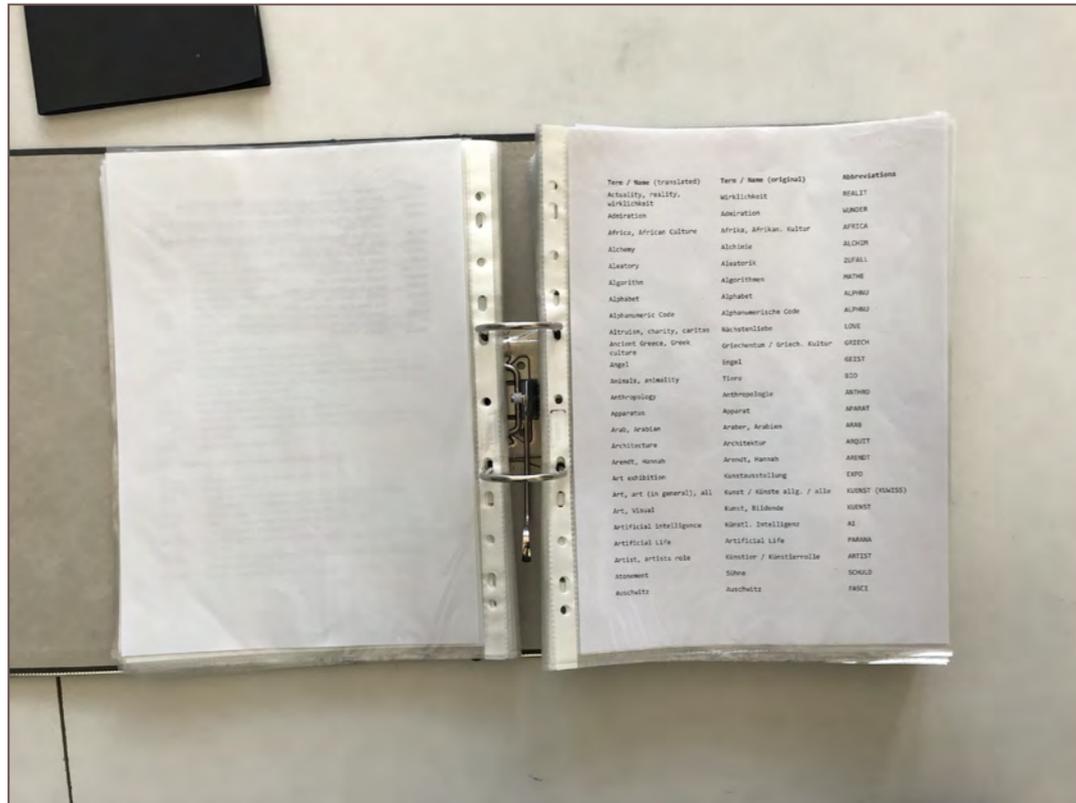
511 « Together, this ecologization of traditional concepts, this focus on systemic, multi-scalar interactions with microbes, and the adjunction of less familiar individuals into various fields contribute to a fifth strong trend induced by microbiome studies across all disciplines that care about microbiomes: a de-anthropocentrification of our perception of the world. Indeed, microbiome studies prompt us to realize that humans occupy less central or less prestigious positions in nature than we believed we did. » [traduction personnelle] Éric BAPTESTE et al. The Epistemic Revolution Induced by Microbiome Studies: An Interdisciplinary View. *Biology*.



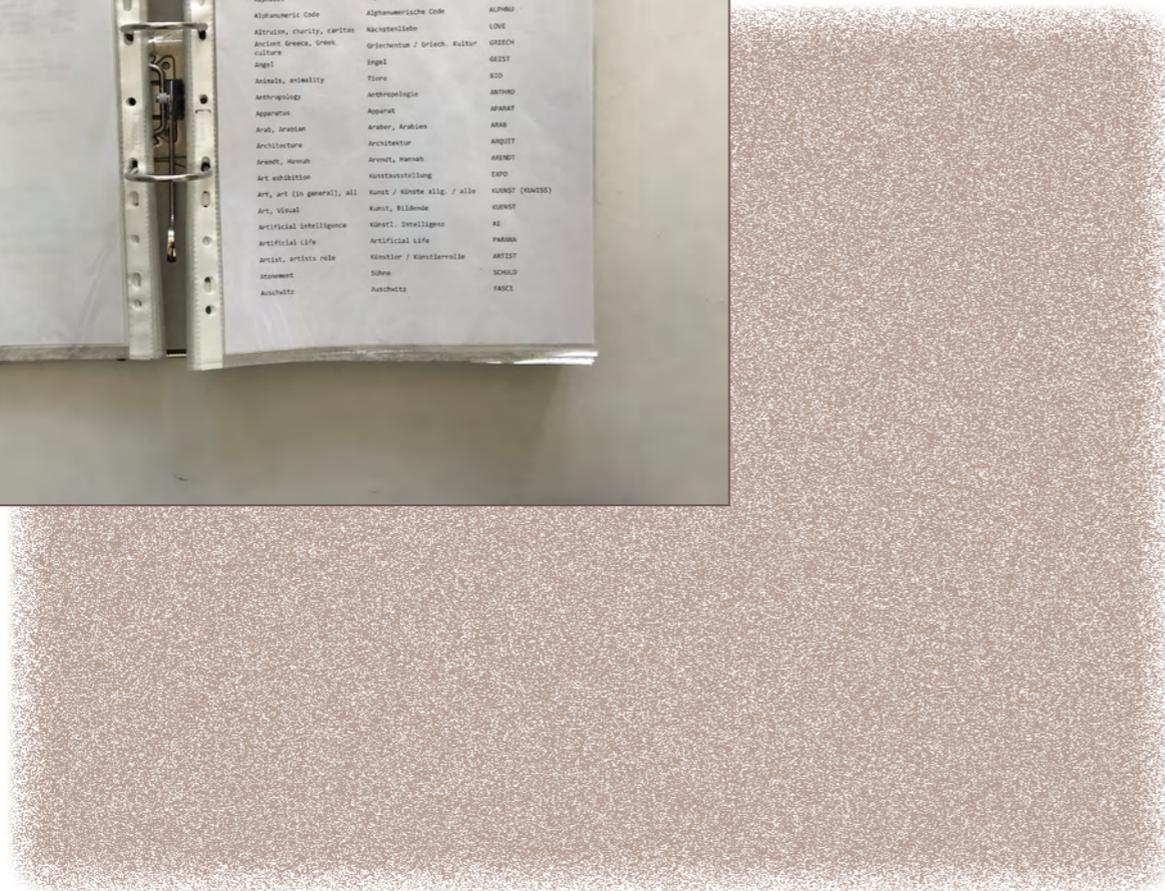
01



02

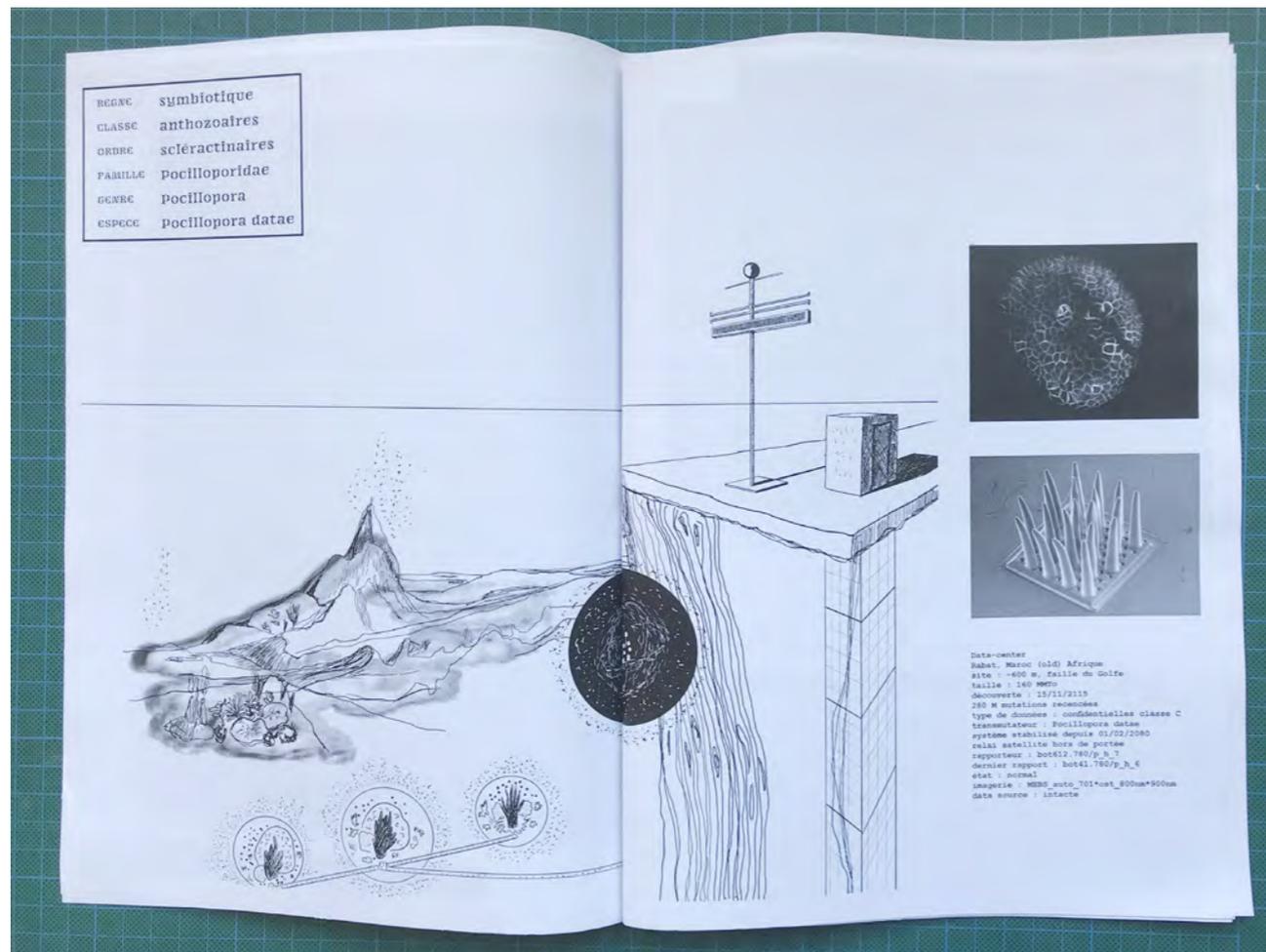


03



04





06

1. Photographie prise dans la Vilém Flusser Archive à Berlin de la bibliothèque de voyage reconstituée à partir des dons d'Edith Flusser, épouse de Vilém Flusser.

2. Ce tirage photographique est issu d'une série de portraits photographiques réalisés par Ed Sommer ; le jeu avec les projections permet de créer un lien entre Vilém et sa pensée complexe représentée ici par la figure du labyrinthe et un dessin de Louis Bec issu de l'ouvrage du *Vampyroteuthis infernalis*.

3. Photographie du classeur permettant de trouver les codes selon lesquels les entrées sont rangées. Par exemple, si l'on cherche les textes de Flusser se rattachant à l'entrée « algorithmes », il faut aller voir les textes classés sous l'abréviation « MATHE ».

4. Photographie prise à la Vilém Flusser Archive : cette photographie de Vilém Flusser a été prise au symposium *Ethics in Industrial Design?* donné le 20 avril 1991 à la *Design Academy* d'Eindhoven.

5. Photographie : derrière une note *Vampyroteuthis infernalis* Ein projekt von Miki Malor 8.- 26.9.1999, Salle de Bal, 1090 Wien crédits : Herbert Preyer-Bayer. Miki Malor est une metteuse en scène autrichienne qui consacre en 1999 une pièce « sous-marine » au *Vampyroteuthis infernalis*.

6. « 20118_11_05_datacenter_Rabat_bot612.780/p_h_7_1 », double page illustrée pour un fanzine dirigé par Astrid de la Chapelle, *Futu VI*, Paris, autoédition, novembre 2019.

2. Réalisation d'une création radiophonique : « Notre monde vampyroteuthique »

Dans ce chapitre, nous avons présenté le travail précurseur de Vilém Flusser à travers le prisme de ses ouvrages sur le *Vampyroteuthis infernalis*. Nous allons maintenant présenter une production de recherche-création de ces différents concepts à travers un travail radiophonique mené pendant la thèse. Il s'agit d'un podcast portant sur le *Vampyroteuthis infernalis*. Un premier texte intitulé *Notre monde vampyroteuthique* a été écrit pour une performance au Festival du poulpe de Marseille (2019). Ce premier texte a évolué en vue d'une interprétation et de la création d'un podcast. La deuxième version du texte *Notre monde vampyroteuthique* est interprétée par le comédien Raphaël Caire et enregistrée au studio de l'institut supérieur des arts et du design de Toulouse par Claude Tisseyre (isdaT), puis diffusé dans dans l'émission CPU⁵¹² de radio FMR et sur radio PNode⁵¹³. Nous souhaitons exposer ici le podcast comme format de recherche-création à partir de l'exemple précis du *Vampyroteuthis infernalis*.

Choix du podcast comme format de recherche en design

Dans le cadre de notre thèse de doctorat, nous avons créé un *média dialogique*, un podcast⁵¹⁴, comme expérience de format pour la recherche-création. Le podcast permet de répondre au besoin d'un point de vue situé : le podcast encapsule une voix, qui prolonge un corps, qui incarne un point de vue partial et une histoire particulière. Le podcast permet aux invités de dialoguer sur un sujet précis et aux récepteurs de ces informations de recevoir la voix ainsi médiée qu'ils peuvent prolonger de leur propre dialogue intérieur. Ce pourquoi j'aime décrire le podcast, du moins, celui que j'ai créé, *Bio Is the New Black*, comme un *média dialogique*.

Dans ses *Écrits radiophoniques*⁵¹⁵, Walter Benjamin montre que, dès sa création, la radio est un média aux multiples publics et d'ambition plurielle : littéraire, pédagogique et culturel. Walter Benjamin l'utilisera pour inventer des modes de dialogues inédits tels que des causeries radiophoniques pour enfants, des pièces radiophoniques, des jeux radiophoniques, ou encore des modèles radiophoniques. Benjamin pense qu'une transformation de la radio doit passer par une réflexion sur ses techniques et notamment la voix, qui doit permettre à l'auditeur d'inviter le *speaker* dans son espace intime. Benjamin défend en effet l'idée selon laquelle le *speaker* ne doit pas se séparer de l'auditeur. Aujourd'hui,

512 *Bio is the new Black* [en ligne], CPU. [Consulté le 1er avril 2022]. Disponibilité : <https://cpu.dascritch.net/serie/Bio%20is%20the%20new%20Black>

513 P-Node [en ligne]. [Consulté le 1er avril 2022]. Disponibilité : <https://p-node.org/>

514 Le média du podcast est composé d'une série de fichiers audio numériques qui sont écoutables via Internet. Vient de la combinaison de iPod et *broadcast*, l'iPod étant un baladeur mp3 de la marque Apple et *broadcast* signifiant « diffusion ».

515 BENJAMIN, Walter. 2014. *Écrits radiophoniques*. Paris : Allia.

la situation semble plus proche de celle que Benjamin espérait, et nous sommes, en tant qu'auditeurs, en capacité de produire des contenus radiophoniques depuis nos téléphones portables⁵¹⁶. Le podcast, comme prolongement de la radio, augmente sa puissance de diffusion et d'appropriation première, en ce que la création de ce médium ne dépend plus d'une plage de diffusion et que les médias audios peuvent se partager et se diffuser d'autant plus largement. Que devient alors une recherche, si cette dernière se fait sous la forme d'un *média dialogique* de type podcast ?

Le podcast comme art dialogique

La voix est immédiate ; pour autant, « avoir une voix » n'est pas une action immédiate. Il faut en quelque sorte, installer l'avoir voix, faire en sorte qu'elle puisse exister. Saul Pandelakis⁵¹⁷ souligne à travers un cadre conceptuel de la théorie *queer* et du féminisme radical qu'il faut à la fois s'occuper de la situation de cette parole tout autant que de la réception de cette voix. Or, le podcast peut répondre tout à fait à la question de la réception. La voix, encapsulée dans les fichiers audios, mute à travers les multiples écoutes en ligne, au gré des recommandations, des communautés et des réseaux sociaux. Ce n'est sans doute pas le cas du podcast *Bio Is the New Black* (dont l'audience est relativement confidentielle), mais on peut noter en France un succès considérable de podcasts sur des sujets d'étude de genre qui ont permis à des sujets liés au féminisme par exemple d'être mieux connus et partagés dans la société. Les sujets de ces podcasts (citons sans hiérarchie ni exhaustivité *Les couilles sur la table*, *Un podcast à soi*, *La Poudre*, etc.) transitent ensuite dans dans les conversations amicales et discussions interindividuelles et sont débattus, c'est-à-dire, dans le vocabulaire d'Arendt, que ces podcasts permettent de faire société. « Car le monde n'est pas humain pour avoir été fait par des hommes, il ne devient pas humain parce que la voix humaine y résonne, mais seulement lorsqu'il est devenu objet de dialogue. » écrit Arendt dans *Vies politiques*⁵¹⁸. En effet, pas de podcast sans diffusion. La voix (s')écoute et se transforme.

La situation de conversation du podcast, c'est ce que l'on appellerait en sciences expérimentales les conditions initiales de l'expérience. Les conditions initiales d'une expérience sont un ensemble de facteurs à prendre en compte dans l'analyse des résultats : température, typologie du microscope utilisé, lignée de cellules, pH, etc. Avec le média dialogique du podcast, quelles sont nos conditions d'enregistrement ? Qu'installe-t-on au milieu de la table ? Où sommes-nous ? Qui est là ? Sommes-nous dans un lieu particulier ? Chacune de ces *conditions d'existence matérielle de l'avoir voix* influence ce qui va se dire. Ce que je cherche dans les voix que j'interview, c'est ce que l'on ne connaît pas. Ce qu'il faut aller débusquer dans la voix, et qui implique un temps long, c'est ce qui arrive, et qui n'était pas prévu. Le réel est cela, sa consistance existe dans ce non-programmable.

516 Ainsi qu'en attestent les services tels qu'*Anchor*.

517 PANDELAKIS, Saul. 2018. *Queeriser la voix du maître : tactiques pour penser Alexa, Siri, & co. JE Vox Machines* (UT2J).

518 ARENDT, Hannah et Éric ADDA (trad.) 1974. *Vies politiques*. Paris : Gallimard.

Pourtant, le paradoxe du podcast tient sans doute dans sa préparation intense⁵¹⁹ : chaque phrase, chronique, question, est choisie dans l'opération de montage, elle est programmée. Je choisis souvent de commencer par l'évidence. Ce que l'on peut appeler *doxa* en philosophie. Raconter ce que l'on pourrait dire, mais qu'au fond, je ne cherche pas à savoir. Ce que nous cherchons par la voix : c'est ce que l'on ne connaît pas. Et pourtant, c'est ce programme minimal qui permet à l'autre de prendre un espace. D'installer sa voix, de chercher son discours. Techniquement, il me semble intéressant de laisser ce réel s'échapper, et en ça, le podcast diffère des conditions de direct de la radio. Il permet la coupure, le montage, la lecture après coup, une programmation musicale, l'ajout d'une image, d'un texte. Il y a un paradoxe dans la manière dont je pratique le *média dialogique* du podcast permettant un avoir-voix non programmé via la programmation elle-même (programmation du sujet, des questions, de la date de diffusion, du fichier, etc.).

Notre voix émane toujours de quelque part. Il y a un endroit, un environnement, d'où elle peut surgir. Aménager les conditions d'écoute de cette voix fait du podcast le média privilégié pour être le véhicule d'un savoir situé⁵²⁰, et l'un des chemins d'une objectivité alternative (féministe au sens de Donna Haraway). À cela s'ajoutent les conditions d'émergence d'une *pensée-avec* qui suppose l'intimité de l'écoute radiophonique. Le podcast est un *art circulatoire* qui suppose une réception et une digestion a posteriori. Nous avons exposé cette compréhension du podcast comme art dialogique dans une série de publications sur le compte @bioisthenewblack du réseau social *Instagram* associé au podcast que nous reproduisons **figure 103**.

519 De multiples techniques d'écriture de podcast existent. Certaines ne passent pas par la création de documents textuels et utilisent le matériau son directement dans les opérations de montage, soit en allant « à la chasse » aux sons particuliers (le podcaster recherche un son dont il a une idée préalable), soit en allant « à la pêche » aux sons (le podcaster ne sait pas exactement ce qu'il cherche, mais identifie des lieux et personnes intéressants pour son sujet). Notre propos est situé sur un podcast qui fonctionne de manière très particulière : déjà par sa durée, qui est celle de la radio (les émissions durent une heure) et ensuite par la création sonore qui s'appuie ici sur l'écriture d'un texte. Dans d'autres épisodes, nous avons utilisé l'interview et le dialogue croisé. Bien d'autres techniques de mise en voix existent ainsi qu'en attestent les expérimentations de Benjamin et l'horizon de création foisonnant du podcast aujourd'hui.

520 HARAWAY, Donna. 1988. Situated Knowledges: The Science Question in Feminism and the Privilege of Partial Perspective. *Feminist Studies*. Vol. 14, n° 3.



Figure 103 — : Série de publications sur le réseau social Instagram du compte @bioisthenewblack du 9 décembre 2020.

Dans l'adaptation du *Vampyroteuthis infernalis* en podcast, je tente de donner une voix au Vampy. Le terme adaptation n'est pas le bon. Le texte de l'ouvrage n'est pas adapté dans un format sonore tel que le ferait un livre audio ou bien une création sonore gardant le texte original. Il s'agit plus justement d'un travail de réécriture. En ce sens, le travail effectué pour ce podcast est un travail original, qui emprunte à la philosophie du *Vampyroteuthis infernalis* et tente par ce médium de traduire le modèle du Vampy en une expérience sonore. C'est une « digestion » du vampyroteuthis, « régurgitée » sous la forme d'un podcast. Dans la permutation du Vampy en un média dialogique (podcast), nous soulignons le lien entre l'ouvrage *Post-Histoire*⁵²¹ du *Vampyroteuthis infernalis* et les essais que nous avons découverts dans les archives Flusser.

Trois gestes⁵²² principaux marquent ce travail de création sonore. Le premier geste consiste à poser l'altérité du *Vampyroteuthis infernalis* (acte 1). Le second geste nous pousse à comprendre la condition vampyroteuthique comme condition post-moderne et cybernétique de notre existence (acte 2). Le deuxième point s'appuie sur une hypothèse de Yves Citton dans l'article « Naviguer ou filtrer. Vilém Flusser et l'alternative vampirique de l'imaginaire numérique ⁵²³ ». Nous sommes nous-mêmes des créatures *Vampyroteuthis infernalis*, sauf que nous ne savons pas comment filtrer les données qui ont infiltré nos subjectivités. Le troisième geste consiste à poser le Vampy comme modèle pour penser notre rapport aux vivants (acte 3).

Cette création sonore a été diffusée dans le podcast *Bio is the New Black* dont je suis l'autrice, la réalisatrice et la productrice.

Bio Is the New Black

Bio Is the New Black est un podcast autour du design, de la biologie et des technologies. *Bio Is the New Black* invite artistes, designers, philosophes, scientifiques et ingénieurs à explorer les multiples questions éthiques, critiques et de création qui se posent avec les technologies de biofabrication. Le podcast *Bio Is the New Black* porte un regard critique et prospectif pour interroger le rôle du design à l'aune de nouveaux engagements éthiques et esthétiques. Il ouvre des réflexions et esquisse des pistes de créations plurielles entre chercheurs, scientifiques, designers et artistes autour des technologies de biofabrication. Le podcast est premièrement diffusé dans une radio associative toulousaine, *radio FMR*, dans l'émission CPU, puis relayé en streaming sur les applications de podcast. Son identité graphique est visible **figure 104**, et utilise une police de caractères de Studio Triple, la *Digestive*, qui, d'après son auteur, Jérémy Landes, a la particularité de mélanger des influences typographiques gothiques et art nouveau en s'inspirant d'un univers sous-marin⁵²⁴.

521 Vilém FLUSSER, *Post-histoire*.

522 Dans le vocabulaire de Flusser, un geste est une action transformatrice, consciente, acte de liberté (les autres actions sont programmées).

523 Yves CITTON, *Naviguer ou filtrer. Vilém Flusser et l'alternative vampirique de l'imaginaire numérique*.

524 The Process of Digestive, [sans date]. OH no Type Company [en ligne]. [Consulté le 25 avril 2022]. Disponibilité : <https://ohnotype.co/blog/the-process-of-digestive>



Figure 104 — : Logo du podcast *Bio Is the New Black*. Graphisme : Élise Rigot. Crédits typographiques : Jérémy Landes, Studio Triple.

Le format du podcast est utilisé comme modalité de recherche de cette présente thèse. Bien que je n'analyse pas dans ce manuscrit l'entièreté des épisodes produits (ils sont au nombre de sept), chacun des dialogues enregistrés et préparés pour *Bio Is the New black* a fait évoluer les hypothèses de recherche de mon travail⁵²⁵. Vous trouverez en annexe une présentation des différents épisodes produits.

525 Le podcast consacré au travail mené sur le *Vampyroteuthis infernalis* a été monté durant le premier confinement (17 mars au 11 mai 2020) de l'épidémie du Covid-19 qui a marqué d'une manière ou d'une autre le contexte émotionnel de ce travail. Cette période, avec le recul, peut paraître courte, mais quand elle est située dans un espace clos, elle marque le corps de ceux qui l'ont vécu durablement. Cela a été également une période importante pour le renouvellement des formes de la recherche et l'utilisation plus ou moins réussie d'expériences de *media design* afin de maintenir en vie des activités culturelles et scientifiques dans ce contexte de fermeture.

Traduire vampyroteuthis dans un média podcast : retour sur un processus de recherche-crédation

Le podcast en version française est structuré en trois parties : la fiction, une chronique sur mon expérience des archives, complétée d'une partie sur Louis Bec. Si nous analysons ces textes, nous voyons qu'ils sont une première digestion de mon expérience archivistique de la Vilém Flusser Archive et de la lecture du *Vampyroteuthis infernalis*. La particularité de l'encapsulation de ces textes dans un média numérique fait d'un fichier audio enregistré, dit par ma propre voix ou parfois celle du comédien, puis mis en forme par les opérations de coupage, montage, chapitrage et respirations musicales, fait que cette étude préliminaire est directement mise en circulation par l'acte de diffusion du podcast, d'abord sur les ondes radiophoniques, puis sur les plateformes de partage du podcast. C'est une expérience encore brute, pas tout à fait comprise, qui se traduit dans le média et se donne à la circulation. Les discussions induites par cette circulation informent cette première mise en forme de l'expérience et guident les recherches futures. La particularité de cet épisode tient sans doute également en partie au fait qu'il a été écrit et monté durant le premier confinement de l'épidémie du Covid-19 ainsi qu'en atteste cet extrait : « Pour Flusser, quand on s'éloigne de la douceur des habitudes, quand la couverture des habitudes est violemment retirée, on découvre : tout devient montrable, monstrueux. Nous en savons quelque chose, nous qui sommes depuis plus de deux mois confinés dans nos intimités que nous ne connaissions plus. » Cette recherche-crédation a sans doute pris un tournant intime à mesure que le podcast me permettait de trouver une manière de penser ce que nous vivions ou du moins de tester des hypothèses pour tenter de mieux saisir cette situation inédite.

L'épisode « Bio Is the New Black #4 - Vampyroteuthis infernalis & épistémologie fabulatoire » diffusé sur radio FMR, dans l'émission CPU, le 21 mai 2020 a donné lieu à une première fiction radiophonique. La suite du texte concerne une deuxième⁵²⁶ version du texte, qui est une traduction en anglais depuis la version française et revisitée. Elle concerne cet épisode : « BONUS —Bio Is the New Black#4 - Vampyroteuthis as a bioluminescent lighthouse to think under the livings », diffusé sur radio FMR, dans l'émission CPU, le 9 juin 2020. J'ai traduit en langue française pour les besoins du présent manuscrit cette seconde adaptation, car elle développe davantage le rapport avec l'étude biologique.

Nous tenons à souligner que la traduction du Vampy dans un média de podcast pourrait impliquer un emprunt d'expression, de vocabulaire, de concepts, de notions, de phrases du texte original de Flusser, et souhaitons par là signifier qu'il ne s'agit pas d'un plagiat.

526 RIGOT, Élise. Vampyroteuthis infernalis, le podcast comme format de recherche-crédation. *Flusser Studies* — Vilém Flusser in France 31. 2021.

RIGOT, Élise. Vampyroteuthis as a bioluminescent lighthouse to think under the livings. Some mutations: From 1981 to 1991. *Flusser Studies* 30 [en ligne]. 2020. [Consulté le 7 avril 2022]. Disponibilité : <https://www.flusserstudies.net/sites/www.flusserstudies.net/files/media/attachments/rigot-vampyroteuthis-infernalis.pdf>



Légende — : *Image d'un Vampyroteuthis infernalis retouchée par effet de trame*

Acte 1 : Le Vampyroteuthis infernalis

Royaume

Animal

Embranchement

Mollusque

Classe

Céphalopodes

Famille

Vampyroteuthidae

Genre

Vampyroteuthis

Calamar vampirique de l'enfer

Je vais vous raconter une fable. Une histoire venue des abysses. Une histoire qui interroge notre condition humaine. C'est celle d'un céphalopode, cousin du poulpe et du calamar, vivant à des milliers de mètres sous la surface des océans.

Il est notre altérité absolue.

Cette espèce singulière a été retrouvée dans les mers de Chine à la fin du XVII^e siècle, lors d'une grande expédition scientifique : Valdivia. À cette époque, l'allemand Carl Chun identifie l'animal comme appartenant au registre des poulpes. Il fut pêché, et ramené mort à la surface de nos terres pour une étude minutieuse.

Pourtant, il n'est ni poulpe ni calamar et se refuse à notre taxonomie scientifique. Ses yeux et son cerveau ressemblent d'ailleurs étrangement aux nôtres.

Dis-moi Darwin : pourquoi avoir séparé le Vampy et les humains de tant d'embranchements sur l'arbre de l'évolution biologique ? Dis-moi Darwin, pouvons-nous nous extraire de

la linéarité de ton modèle ?

Aujourd'hui, nous pouvons observer le Vampyroteuthis infernalis à l'aide de vaisseaux sous-marins, descendant à des milliers de mètres de profondeur. Certains humains l'observent : ils l'appellent « poulpe à oreilles ».

Nous avons même construit un aquarium à haute pression pour l'accueillir au sol de notre surface en Californie. Nous reproduisons son habitat pour observer le vampyroteuthis.

Il possède son ordre spécifique, celui des Vampyromorphida.

L'eau, qui se situe autour de moi, est à la surface de ses enfers. Il nous faut descendre, au plus profond, pour trouver cet être vampyrique fabuleux.

Imaginez un instant... qu'à travers une créature octopode, puisse apparaître le miroir de nos existences. Miroir déformant, métaphorique, fabuleux, impossible. Qu'à travers ce céphalopode, nous puissions trouver une orientation basée sur l'Altérité totale.

À quoi ressemble-t-il ?

Le vampire des abysses peut faire jusqu'à 12 mètres de diamètre. Son manteau gélatineux varie du noir velours au rouge pâle, selon le lieu et les conditions d'éclairage. Une membrane de peau relie ses huit bras, chacun bordé de rangées d'épines charnues ou pointues; l'intérieur de cet « habillage », est noir. Seule la moitié la plus éloignée du corps des bras est munie de ventouses et de photophores. Ses gros yeux globuleux varient du rouge au bleu selon l'éclairage. Les adultes ont une paire de nageoires, semblables à des ailettes ou des oreilles, en saillie sur les côtés latéraux de leur manteau.

Lorsqu'il les agite, le vampire des abysses semble voler dans l'eau.

Du point de vue métabolique : tout nous oppose.

L'évolution a fait de nous des êtres bipèdes, préférant la station debout et la marche. Chez ce mollusque, c'est tout l'inverse : la tête et les pieds coïncident, la bouche et l'anus se rapprochent.

Vampyroteuthis habite le monde en spirale : sa ligne est un cercle.

Le vampire des abysses est entièrement couvert d'organes produisant de la lumière, appelés photophores. L'animal a un grand contrôle sur ces organes, capables de produire des flashes de lumière toutes les fractions de seconde jusqu'à plusieurs minutes pour désorienter les prédateurs.

Le vampyroteuthis produit des nuages, la sépia, qui flottent dans l'eau.

Ces attributs biologiques sont la manifestation d'un langage interspécifique.

Aussi loin que puisse sembler être le vampire des abysses, nous partageons avec lui la particularité d'un psychisme en proie à des milieux d'informations très complexes. Intelligence tentaculaire.

Fermez les yeux, imaginez :

Un animal lumineux, avec une cape.

D'abord replié sur lui-même,

Il doit étendre son manteau pour s'ouvrir au monde.

Il est littéralement capable d'absorber le monde.

C'est un vampire bien inoffensif.

Sa cape est un leurre. Un jeu avec la perception des autres.

Il se contente, pour se nourrir, de la pluie des planctons qui flottent tranquillement autour de lui.

Son mets favori est une neige lumineuse qui traverse les profondeurs.

L'homme vient des continents.

Le vampyroteuthis des abysses.

Nous aspirons à la lumière.

Il s'est enfoncé dans l'obscurité des océans.

Si notre espèce est relativement récente.

La sienne date des temps les plus anciens.

Il ne tolère pas l'air que nous respirons.

Tandis que nous serions écrasés par la pression dans les abîmes qu'il habite.

Il est mollusque.

Nous sommes squelette.

L'homme pense en deux dimensions.

Vampyroteuthis en trois.

L'homme est cartésien.

Vampyroteuthis est dynamique.

Nous éprouvons la Terre, nous la manipulons de nos mains.

Il absorbe le monde, sa représentation en est expérimentielle.

Nous œuvrons pour Dieu.

Il œuvre pour le Diable.

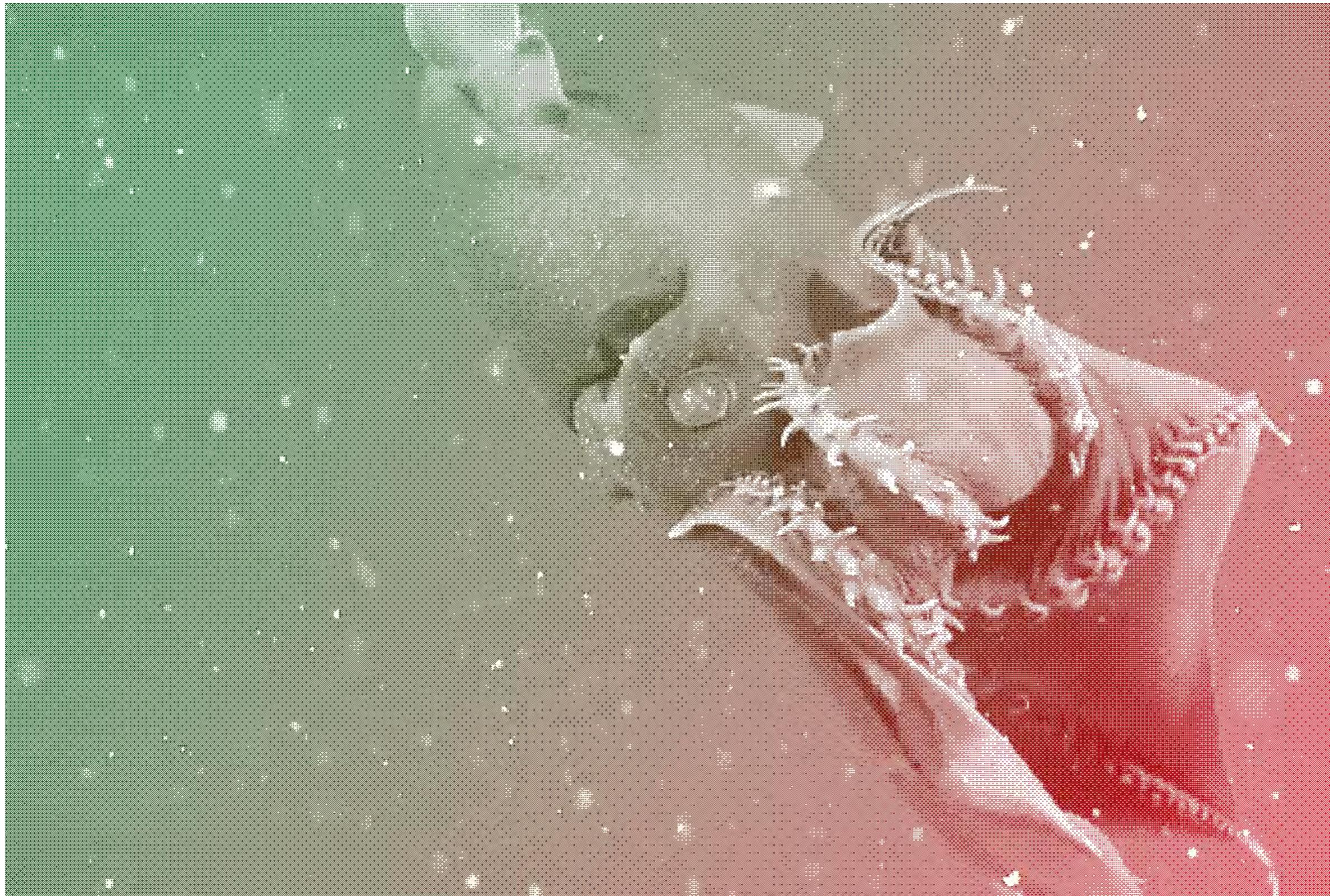
« Le monde que saisit le vampyroteuthis est un tourbillon fluide et centripète. Il le saisit pour distinguer chacune des influences du monde sur lui. Ses tentacules, par analogie à nos mains, sont des organes digestifs.

Notre forme de saisie est active : nous traversons un monde stable et subsistant. Sa forme de saisie est passive, passionnelle; passionnée : il accueille un monde qui afflue vers lui ⁵²⁷. »

La main et le tentacule.
Deux formes de perception du monde.
Deux arts divergents.

Qui parle pour le céphalopode ? Qui parle pour le Vampy ?
Comment se pense le *Vampyroteuthis infernalis* ? Et si le Vampy lui-même possédait sa culture propre, un art de vivre et d'habiter les abysses spécifiques ?

527 Vilém FLUSSER et Louis BEC, *Vampyrotheuris infernalis*, p. 40.



Légende — : Image d'un vampyroteuthis infernalis retouchée par effet de trame

Acte 2 : L'art vampyroteuthique

Dans sa nuit éternelle, le vampyroteuthis utilise la lumière pour communiquer. Il peut transmettre des informations lumineuses jusqu'à plusieurs minutes, leur donner une forme spécifique.

Il peut éjecter du bout d'un bras un nuage de mucus collant, bioluminescent, contenant d'innombrables orbes de lumière bleue.

Il peut s'agir d'un geste instantané, ou d'une œuvre plus longue. Son corps est sa toile, son appareil de transmission d'informations.

Pour nous, l'art résiste au temps : les peintures, les statues, les cathédrales demeurent dans une forme d'éternité.

Dans les abysses, les matériaux ne tiennent pas.

Mais qui, de l'être humain ou du vampyroteuthis, voudrait tomber dans l'oubli ?

L'art, cette action que l'on attribue à l'être humain, va à l'encontre du néant. Il inscrit dans la pierre, le bois, ou tout autre médium des informations. L'art est une façon de transmettre ces informations pour l'éternité.

Du point de vue du vampyroteuthis, l'art humain est dérisoire. Dans son habitat liquide, seules des informations biologiques ou génétiques peuvent s'installer dans le temps. Le Vampy a déjà établi la synthèse de l'art génétique et informationnel.

La finalité de l'art, qui est de transmettre des informations dans des objets stabilisés, ne fonctionne pas : l'art devient in-

tersubjectif et immatériel.

Le Vampy manipule quand même des sortes d'objets. Des objets particuliers. Des objets biologiques, vivants, éphémères.

La couleur.

La lumière.

Les nuages de sépia.

Il peut donner forme à des nuages, il peut émettre de la lumière, activer la bioluminescence de son corps. Certes, il l'utilise pour échapper à ses prédateurs. Mais aussi, et c'est bien là le plus important, pour transmettre des informations. Ces informations visent à duper son destinataire.

L'art, chez le Vampy, est une tromperie.

« C'est un viol de l'autre, visant l'immortalisation dans l'autre – l'art comme stratégie du viol, de la haine; l'art comme duperie, comme fiction, comme mensonge; l'art comme apparence trompeuse, et donc comme "beauté" – le tout dans une atmosphère orgastique ⁵²⁸. »

Notre monde rempli d'objets est un monde perfide. L'objet résiste à l'information : le marbre reste marbre. Et le marbre est détruit par le temps.

L'art humain n'est pas l'incarnation du beau. L'art est la réalisation des expériences d'un individu dans un objet. Tout à la fois : ses connaissances, ses valeurs et ses sensations.

C'est un moyen de s'entretenir avec l'éternel.

Or, le Vampy ne s'attache pas à l'objet et ne se réalise pas à travers lui. Pour le Vampy, l'éternité s'acquiert dans l'autre.

Tentacules, chromatophores, nuages sépias, biolumines-

528 Vilém FLUSSER et Louis BEC, *Vampyrotheuris infernalis*, p. 60.

cences vont au-delà des objets. Le Vampy ne se frotte pas à la résistance du matériau, mais à celles des esprits qui habitent les autres.

Que se passe-t-il aujourd'hui, alors que nos informations sont stockées dans des programmes cybernétiques ? Que se passe-t-il maintenant que les informations biologiques peuvent être manipulées à dessein ?

Le Vampy incarne la convergence de la biologie moléculaire et de la cybernétique. Son monde est peuplé d'informations biologiques, éphémères. Et déjà, sa conduite est celle d'un programmeur. Le Vampy joue avec la conscience de ses congénères. Il les leurre d'informations biologiques, il les trompe. Son art est pernicieux.

Les programmes nous apparaissent. Le Vampy, lui, vit déjà dans ce monde de programmes. Il sait. Il ne tente pas de s'opposer aux programmes culturels, génétiques, informatiques, relationnels. Dans son anatomie, le monde est un réseau d'informations de natures diverses. Pour survivre dans ces programmes, il devient lui-même programmeur, joueur, et manipule des informations vivantes. Il est tout à la fois pouvoir totalitaire et résistance. Le Vampy a accepté la nature absurde de l'existence. Il ne tente pas de lui donner un sens. Et il ne faudrait pas non plus que nous cherchions un sens aux actes vampyroteuthiques.

L'art devient intersubjectif et immatériel.

Avec l'automatisation des machines, l'objet devient une camelote. Marchandise. Bien de consommation. Seulement, la machine, l'appareil devient chez le Vampy l'organisme lui-même. À quels appareils exosomatiques ferons-nous appel pour nous orienter dans un monde peuplé de consciences intersubjectives, invisibles ?

Nous habitons le monde de nos valeurs, nous l'habitons de notre vision située : notre point de regard est déjà point de non-vision. Si les microscopes et le télescope nous affublent de

nouveaux mondes, en nous donnant de nouveaux appareils de perceptions, l'unicité n'a plus de sens.

Nous sommes des milliers d'êtres vivants, micro-organismes, forces extérieures et dynamiques qui vivent en symbiose. Vouloir donner un sens unique à l'existence et penser que nous puissions en prendre le contrôle est absurde. Nous faut-il négocier ? Créer de nouveaux arrangements ? À l'art de l'objet se substitue un art de la rencontre et de l'aménagement. Performances et installations.

Les imaginaires guerriers, dualistes, de conquête, celui des gentils contre les méchants, les amis ou les ennemis, l'ordre ou l'harmonie. Le faible ou le fort. La soumise et le dominant. Le maître et l'esclave. Le pion ou le joueur. Ces imaginaires nous tuent. Il n'y a que des situations particulières, des agencements qui offrent de nouvelles façons d'être au monde. Il n'y a pas une grande carte de bataille du vivant à conquérir pour le soumettre à nos lois.

Le génie n'existe pas.

Nous sommes tout autant les programmeurs que les programmés, les joueurs et les pions. Notre art doit devenir un art de la rencontre.

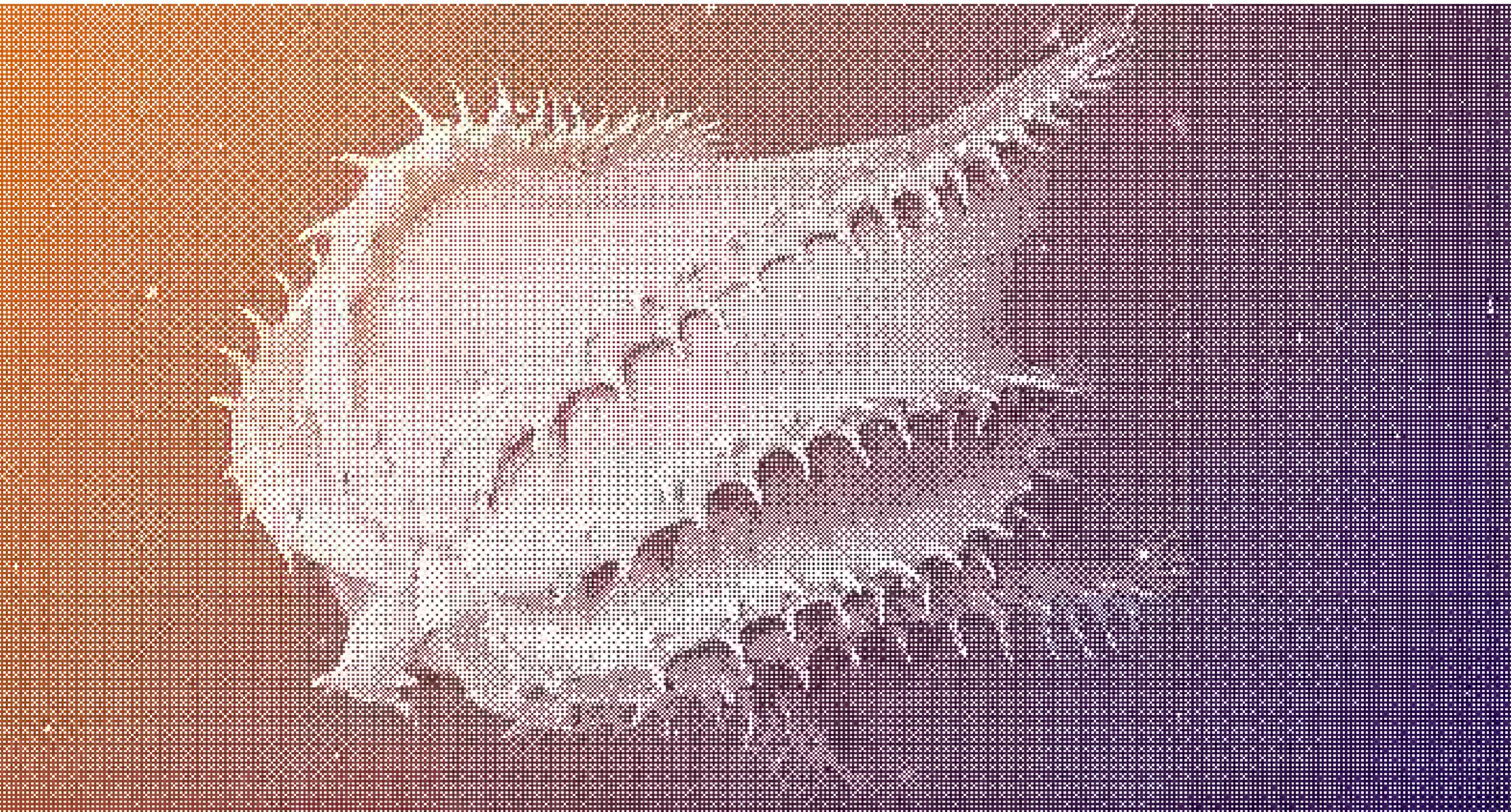
Ne nous trompons pas :

Nous ne sommes pas vampyroteuthis et ne le serons jamais.

Nous ne vivons pas dans les abysses, les ténèbres noires d'une nuit éternelle.

Nous sommes des bipèdes, qui pensons le monde avec nos mains.

Nous devons chercher en lui l'ambivalence, la contradiction, l'immersion dont la surface nous prive.



Légende — : Image d'un vampyroteuthis infernalis retouchée par effet de trame

Acte 3 : Notre monde vampyroteuthique

À des milliers de mètres de profondeur, les abysses abritent un être octopodal.

Et s'il est aujourd'hui possible, par la science, de synthétiser un vampyroteuthis artificiel ou de concevoir une hybridation vampyroteuthis-humaine, là n'est pas l'intérêt de cette fable.

Nous marchons sur la surface des océans. Les fossiles de vampyroteuthis retrouvés dans La Voulte-sur-Rhône nous le rappellent. Le Vampy était là bien avant nous, tapi dans les profondeurs, et il commence à sortir de ses abysses. Il remonte par les temps géologiques, et se mêle à nos habitus numériques.

Le monde du Vampyroteuthis infernalis est le nôtre.

Nous sommes, nous-mêmes, des corps en train de nous faire vampyroteuthiser, constamment à l'affût d'informations immatérielles..., éphémères..., intersubjectives... Notre appareil critique doit se saisir d'un monde fluide et centripète. Nous devons apprendre du vampyroteuthis.

Vous êtes, en ce moment même, en proie à une vampyroteuthisation totale. C'est sur nous que s'exerce le viol des esprits.

Nous, êtres humains du XXI^e siècle, serions alors en passe de nous vampyroteuthiser.

Cela peut vous paraître étrange.

Il vit à des centaines de mètres de profondeur.

À cette distance, la pression est immense.

La nuit est éternelle, mais les sons se propagent très bien.

À cette distance, peu d'animaux survivent encore au

manque d'oxygène et à l'acidité de l'environnement.

Pourtant.

Ces abysses sont aussi les nôtres.

Pensons à la situation contemporaine, du moins celle du modèle occidental, bardé de capteurs et de sondes en tout genre : caméras, appareils photo, dispositifs de géolocalisation, etc. Pensons également aux masses d'informations circulant sur les réseaux d'information. Bombardés de notifications, de mails, de sollicitations, d'informations et de désinformations en tout genre, nous avons de plus en plus de mal à nous orienter dans un monde entièrement tissé de données numériques. Le milieu technique des technologies numériques, celui du calcul et des langages de programmation informatiques, est un monde de l'invisible, en proie aux pires manipulations, mais également ouvert à des formes de création qui restent encore largement à explorer.

Tel le vampyroteuthis, nous sommes immergés dans ce milieu.

Barbotant dans ces données comme un poisson dans une petite mare d'eau, nous ne savons plus comment « filtrer » ce qui passe en nous, ce qui infiltre nos subjectivités sans que l'on ne s'en rende compte.

Pensons aux grands effondrements du vivant en cours et à venir. À leur traque, à leur mise à disposition d'un dessin immoral et irraisonné. Pensons à l'exploitation de la vie animale, végétale et humaine. Nous devons tenter l'expérience d'habiter en oiseau, en loup, en forêt, en colonie de corail, en pigeon, en poulpe, méduses, algues : le Vampyroteuthis sera notre phare bioluminescent dans cette quête. Nous devons, nous humains, designers, artistes, scientifiques, revenir aux choses elles-mêmes. Ne pas tenter le regard omniscient, ne pas tenter d'enfermer les vivants dans un grand terrain de bataille dont nous serions les gagnants.

Nous cherchons de nouvelles métaphores, de nouveaux ré-

cits, pour comprendre le réel.

Et c'est là qu'intervient le poulpe des abysses, dont l'éloignement géographique et temporel joue comme un miroir de notre condition contemporaine. Il nous faut descendre dans les abysses.

Sans lumière, à des milliers de mètres de profondeur, voire plus, la région des océans qu'habite le Vampyroteuthis infernalis constitue un habitat pauvre en oxygène. Cette obscurité, cette condition de l'invisible, est comparable à la fascination que nous éprouvons pour les « boîtes noires » des dispositifs technologiques qui façonnent notre quotidien. Dès lors, pourrions-nous apprendre du poulpe comment « naviguer » avec aisance et élégance dans ces pluies de plancton ? Pourrait-il nous enseigner à « trier » ce qui nous est inintelligible ?

Aller chercher dans le modèle octopodal une nouvelle façon de raconter le monde qui afflue en nous.

Aller chercher dans sa tromperie des manières de nous conduire en ce monde.

Il nous faut créer d'autres paranatures, « des méthodes parallèles à celle des sciences naturelles, mais qui avancent dans d'autres domaines du réel »⁵²⁹.

Nous pourrions alors créer d'autres façons d'appréhender le monde.

La nature que nous voyons est une nature de la biologie moderne, des sciences naturelles. C'est une nature unique. Cette unicité n'existe pas.

Il nous faut créer de nouvelles entités, de nouveaux récits, des images nouvelles.

529 FLUSSER, Vilém, *Orthonature, Paranature*, Institut de recherche paranaturaliste, 1978, édition limitée.

Analyse et discussion

Un processus de recherche-création itératif

Le média numérique du podcast permet de rendre accessibles les textes du podcast, des sources et des liens externes (**fig. 105**) pour pouvoir en quelque sorte donner la capacité à d'autres de poursuivre cette recherche-création dans d'autres directions.

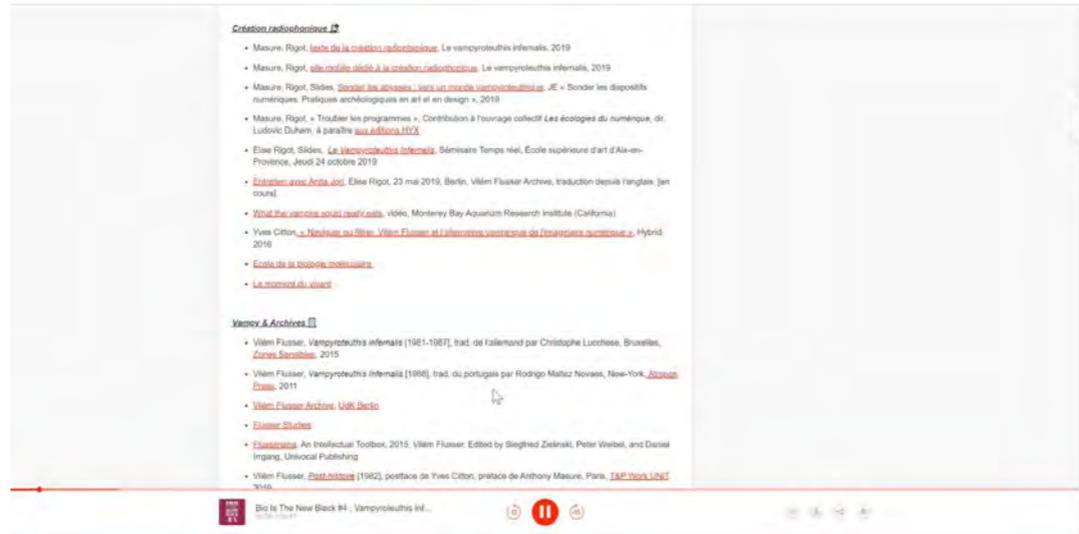


Figure 105 — : Capture d'écran de la page du podcast consacré au vampyroteuthis hébergé sur la plateforme de podcast en ligne Ausha⁵³⁰ où l'on peut voir les différents liens URL rattachés au site Web et permettant de rendre accessible la documentation ayant servi à écrire le podcast.

J'ai conçu une édition en ligne pour cet épisode consacré au Vampy qui mêle écoute et écriture avec un outil en ligne développé dans la thèse⁵³¹ de Robin de Mourat, appelé Ovide. On peut voir une capture d'écran dans la **figure 106** de cette édition en ligne⁵³².

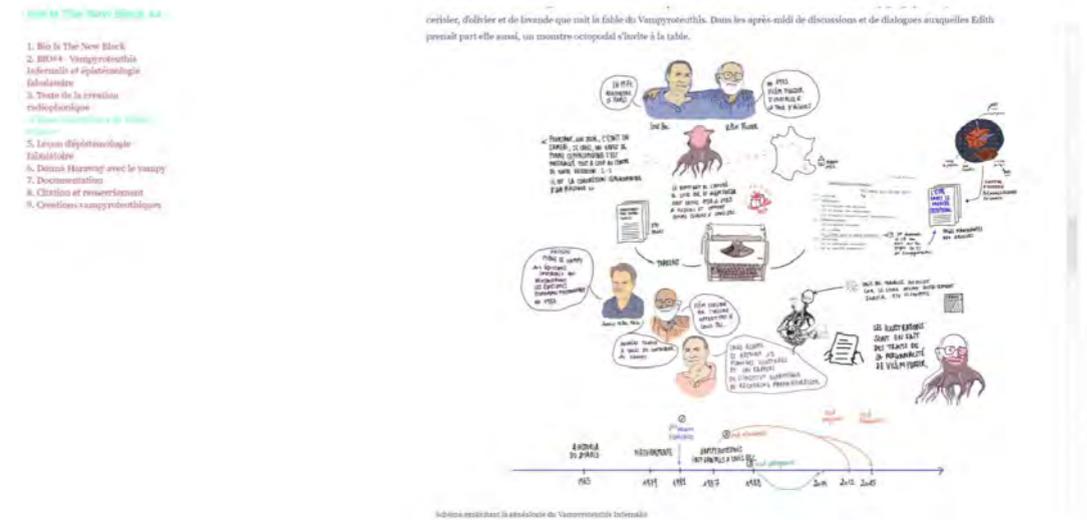


Figure 106 — : Capture d'écran de l'édition numérique consacrée au podcast utilisant l'outil Ovide, développé par Robin de Mourat. [en ligne] [consulté le 7 avril 2022]. Disponibilité : <https://eliserigot.com/content/Bio4/index.html>

Le format du podcast comme recherche-création s'est poursuivi dans une adaptation de la création radiophonique en anglais⁵³³. Ce dernier a donné lieu à une publication dans la revue *Flusser Studies* de l'article « Vampyroteuthis as a bioluminescent lighthouse to think under the livings. Some mutations: From 1981 to 1991 ⁵³⁴. ». Nous y avons expérimenté une réécriture de la fiction radiophonique avec le passage à la langue anglaise. Cette publication rend également compte de l'apport de la biologie moléculaire dans le contexte français pour l'écriture du *Vampyroteuthis infernalis* que nous exposerons dans la partie suivante.

530 Lien du podcast avec la documentation [en ligne] [consulté le 1^{er} avril 2022]. Disponibilité : <https://cpu.dascritch.net/post/2020/05/21/Ex0138-Vampyroteuthis-infernalis%2C-%C3%A9pist%C3%A9mologie-fabulatoire>

531 Robin De MOURAT, *Le vacillement des formats : matérialité, écriture et enquête : le design des publications en Sciences Humaines et Sociales*.

532 Site d'Élise Rigot [en ligne]. [Consulté le 7 avril 2022]. Disponibilité : <https://eliserigot.com/content/Bio4/index.html>

533 Je travaille par ailleurs à une potentielle adaptation en espagnol de la création sonore avec la chercheuse en art Laura Gonzalez-Flores, qui a travaillé à la traduction de l'ouvrage du *Vampyroteuthis infernalis* (version portugaise) et à sa publication aux éditions *Editorial y Librería Herder México*. Nous discutons de faire apparaître un lien (QR code) vers le podcast directement dans l'ouvrage afin d'en faire une expérience augmentée.

534 ÉLISE RIGOT, *Vampyroteuthis as a bioluminescent lighthouse to think under the livings. Some mutations: From 1981 to 1991*. *Flusser Studies*.



Figure 107 — : Photographie d'Anthony Masure et Élise Rigot au MOW Festival. Crédit : David Sugar.

Le podcast sur le *Vampyroteuthis infernalis* est le résultat d'une méthodologie de recherche-crédation. Un premier texte a été produit pour une performance donnée avec Anthony Masure (fig. 107) à Marseille dans un festival consacré à la gastronomie et au poulpe, au MOW Marseille Octopus Worldwide Festival, le 26 août 2019⁵³⁵. Il s'agissait d'une audition publique où nous avons interprété le texte dans une piscine naturelle avec des interludes de musique électronique. Nous avons codé un site Web mobile pour que le public puisse interagir avec l'écran des téléphones visibles figure 108 pendant la performance de nuit, afin de créer une situation réflexive entre le texte et la situation.

535 Dossier de presse : Marseille Octopus Worldwide. *Alimentation générale : la plateforme des cultures du goût*. [en ligne] 2019. [consulté le 1er avril 2022] Disponibilité : <https://alimentation-generale.fr/wp-content/uploads/2019/09/DOSSIER-DE-PRESSE-MOW-2019.pdf>, p.7

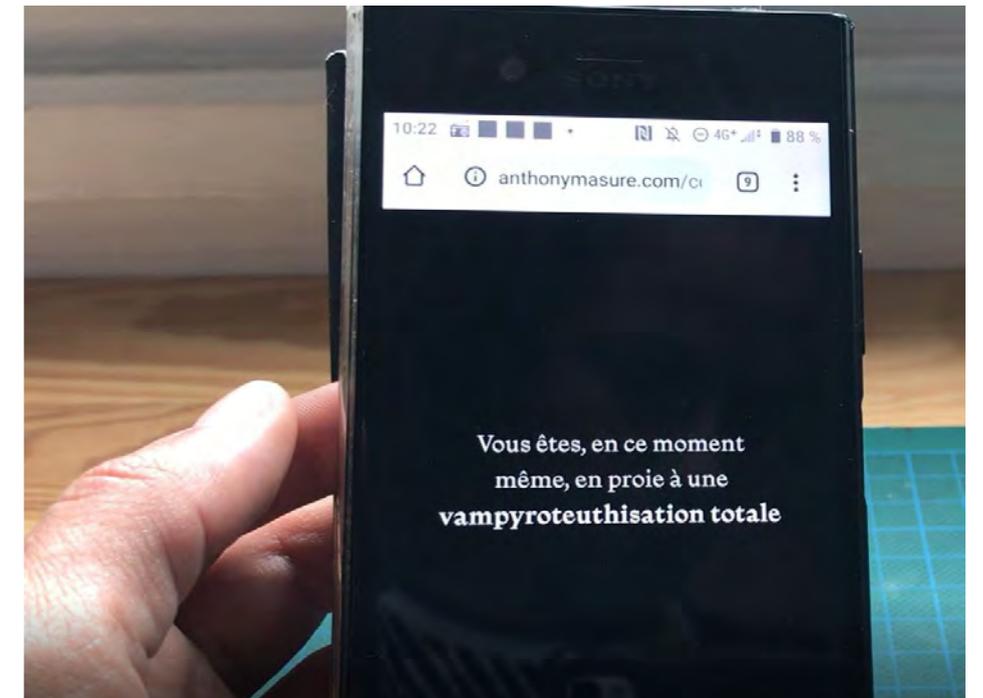


Figure 108 — : Photographie d'un moment du mini-site mobile codé pour le festival.

À la suite de la performance, j'ai affiné le texte que nous avons présenté avec Anthony Masure lors de la journée d'étude *Sonder les dispositifs numériques. Pratiques archéologiques en art et en design*⁵³⁶. J'ai par la suite repris ce projet dans un média dialogique, et travaillé une première création sonore présentée lors du séminaire Temps réel organisé par Douglas Edric Stanley à l'École supérieure d'art d'Aix-en-Provence.⁵³⁷ À ce stade du projet, nous voyons qu'il y a déjà plusieurs existences du texte avant d'aboutir à un format de média dialogique. La figure 109 est une frise temporelle couplée par les objets semi-finis et non finis qui ont cristallisé un moment de digestion vampyroteuthique de mon processus de recherche-crédation.

536 MASURE, Anthony et Élise RIGOT. *Sonder les abysses : vers un monde vampyroteuthique*. Communication lors de la journée d'étude « Sonder les dispositifs numériques. Pratiques archéologiques en art et en design » [en ligne]. Dir. Vincent Ciciliato, Julie Martin, Anthony Masure, Carole Nosella. Université Toulouse — Jean Jaurès, laboratoires CIEREC & LLA-CRÉATIS, 2019. [consulté le 1er avril 2022] Disponibilité : <http://www.anthonymasure.com/conferences/2019-10-sonder-abysses-monde-vampyroteuthique-toulouse>

537 RIGOT, Élise. *Le Vampyroteuthis infernalis*. Communication au cycle de séminaire *Temps réel* [en ligne]. École supérieure d'art d'Aix-en-Provence, jeudi 24 octobre 2019 [consulté le 1er avril 2022]. Disponibilité : <http://eliserigot.com/content/Vampyroteuthis.html#/>



Figure 109 — : Frise chronologique des lieux de circulation et objet transitoires rattachés au podcast Bio Is the New Black consacré au Vampyroteuthis infernalis.

À la suite de ce travail préparatoire, que nous pouvons appeler transitoire, j'ai travaillé l'interprétation du texte avec un comédien, Raphaël Caire, que nous avons enregistré avec Claude Tisseyre à l'institut supérieur des arts et du design de Toulouse (isdaT).

Étude-circulation du Vampy

Yves Citton propose de substituer le couple *recherche-création* pour un autre, le couple *étude-circulation*, qui représente mieux les enjeux d'une recherche tournée vers la connaissance (et non pas dans un but d'innovation) et s'incarnant dans des études ainsi que les enjeux de l'art aujourd'hui, un art des médias (et non pas dans un objet) qui s'incarne dans la circulation. Yves Citton fait à cet égard un aparté intéressant sur les « objets tiers », que l'on pourrait aussi nommer « objet transitoire »⁵³⁸. Ces derniers incarnent un savoir que les créateurs eux-mêmes n'ont pas encore assimilés, comme si les objets-tiers en « savaient plus ». Nous pensons en effet qu'une opération de « digestion »⁵³⁹ s'opère entre le moment de l'étude et celui de sa circulation et qui prend la forme d'objets intermédiaires. Il n'y aurait sans doute d'ailleurs que des objets non finis intermédiaires qui repasseraient dans un processus de digestion dans une circularité continue. Cette cir-

culacion s'exprime ainsi : étude - digestion - objets transitoires — circulation - digestion - objets transitoires - circulation, et ainsi de suite. La recherche-création comprise comme étude-circulation est un processus itératif.

En reprenant la réflexion d'Yves Citton sur les formats de recherche-création, où ce dernier propose comme couple pour supplanter la recherche-création « l'étude-circulation », nous avons voulu représenter les opérations de *versioning* et de circulations opérées à travers la digestion des archives et de l'étude du texte du *Vampyroteuthis infernalis* dans la **figure 110**. Ces opérations de versions (V) et de circulations (C) montrent comment l'incarnation des recherches par la forme créent de nouvelles boucles de circulation permettant, selon nous, de nouvelles digestions par d'autres, les récepteurs de ces canaux de circulations par exemple.

538 Le terme « objet transitoire » est utilisé par l'anthropologue Dominique Vinck afin de décrire un ensemble d'objets non finalisés tels que « dessins, de maquettes en carton ou en pâte à modeler, de prototypes, de pièces cassées, de listings et de copies d'écran ». Voir Dominique VINCK, De l'objet intermédiaire à l'objet-frontière. *Revue d'anthropologie des connaissances*. Dans ce même article, Vinck revient sur l'historicité de ce terme, issu des recherches en sociologie des sciences est initialement utilisé pour décrire des choses qui circulent entre les membres d'un réseau de chercheurs allant du courriel à la plateforme technologique en passant par la circulation de doses de sang. L'usage de ce terme ici insiste sur le caractère ouvert des propositions de médias design et de leur incarnation au sein de lieux de circulation. Décrire les productions de cette thèse de recherche-création comme objet intermédiaire permet en outre de se saisir de ces formes en tant qu'hypothèse de résultats scientifiques potentiels et plus comme œuvre définitive.

539 Nous reviendrons sur ce point dans la partie suivante de ce même chapitre à propos de notre pratique personnelle du podcast comme digestion — objets transitoires - circulation.

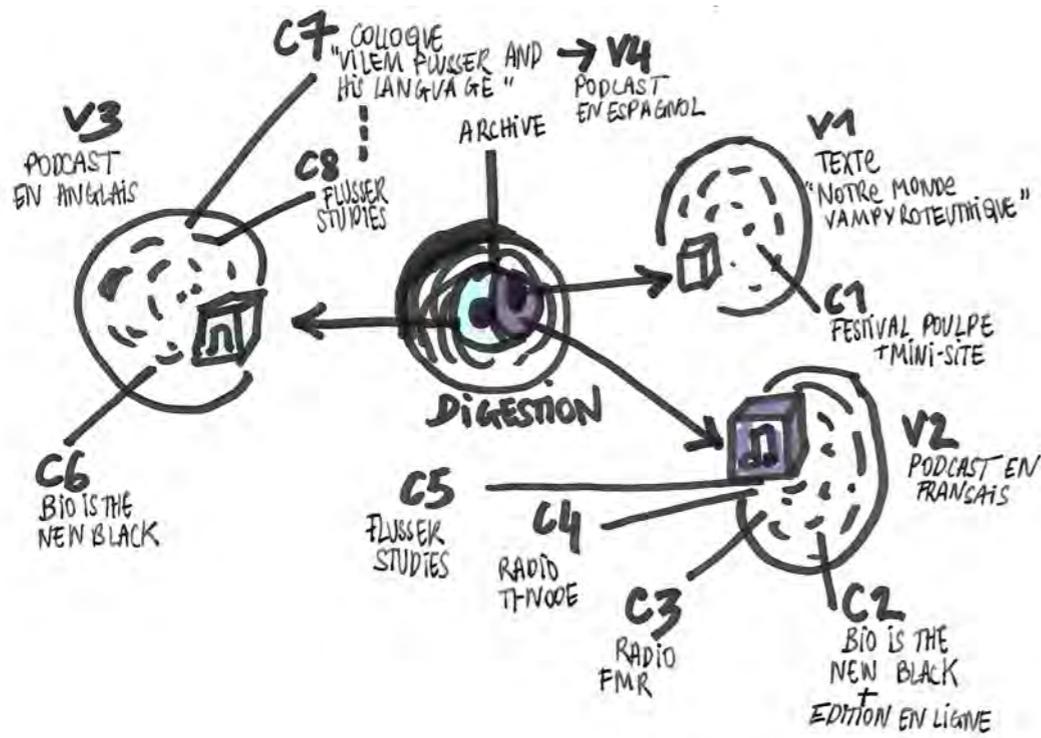


Figure 110 — : Diagramme représentant les opérations de digestion, versions (V) et circulations (C) du format de recherche-crédation du podcast.

Grâce à ce travail de recherche-crédation, nous avons réussi à utiliser l'ouvrage du *Vampyroteuthis infernalis* pour poser des hypothèses pertinentes sur le design. J'ai mené un travail théorique en aller-retour avec la création radiophonique autour d'un *design vampyroteuthique*, que je présente dans la partie suivante. Il s'agit d'un article co-écrit avec Anthony Masure. L'article est publié dans un ouvrage collectif *Les écologies du numérique* disponible en ligne⁵⁴⁰.

540 Les Ecologies du Numérique, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 11 octobre 2022]. Disponible à l'adresse: <https://ecologies-du-numerique.fr/>

3. Jouer avec les programmes, ou déjouer les programmes⁵⁴¹

La réflexion de Flusser nous permet de voir le rôle particulier que l'art et le design peuvent prendre dans le moment de trouble et de perte de repères que nous vivons aujourd'hui. Ce moment, appelé *moment du vivant*⁵⁴² par les philosophes Frédéric Worms et Arnaud François, est celui de la sixième grande extinction, de la perte de la biodiversité, et des dérèglements climatiques accélérés et induits par l'activité humaine. Le vivant traverse ainsi tous les domaines de l'activité humaine, que ce soit dans les domaines du soin, de la biodiversité, de la culture ou encore de nos relations aux programmes informatiques.

Notions de programme

En allant chercher dans l'école de la biologie moléculaire et la réflexion de Flusser des points d'entrées pour comprendre en quoi la notion de « programme » a profondément changé notre relation à la création, nous nous demanderons quel peut être le rôle de l'art et du design dans un tel contexte. Cette partie est un travail de réflexion théorique qui a émergé à la suite du travail de recherche-crédation sur le *Vampyroteuthis infernalis*, travail qui m'a aidé à naviguer dans la pensée de Flusser. En effet, chez Flusser, il n'y a pas d'issue. L'action de pensée consiste plus à observer les limites d'un problème, à les définir concrètement et à en observer l'épaisseur. Flusser nous aide à comprendre ce mode opératoire à travers la pensée talmudique du *Pilpul*⁵⁴³. Si la pensée occidentale, selon Flusser, s'efforce de résoudre les contradictions des problèmes complexes, la pensée juive au contraire « s'efforce de souligner que ces contradictions sont insurmontables. Ce sont des symptômes de la limitation de la pensée humaine⁵⁴⁴. » Ainsi, il n'y a pas de solution à la nature programmatique de notre monde, mais il y a sans doute des manières de penser à l'intérieur des programmes qui nous permettent, par là, de surmonter le caractère fonctionnel et liberticide de nos appareils.

541 Cette partie s'appuie sur un chapitre de livre numérique (2022) : « Troubler les programmes », dans l'ouvrage collectif *Les écologies du numérique* (dir. Ludovic Duhem), co-écrit avec Anthony Masure.

542 ARNAUD, François et WORMS, Frédéric, 2016. *Le moment du vivant*. Paris : PUF.

543 Cette référence nous vient des recherches d'Yves Citton et d'Anderson Pedroso.

544 FLUSSER, Vilém. *Pilpul*, 1981, dans PEDROSO, Anderson Antonio, 2020 *Vilém Flusser : de la philosophie de la photographie à l'univers des images techniques*. Thèse de doctorat en histoire de l'art. Paris : Sorbonne université.

Le programme comme point de convergence entre le vivant et l'artificiel

À l'image de la biologie synthétique, dont la spécificité est de programmer et concevoir des entités biologiques dotées en vue de fonctions biologiques spécifiques nouvelles, la notion de programme ne s'applique plus seulement aux machines, mais également aux organismes vivants. Dans cette perspective, il est de plus en plus difficile de distinguer ce qui est de l'ordre du vivant ou de l'artificiel. Dans un premier texte⁵⁴⁵ adressé à Louis Bec, écrit à l'occasion d'une rencontre intitulée « Vivre artificiellement, vivre spontanément⁵⁴⁶ », dans le cadre de l'exposition *Le vivant et l'artificiel* qui s'est tenue en 1984 à Avignon, Flusser évoque une convergence entre le vivant et l'artificiel : « quand un vivant est manipulé pour devenir artificiel, ne devient-il pas une sorte de non-vivant, une sorte de machine ? » Plus loin dans le texte, Flusser montre le problème qui se pose quand les activités artificielles de l'homme deviennent programmatiques. Art et liberté s'opposent alors. Pour Flusser, l'artificiel, l'art humain est l'inscription de mouvements délibérés, non programmés, c'est un geste libérateur.

Dans un second texte écrit en vue de la publication du catalogue de l'exposition et qui s'adresse cette fois-ci à Bernard Faivre d'Arcier (ancien directeur du théâtre et des spectacles du ministère de la Culture et du Festival d'Avignon), il remet en perspective cette question en l'inscrivant dans la culture occidentale. Pour Flusser, nous partageons une cosmovision occidentale qui est transcendantale, c'est-à-dire qui fait de l'homme un démiurge et un créateur. Ainsi, il écrit :

« pour une telle connaissance et action objective, il n'y a pas de sens à vouloir distinguer entre un objet vivant et un objet artificiel. Les deux sont "programmables" par le sujet transcendant. La convergence des deux tendances vers la programmation sera l'aboutissement du projet occidental. "End game"⁵⁴⁷. »

Il propose ainsi de travailler la différence entre vivant et artificiel pour que celle-ci ne s'efface pas. Les textes de Flusser, souvent précurseurs, permettent de réfléchir un point d'inflexion intéressant dans la nature programmatique de notre art et son incapacité à nous émanciper dans un monde gouverné par les programmes. Comment envisager, pour reprendre les mots de l'artiste Louis Bec, « le devenir d'un vivant indissociable de la liberté⁵⁴⁸ » ? Existe-t-il un programme régissant le fonctionnement voire l'évolution du vivant ? C'est une idée

545 FLUSSER, Vilém. *Le vivant et l'artificiel (Pour Louis Bec)*. [essai] Berlin : Vilém Flusser Archive, 1984. Ref. n° : 3 054.

546 Donnée par Flusser le 11 juillet 1984. Voir à ce sujet : FLUSSER, Vilém. *Le vivant et l'artificiel*. *Multitudes*. 2019. N° 1, p. 199-202.

547 Collectif. 1984. *Le vivant et l'artificiel*. Paris : SGRAFFITE, p. 65.

548 BEC, Louis. Les gestes prolongés : postface. In : *Les Gestes*. Paris : Editions Hors Commerce ; Cergy : D'arts. [consulté le 17 février 2022]. Disponibilité : <http://www.flusserstudies.net/node/115>

que l'on retrouve dans la métaphore du « livre de la vie » dont on chercherait ainsi à déchiffrer le code. Ainsi s'exprime Flusser sans l'essai *Deux lectures du monde*⁵⁴⁹ :

« Le modèle « livre » devenait de plus en plus refoulé par l'abandon successif de ses suppositions. La science ne suppose plus qu'il y a un auteur de la nature, ni qu'elle signifie quoi que ce soit, et elle doute même de sa structure causale. Comment donc parler d'un « livre » en l'absence d'un auteur, d'une signification et d'une structure linéaire ? Néanmoins, quoique refoulé, le modèle est toujours effectif : la science déchiffre toujours la nature sur la base du code mathématique et logique. »

La question de l'évolution et de l'hérédité, qui renvoie directement à la possibilité d'un programme non pas électronique, mais génétique, trouve son origine dans l'ouvrage *What is Life?*⁵⁵⁰ (1944), dans lequel le physicien Erwin Schrödinger postule l'existence d'un « code génétique » pour expliquer la présence d'un ordre à l'échelle microscopique, là où les lois de la physique traditionnelle ne s'appliquent pas : « Ce sont ces chromosomes [...] qui contiennent sous la forme d'une espèce de code [code-script⁵⁵¹], le modèle intégral [pattern] du développement futur de l'individu et de son fonctionnement à l'état adulte⁵⁵². » Il ajoute plus loin que « le terme code est [...] trop étroit. Les structures chromosomiques servent en même temps à réaliser le développement qu'ils symbolisent. Ils sont le code loi [law code] et le pouvoir exécutif [...], ils sont à la fois le plan de l'architecte et l'œuvre d'art de l'entrepreneur [builder's craft]⁵⁵³. »

À la suite de ce modèle du mécanisme héréditaire énoncé depuis la physique vers la biologie, l'école de la biologie moléculaire française (composée notamment de François Jacob⁵⁵⁴, André Lwoff⁵⁵⁵ et Jacques Monod⁵⁵⁶) va opposer aux principes déterministes d'une conception mécanique du vivant le concept d'un « programme de l'hérédité ». *La logique du vivant*⁵⁵⁷ (1970), un ouvrage d'histoire de la biologie rédigé par François Jacob, décrit ainsi l'hérédité en termes d'informations, de messages et de codes : « L'organisme devient ainsi la réalisation

549 FLUSSER, Vilém. *Deux lectures du monde*. *Multitudes*. 2019. Vol. 74, n° 1, p. 203-206.

550 SCHRÖDINGER, Erwin. *Qu'est-ce que la vie ? : De la physique à la biologie*. Paris : Seuil, 1993.

551 EIGER, Edward. 2004. The Housing of Entropy: On Schrödinger's Code-Script. *Perspecta*. Vol. 35, p. 62-73 [consulté le 17 février 2022]. Disponibilité : <http://www.jstor.org/stable/1567344>

552 Erwin SCHRÖDINGER, *Qu'est-ce que la vie ?*

553 Erwin SCHRÖDINGER, *Qu'est-ce que la vie ?*

554 Voir notamment : JACOB, François. *La logique du vivant. Une histoire de l'hérédité*. Paris : Gallimard, 1970.

555 Voir notamment : LWOFF, André et Agnès ULLMANN (dir.). 1979. *Origins of molecular biology: a tribute to Jacques Monod*. New York : Academic Press.

556 Voir notamment : Jacques MONOD, *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*.

557 François JACOB, *La logique du vivant*.

d'un programme prescrit par l'hérédité⁵⁵⁸. » Ici, l'exécution d'un dessin, d'un plan, n'a pas été réalisée par un programmeur humain, mais répond à l'exigence de la reproduction de l'espèce. Ce programme est le fruit du hasard et des rencontres de l'organisme avec son milieu : « Le programme représente un modèle emprunté aux calculatrices électroniques. Il assimile le matériel génétique d'un œuf à la bande magnétique d'un ordinateur⁵⁵⁹. » On pourrait y voir un rapprochement évident entre la cybernétique et la biologie moléculaire, proches historiquement, Jacob citant Norbert Wiener⁵⁶⁰, père de la cybernétique⁵⁶¹. Pourtant, selon l'école de la biologie moléculaire, on ne saurait expliquer la logique du vivant depuis un cadre déterministe, voire mécanique : « La notion cybernétique de programme maintient de facto le vivant dans un cadre mécaniste où l'on procède nécessairement des parties vers le tout comme le ferait un horloger, en droite ligne avec le postulat de l'animal-machine de Descartes⁵⁶². » Au pilotage cybernétique s'oppose le concept de « milieu ». François Jacob note ainsi que : « dans le programme sont contenues les opérations qui [...] conduisent chaque individu de la jeunesse à la mort. [...] Tout n'est pas fixé avec rigidité par le programme génétique. Bien souvent, celui-ci ne fait qu'établir des limites à l'action du milieu⁵⁶³. » Plus précisément, la notion de « programme » de l'hérédité est établie par l'école de la biologie moléculaire pour rendre compte d'une histoire de l'évolution, inscrite au cœur de chaque cellule, et permettant à chaque entité vivante de transmettre des informations à la génération suivante. À mesure que le temps géologique passe, ce programme s'affine afin de permettre aux êtres vivants de se reproduire. François Jacob souligne la différence entre le programme génétique biologique et le programme informatique dès le début de son ouvrage⁵⁶⁴ : le matériel génétique de la cellule n'est pas modifiable et s'appuie sur une organisation structurelle améliorante, tandis que la bande magnétique est réinscriptible, non structurelle, et ne peut pas s'améliorer toute seule. Nous savons aujourd'hui que ces affirmations ne sont plus exactes, en attestent les champs de la biologie synthétique et de l'intelligence artificielle.

Pour autant, pour le philosophe Worms, le moment de la biologie moléculaire est celui dans lequel le vivant est appréhendé dans un modèle linguistique et logique (plus que cybernétique). Thierry Bardini revient sur un malentendu : la cybernétique n'est pas l'influence directe de la biologie moléculaire naissante. Thierry Bardini utilise la notion de capitalisme génétique pour discuter le nouveau régime de gouvernance se superposant aux trois régimes de pouvoir décrits par Foucault : souveraineté, discipline et contrôle. Dans ce capitalisme, le vivant se réduit à un code.

558 François JACOB, *La logique du vivant*, p. 10.

559 François JACOB, *La logique du vivant*, p. 17.

560 François JACOB, *La logique du vivant*, p. 272.

561 François JACOB, *La logique du vivant*, p. 208.

562 POUTEAU, Sylvie. 2007, *Génétiquement indéterminé : Le vivant auto-organisé*. Versailles : Quae, p. 163

563 François JACOB, *La logique du vivant*, p. 18.

564 François JACOB, *La logique du vivant*.

Brouillage entre programme informatique et programme génétique

Depuis les recherches de l'école de la biologie moléculaire, la situation technique a changé, rendant sans doute cette partition inopérante. Contrairement au caractère ancestral du « programme de l'hérédité », les modifications du génome (biologie synthétique) montrent que le code génétique peut être « édité » par l'action humaine. On pourrait en premier lieu penser aux OGM (Organismes Génétiquement Modifiés) apparus depuis les années 1990, qui consistent à introduire dans un organisme un fragment du génome d'une autre espèce. Plus proche de nous, la technologie du ciseau moléculaire CRISPR se contente d'« éditer » un gène, parfois très légèrement, pour modifier son évolution dans un sens planifié. Les applications de CRISPR sur l'être humain pourraient ainsi permettre l'augmentation de la capacité musculaire ou l'éradication de maladies génétiques⁵⁶⁵. Ces exemples sont largement controversés⁵⁶⁶, que ce soit dans les pratiques d'éditions ou de modifications génétiques, et tendent à montrer l'absence de prise en compte de la notion de « milieu » dans ces savoir-faire technoscientifiques émergents.

Un travail entre art et design permet d'éclairer ces enjeux. Dans le projet *Human × Shark*⁵⁶⁷ (2017), la designeuse Ai Hasegawa détourne l'imaginaire du « post-humain » et spéculé sur une relation interspèce avec un requin. Elle crée en laboratoire un fluide pouvant attirer des requins mâles (**figure 111**). Lors d'une performance, elle se filme dans l'eau avec des requins lors d'une plongée sous-marine. La vidéo est accompagnée d'une installation de deux fragrances favorisant ce potentiel accouplement. Formellement, les flacons reprennent les aspects des « organes-sur-puce⁵⁶⁸ » ou de flacons microfluidiques, faisant de la biotechnologie une possibilité d'hybridation et de collage du vivant.

565 SUSSAN, Rémi. Aux origines de CRISPR. *InternetActu* [en ligne]. 2018. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <http://www.internetactu.net/2018/02/08/aux-origines-de-crispr>. On retrouve ici les limites d'une opposition entre réparation et augmentation : la réduction des facteurs conduisant à ces maladies avantagerait mécaniquement les personnes pouvant accéder à ces mutations génétiques.

566 En novembre 2018, le biophysicien chinois He Jiankui (Université de Shenzhen) annonçait la naissance de deux bébés génétiquement modifiés (ces bébés ne pourraient pas contracter la maladie du SIDA) avec la technologie CRISPR-Cas9 lors d'un symposium scientifique à Hongkong.

567 HASEGAWA, Ai. *Human × Shark*. Site d'Ai Hasegawa [en ligne]. 2017. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <https://aihasegawa.info/human-x-shark>

568 Un organe-sur-puce désigne un modèle physio-biologique d'un organe mimant à la fois l'environnement cellulaire et les fluides présents pour faire fonctionner l'organe et permettre ainsi son étude sur des puces fabricables à grande échelle.



Figure 111 — : Ai Hasegawa, *Human x Shark*, 2017, <https://aihasegawa.info/human-x-shark>

Dans le texte *Le soin est un humanisme*, la clinicienne et philosophe Cynthia Fleury revient sur notre potentialité à habiter le réel. Ce réel, pour nous, est constitué des couches programmatiques qui nous apparaissent. Pour Fleury, l'imagination et le soin doivent nous permettre de « constituer un rapport au monde, de rendre habitable le réel ⁵⁶⁹ ». Nous aurions besoin d'élaboration imaginative pour peupler la réalité des programmes, pour l'habiter de notre subjectivité.

François Jacob écrit une histoire de la biologie où la science n'est pas la recherche d'une vérité, mais construit une réalité.⁵⁷⁰ Cette réalité est la vision programmatique du monde qui nous apparaît dans le mécanisme de l'information génétique fonctionnant par hasard et par nécessité. Cette vision programmatique lie avec elle une réalité du langage, du vivant et de l'histoire. Le rapprochement entre Foucault et Jacob est bien étudié, selon Schmitt ⁵⁷¹ : ils remettent tous deux en cause le modèle positiviste, scientifique du progrès perpétuel des sciences.

Vilém Flusser : le programme comme jeu absurde des permutations

Nous allons regarder différentes acceptations du terme programme afin de voir en quoi la réflexion de ce terme par Flusser est novatrice pour penser la condition post-moderne. La notion de programme peut être comprise comme une écriture « à l'avance ». Le programme, c'est la traduction d'un but déterminé, connu à l'avance, en un ensemble d'actions programmables (des lignes de code par exemple). Il est prédéterminé, à l'avance. La logique opératoire du programme est omniprésente : depuis le développement à grande échelle des programmes informatiques, l'élaboration de nos connaissances et le design de nos existences. Ainsi posés, les champs du design, de l'ingénierie et des sciences naturelles voient leur action réduite à un plan à exécuter, connu à l'avance. Comment se défaire des programmes et comment penser à l'intérieur de ces derniers ?

L'essai *Post-histoire*⁵⁷² s'ouvre sur l'évènement « incomparable » d'Auschwitz, que Flusser comprend, à la suite des philosophes Hannah Arendt et Günther Anders, comme l'aboutissement de la modernité : « Le camp d'extermination est occidental parce qu'il pousse directement des racines mêmes de l'Occident, de ses concepts et de ses valeurs. Auschwitz est implicitement contenu dans le projet initial de notre culture. Dans son "programme" ⁵⁷³. » Pour Flusser, celui-ci fait de nous des « fonctionnaires » : il nous désresponsabilise de nos actes et enlève le sens du travail pour faire de nous les rouages d'une machine plus vaste. L'entrée « Programme » de *Post-histoire* précise cette pensée. Selon Flusser, cette notion se substitue aux anciennes conceptions du monde, à savoir à la pensée finaliste (de la religion) et à la pensée causale (de la science). Plus précisément, Flusser redéfinit la notion de programme depuis la biologie moléculaire⁵⁷⁴ : « Pour l'anthropologie programmatique, l'homme est une permutation parmi d'autres permutations, de l'information génétique, commune à tout être vivant, et qui s'est réalisée par le jeu accidentel des gènes⁵⁷⁵ » ; « Pour l'éthique programmatique, le comportement humain est le déroulement de manifestations accidentelles des virtualités latentes dans l'homme et dans son milieu ⁵⁷⁶ » ; « [la pensée programmatique] appliquée à l'anthropologie le modèle de biologie moléculaire, selon lequel la structure de certains acides nucléiques contient toutes les formes possibles des organismes ⁵⁷⁷. » Là où le programme de l'hérédité suppose l'existence d'un code favorisant la reproduction via l'adaptation à un milieu, Flusser l'examine du point de vue humain pour en faire non pas seulement une question de vie (de persistance dans le monde), mais d'existence (de sens et de non-sens) : « Un programme c'est un système où toute virtualité inhérente se réalise par hasard, mais nécessairement. Il est un

572 Vilém FLUSSER, *Post-histoire*.

573 Vilém FLUSSER, Notre sol [essai], in : *Post-histoire*, p. 36.

574 Ainsi que depuis la thermodynamique et la psychanalyse.

575 Vilém FLUSSER, Notre programme [essai], in : *Post-histoire*, p. 50

576 Vilém FLUSSER, Notre programme [essai], in : *Post-histoire*, p. 51.

577 Vilém FLUSSER, Notre programme [essai], in : *Post-histoire*, p. 51.

569 FLEURY, Cynthia. *Le soin est un humanisme*. Paris : Gallimard, 2019. p. 21 et p. 11.

570 François JACOB, *La logique du vivant. Une histoire de l'hérédité*.

571 SCHMITT, Stéphane. 2012. François Jacob, une nouvelle vision de l'histoire des sciences. In : *Une nouvelle connaissance du vivant* : François Jacob, André Lwoff et Jacques Monod. Paris : Éditions Rue d'Ulm.

jeu⁵⁷⁸ ». Le sens du programme chez Flusser permet à l'indéterminé d'arriver et en ce sens, il s'oppose à la doxa commune que nous avons définie au début de cette partie. Le « jeu » peut être compris ici au moins de deux manières. C'est un jeu au sens du jeu de bricolage, d'un espace entre deux parties que l'on cherche à assembler. C'est un jeu au sens du jeu d'enfance, où le programme est soumis à un ensemble de règles connues à l'avance, mais qui permet de nouvelles situations d'advenir.

Flusser souligne la condition contemporaine régie par les programmes sous l'égide de l'absurdité. C'est précisément cette tension entre hasard et nécessité qui intéresse Flusser, à savoir le caractère absurde d'une existence qui ne connaît pas les règles qui régissent son jeu. Il est vain de chercher à se libérer ou à s'émanciper des programmes, car ces verbes perdent leur sens dans une pensée non finaliste : « lire » (décoder) ou « démythifier » les programmes ferait de nous des fonctionnaires. Selon Flusser, ceux qui écrivent les instructions des programmes (les programmeurs) n'y échappent pas, d'une part, car ils sont eux-mêmes programmés et, d'autre part, car les appareils tendent à devenir « intelligents » et produisent des programmes sans intervention humaine (cette intuition se réalise dans le développement des technologies de *deep learning*). Par conséquent, nous n'avons d'autre choix que de jouer avec les programmes. Il nous faut accepter cette absurdité pour éviter de devenir les pions d'un jeu gigantesque ; « programmer ou être programmé⁵⁷⁹ ». Dans ce contexte, les artistes et designers peuvent *détourner les programmes de leur fatalité*. L'artiste Grégory Chatonsky, dans ses recherches sur « l'imagination artificielle », questionne par exemple la part créative des intelligences artificielles. Dans la vidéo *I'm only memory and I love only you* (2019) **figure 112**, l'artiste détourne une base de données d'images prise sur les réseaux sociaux et donne à voir une métamorphose à la fois belle et monstrueuse de mémoires et d'histoires de vies numériques.

578 Vilém FLUSSER, Notre programme [essai], in : *Post-histoire*, p. 51.

579 LA PORTE (de), Xavier. Programmer ou être programmé? *InternetActu* [en ligne]. Novembre 2010. [consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <http://www.internetactu.net/2010/11/02/programmer-ou-etre-programme/>



Figure 112 — : Grégory Chatonsky, *I'm only memory and I love only you*, vidéo générative, 2019, 43

Jouer avec les programmes : trois scénarios non binaires pour les designers

Alors que Flusser ouvrait *Post-histoire* par le cas d'Auschwitz, et que Günther Anders voyait dans la « condition atomique » la fin de l'histoire universelle⁵⁸⁰, le programme occidental menace à présent non seulement les êtres humains, mais l'ensemble des vivants — que l'on pense par exemple au rapport Meadows (1972), à la « 6^e extinction » ou aux théories de l'effondrement. S'il faut apprendre à « vivre dans les programmes⁵⁸¹ », ces derniers doivent donc s'ancrer dans des conditions laissant les êtres vivants (humains et non-humains)

580 ANDERS, Günther. 2008. *Hiroshima est partout*. [trad collective, préface de Jean-Pierre Dupuy]. Paris : Seuil, p. 146 : « Le 6 août 1945 fut le jour zéro. Le jour où il a été démontré que l'histoire universelle ne continuera peut-être pas, que nous sommes en tout cas capables de couper son fil, ce jour a inauguré un nouvel âge de l'histoire du monde. »

581 Vilém Flusser : vivre dans les programmes [dossier des textes inédits rédigés en français dirigé par Yves Citton et Anthony Masure]. *Multitudes*. Avril 2019. N°74.

« vivre ». D'autre part, la « condition programmatique » invite à dépasser la situation de subsistance (la vie limitée à la reproduction de l'espèce) pour accéder à l'existence⁵⁸², c'est-à-dire à la capacité de dépasser une situation initiale pour transformer le programme.

Dans cette visée, l'assimilation du design à un plan, selon sa définition habituelle, est inopérante pour opérer de tels renversements. Aussi, nous proposons à l'inverse de comprendre *le design comme ce qui permet d'affronter l'absurdité des programmes*. Autrement dit, le design est moins ce qui façonne le monde depuis une suite d'instructions que ce qui permet de jouer, et donc d'exister, c'est-à-dire d'affronter le hasard et la réalisation de chaque futur possible (il n'est pas souhaitable que chaque virtualité advienne au monde). Dans la suite, nous proposons trois pistes pour des scénarios « non binaires », soit trois façons de jouer avec les programmes. La première consiste à dépasser la distinction entre le naturel et l'artificiel, la seconde à troubler les programmes et la troisième à coder sans fonctionner.

Dépasser la distinction naturel/artificiel

Les conséquences néfastes d'un déploiement toujours plus important du « programme occidental » ne pourront être évitées qu'à condition de sortir du dualisme culture/nature et de déployer de nouveaux critères de lecture du monde, ce à quoi nous invite la chercheuse Donna Haraway (à la même époque que Flusser) avec ses recherches associant biologie et féminisme. En 1985, dans son *Manifeste Cyborg*, Haraway note qu'« avec les machines de la fin du XX^e siècle, les distinctions entre naturel et artificiel, corps et esprit, autodéveloppement et création externe, et tant d'autres qui permettent d'opposer les organismes aux machines, sont devenues très vagues. Nos machines sont étrangement vivantes, et nous, nous sommes épouvantablement inertes⁵⁸³ ».

Pour Flusser, les catégories culture/nature ne fonctionnent plus accolées dos à dos, car elles sont toutes les deux des conditions de détermination pour les humains : il faudrait des catégories entre ce qui relèverait d'expériences conditionnantes et ce qui relèverait d'expériences libératrices.

Dans un texte intitulé « La nature de l'artificiel » (1990), le designer Ezio Manzini fait également remarquer que la distinction entre le naturel (non créé par l'humain) et l'artificiel n'a jamais été aussi floue : « Très longtemps, l'opération technique s'est limitée à transformer (au sens propre de "changer la forme") quelque chose qui existait déjà ; aujourd'hui, nous ne sommes pas loin de la "création" ex nihilo : on "crée" de la matière inanimée (par la conception de nouveaux matériaux), de la matière vivante (grâce au génie génétique), et même des

582 Sur la distinction entre vie et existence du point de vue du design, voir : HUYGHE, Pierre-Damien. Design et existence. In : *Le design. Essais sur des théories et des pratiques*. Paris : IFM/Regard, 2006, p. 205-214.

583 Donna HARAWAY, et al. *Manifeste cyborg et autres essais : sciences, fictions, féminismes*.

formes d'intelligence (avec la réalisation de "systèmes experts")⁵⁸⁴. » Ce texte montre que le design, dans ses ramifications avec la biologie, engage une mutation de la notion de création faisant du designer un potentiel « demiurge ». Mais, souligne Manzini, cette nouvelle condition entraîne une situation d'instabilité potentielle à plus grande échelle, et pose donc un problème écologique. Si l'on entend sous le nom d'écologie une science des milieux humains et non humains, l'idée même d'une « création » ex nihilo interroge ce que l'on pourrait attendre du design : moins une science du projet qu'un art de l'équilibre.

Troubler les programmes

Dans la préface de l'ouvrage *Génétiqement indéterminé : Le vivant auto-organisé*⁵⁸⁵, la philosophe des sciences Isabelle Stengers montre que « la distinction entre génotype et phénotype ne permet pas de poser la question de ce que nous appelons hérédité, mais prolonge [...] en biologie des oppositions qui fascinent et bloquent la pensée, telles que l'inné et l'acquis, la liberté et le déterminisme⁵⁸⁶. » Le problème que pose le programme est bien celui de la liberté. Quelle liberté existe-t-il dans une vie dictée par un programme héréditaire, dans un programme culturel, dans un programme de mort ? Cette idée ressurgit aujourd'hui sous la forme d'un trouble : « Rester dans le trouble est le prix à payer si l'on essaie de ne plus penser les problèmes en termes de solutions indicatrices⁵⁸⁷ », nous dit Stengers à la suite de Haraway. Jouer avec ce trouble, mettre du trouble dans les programmes, c'est ce que propose Haraway avec la figure du cyborg⁵⁸⁸, à savoir un dépassement des notions de race, de genre ou de sexualité⁵⁸⁹. Haraway extirpe le cyborg des imaginaires militaires, pour lui donner une force hybride, contre-nature, et féministe. L'établissement d'une zone de trouble entre différents champs délimite aussi un faisceau de sens inattendu, non prévu (une nouvelle information) qui s'oppose à la contingence de l'absurde. Ici, pas de méchants contre les gentils, pas de solutions face à des problèmes, pas de science et de vérités, mais uniquement des savoirs et des histoires « situées ». Le cyborg recode la relation organisme/machine, genre/sexualité dans un nouvel ordre émancipateur. Il y aurait dès lors un paradoxe intéressant à penser un « design du trouble », c'est-à-dire non pas la volonté d'ordonner du désordre (selon un plan), mais de proposer un nouvel agencement du réel où du jeu peut avoir lieu.

584 MANZINI, Ezio. 1991. La nature de l'artificiel. In : *Artefacts. Vers une nouvelle écologie de l'environnement artificiel* [1990]. trad. de l'italien par Adriana Pilia. Paris : Centre Pompidou/CCI, p. 52-53.

585 Sylvie POUTEAU, *Génétiqement indéterminé*.

586 Sylvie POUTEAU, *Génétiqement indéterminé*, p.10.

587 Isabelle STENGERS, Marin SCHNAFFER et Émilie HACHE. *Résister au désastre : dialogue avec Marin Schaffner*.

588 Donna HARAWAY, *Vivre avec le Trouble*. Donna Haraway convoque, dans la suite de ses travaux, d'autres compagnons de pensée, tels que les pigeons, les coraux, une araignée et le compost pour poursuivre ses histoires situées troublantes.

589 Donna HARAWAY, et al. *Manifeste cyborg et autres essais : sciences, fictions, féminismes*.

Si l'écologie s'offre à nous tout autant comme une science et un art du soin⁵⁹⁰, le design s'exerce aussi dans les imaginaires et dans l'art du récit. Dans l'édition en ligne *The New Weatherman's Cookbook*⁵⁹¹ (2014), le chercheur en design David Benqué propose une série d'objets fictionnels de biohacking. Un « pirate pollen club » (**figure 113**) se propose ainsi de jouer de l'ambivalence entre le naturel et l'artificiel. Au sein de terrains de golf utilisant des herbes modifiées génétiquement pour paraître plus verdoyantes, fortes et « naturelles », un tunnel de dispersion de graines est utilisé pour disséminer des espèces de graminées plus résistantes et résilientes que l'herbe (OGM) du golf, permettant à terme la suppression des gènes protégés par un brevet propriétaire. Cette fiction visuelle met en lumière l'industrie de gazon OGM à résistance sélective, où le design peut venir troubler le programme d'une résistance prédéfinie aux herbicides pour devenir un terrain accidenté et troublé.

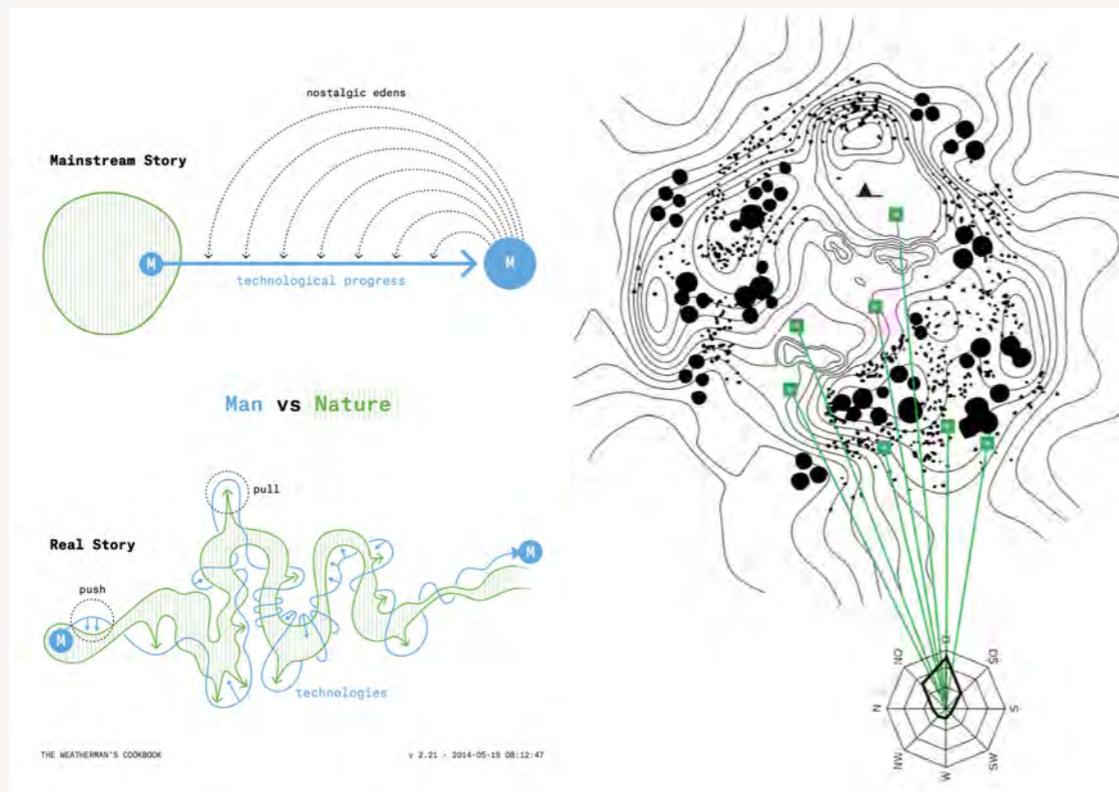


Figure 113 — : BENQUÉ, David, *The New Weatherman's cookbook*, visuels imprimés. 2014

590 Dans Isabelle STENGERS, Marin SCHNAFFER et Émilie HACHE. *Résister au désastre : dialogue avec Marin Schaffner*, Isabelle Stengers précise p. 57 que l'art du soin nécessite de l'imagination et une culture du récit dont les scientifiques sont habituellement privés.

591 BENQUÉ, David. *The New Weatherman's cookbook* [Publication about fictional activist group The New Weathermen, including their manifesto, propaganda posters, device blueprints, research, and images], visuels imprimés. 2014. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <https://davidbenque.com/projects/the-new-weathermans-cookbook>

Coder sans fonctionner

Le chercheur Thierry Bardini a étudié le malentendu consistant à penser que la cybernétique aurait directement influencé la biologie moléculaire. Dans son article « Variation sur l'insignifiant génétique » (2004), il commence par souligner les oppositions que revêt la notion d'information pour les deux disciplines, mais en vient ensuite à réévaluer le rôle de la métaphore dans les contextes scientifiques. L'opposition entre cybernétique et biologie moléculaire, et par extension la compréhension du code génétique qu'elle entraîne, « a [selon lui] le désavantage de fermer le mode de référence de la métaphore du code génétique sur sa référence première : en assimilant métaphoriquement l'ADN au médium de l'hérédité, elle en arrive à considérer que l'ADN ne peut être que cela⁵⁹². » En rappelant l'existence de parties non codantes (non fonctionnelles) du code génétique⁵⁹³, le « junk DNA », Bardini montre qu'il n'existe pas de pure adéquation de l'ADN au principe de l'hérédité⁵⁹⁴ et que l'ADN supposé non codant, l'ADN « déchet », a certainement un grand rôle à jouer dans notre compréhension de ce code génétique. La conclusion de l'article de Bardini plaide pour une « hybridation [...] entre des savoirs hyper spécialisés (biologie moléculaire, informatique, linguistique, physique quantique, etc.) qui sont autant de quêtes à jamais inachevées⁵⁹⁵ ». La notion de « junk DNA » met en évidence les limites d'une compréhension du vivant comme pure entité fonctionnelle et déterminée, et montre que de l'imprévu peut surgir des programmes : les prescriptions ne peuvent jamais être pures, le code ne peut jamais être que du code. Dans cette optique, il serait fallacieux d'envisager une « fabrication du vivant » (et de design du vivant) de manière fonctionnelle et déterminée, puisque le vivant, au sens fort, est précisément ce qui résiste aux idées de déterminisme et de contrôle : tout projet comporterait un point aveugle, une dimension inconsciente. Ces pratiques relèveraient plutôt d'une négociation avec les vivants avec qui il faudrait apprendre à communiquer pour trouver un terrain d'entente et de co-création. Bardini a lui-même mis à l'épreuve de telles idées à l'occasion d'une installation interactive (2015) visible **figure 114**, intitulée *Your Synthetic Future (at the speed of light)*⁵⁹⁶ : « Un dispositif ironique en forme de machine oraculaire [qui] permet de comprendre que la véritable originalité de la biologie synthétique réside dans sa capacité à produire de nouvelles formes de présence à travers la frontière, jadis infranchissable, qui sépare les modalités analogiques et numériques de l'existence⁵⁹⁷. » Plus précisément, cette machine bio-informatique

592 BARDINI, Thierry. Variations sur l'insignifiant génétique : les métaphores du (non —) code. *Érudit*. 2004. N° 3, « Devenir-Bergson », p. 162–186.

593 Thierry BARDINI, Variations sur l'insignifiant génétique, p. 184–185 : « Et si l'ADN était un médium multiplexe, capable de conduire (de transmettre) à la fois les messages de la synthèse protéique et d'autres messages ? »

594 Thierry BARDINI, Variations sur l'insignifiant génétique, p. 182.

595 Thierry BARDINI, Variations sur l'insignifiant génétique, p. 186.

596 BARDINI, Thierry et al. 2015. *Your Synthetic Future (at the speed of light)*. Installation interactive. Helsinki : galerie Lasipalatsi.

597 BARDINI, Thierry. 2016. Future life will be synthetic: About the emergence of engineered life, its promises, prophecies and the formal causalities needed to make sense of them. *Social Science Information*. Vol. 55, n° 3.

« répond » à des questions via des bactéries procaryotes connectées à un écran, éliminant ainsi toute source humaine, les idéologies, le conservatisme et la résistance au changement.



Figure 114 — : BARDINI, Thierry et al. *Your Synthetic Future (at the speed of light)*. Installation interactive. Helsinki : galerie Lasipalatsi, 22-31 mai 2015.

Ces trois pistes pour des scénarios non binaires (dépasser la distinction naturel/artificiel ; troubler les programmes ; coder sans fonctionner), issues du croisement entre programmes informatiques et programmes génétiques, nous ont amené à remettre en question le présupposé d'un design comme plan et à le redéfinir comme art de l'équilibre et du réagencement, zone de trouble, et variation d'insignifiant. Pour reprendre le titre d'un ouvrage de Flusser, le design consisterait moins à créer des objets qu'à articuler des « choses et non choses ⁵⁹⁸ », c'est-à-dire des entités matérielles (hardware) et des informations (software). Flusser se demande ainsi « de quelle sorte sera donc cet homme qui, au lieu de se consacrer aux choses, se consacrerà à des informations, à des symboles, à des codes, à des systèmes, à des modèles ⁵⁹⁹ ». Pourrait-on y voir une possible redéfinition du rôle du designer ? Selon nous, cette habileté à combiner des symboles doit moins être comprise comme une augmentation du programme occidental que comme une façon de le « troubler », de contrer l'entropie qui fait qu'une chose équivaut à toute autre, de montrer que du possible peut échapper au non-sens de ses variations infinies. Mais ces configurations, et c'est ce que montre la biologie, ne peuvent pas et ne doivent pas être stabilisées, elles doivent toujours permettre du jeu, des métamorphoses, des reconfigurations. Dans ce brouillard informationnel, « spectral », des

598 FLUSSER, Vilém. [1993] 1996. *Choses et non-choses. Essais phénoménologiques [Dinge und Undinge, recueil posthume]*. Trad. de l'allemand par Jean Moucharid. Paris : Jacqueline Chambon.

599 Vilém FLUSSER, *Choses et non-choses*, p. 101.

voix peuvent émerger pour donner sens à des variations plutôt qu'à d'autres. Le monde n'est pas un projet, une entité hors sol que le design peut se donner comme but de programmer : le détour par la biologie montre que la délimitation de faisceaux de variations et l'adaptation au milieu s'opposent à la dimension existentielle, démiurgique, cosmologique du programme. Réciter le programme, mettre en paroles ses instructions est déjà une façon de le jouer et le déjouer, c'est prouver qu'il est possible de contrecarrer sa dimension absurde.

4. Cinématique en réalité virtuelle : un voyage dans les forêts animales⁶⁰⁰

Dans ce chapitre, nous avons présenté le travail précurseur de Vilém Flusser à travers le prisme de ses ouvrages sur le *Vampyroteuthis infernalis*. Nous avons ensuite montré comment ce travail résonne aujourd'hui et interroge le rôle et les voies du design en prolongeant nos réflexions sur la notion de programme. Nous allons maintenant présenter un autre travail de recherche-création concernant une cinématique en réalité virtuelle qui, inspirée de la fable vampyroteuthique, fait le lien avec la problématique corallienne qui a été détaillée au chapitre précédent (chapitre 3). Il s'agit dans ce cas de l'utilisation de la réalité virtuelle pour rencontrer l'altérité des forêts animales, dans une démarche flusserienne. Les recherches menées sur le *Vampyroteuthis infernalis* m'ont inspiré la réalisation d'une cinématique dont le sujet porte sur les coraux. Ainsi, j'ai proposé, à la manière de la fable vampyroteuthique, de travailler à une vision non anthropocentrique du vivant. J'ai choisi la thématique du corail qui a alimenté une autre partie de mon travail de thèse (chapitre 3). Pour préciser le décentrement visé par ce travail, il s'agit avant tout de surmonter l'anthropocentrisme. Il n'est en effet peut-être pas possible de faire l'exercice d'une abstraction totale de notre mode d'agir anthropocène, mais il est sans doute envisageable (et souhaitable) de le dépasser. Cette tâche suppose de s'intéresser à des modes de perception et des manières de donner à voir les protagonistes non-humains. Notre hypothèse, pour faire l'expérience de cette vision a-humaine, a été d'opérer un changement d'échelle.

Dans le cadre du bicentenaire de Lacaze-Duthiers qui s'est tenu en juillet 2021 à Banyuls-sur-Mer, dans le village de pêcheurs où le naturaliste français a installé un observatoire océanographique en 1882, nous avons proposé une expérience dédiée utilisant un dispositif de vision 3D. Cet événement, à destination à la fois de la communauté scientifique et du grand public, a été l'occasion de présenter une cinématique en réalité virtuelle intitulée *Un voyage dans les forêts animales*. Rattachée au projet *Corallum Fabrica*, présenté au chapitre 3 de cette thèse, l'expérience *Un voyage dans les forêts animales* place petit à petit l'observateur à l'échelle d'un polype de corail. J'ai conçu le scénario, la création sonore et dirigé artistiquement ce travail. Denis Tribouillois, ingénieur en réalité virtuelle, a réalisé techniquement l'expérience. Nous avons demandé l'aide d'un dessinateur-modélisateur 3D, Damien Samper, sur certaines représentations 3D complémentaires. J'ai co-écrit le texte interprété dans la création radiophonique avec Lorenzo Bramanti.

600 Le terme de forêt animale fait référence aux recherches sur les coraux qui s'organisent tridimensionnellement dans des configurations de forêts ; ceci est notamment vrai pour les octocoralliaires tels que les gorgones rouges. L'expression forêt animale est une traduction de l'anglais *animal forest* issue de travaux scientifiques en biologie marine. Voir : ROSSI, Sergio et al. 2017. *Marine Animal Forests: The Ecology of Benthic Biodiversity Hotspots*. Springer International Publishing. et ROSSI, Sergio et Lorenzo BRAMANTI (éd.). 2020. *Perspectives on the Marine Animal Forests of the World*. Springer International Publishing.

Les forêts animales

Les coraux sont des animaux qui vivent habituellement en colonies, formant de véritables forêts animales. Ce concept scientifique permet de comprendre les colonies de coraux par analogie avec les forêts terrestres. Comme les forêts, les récifs sont des environnements tridimensionnels complexes qui favorisent une forte biodiversité en fournissant des habitats diversifiés, de la nourriture ou un refuge à de nombreux autres organismes.

Le concept de forêts animales a une première vertu, en termes de perception et de communication : il permet de faire le parallèle entre les enjeux de préservation des forêts terrestres, telles que les forêts primaires d'Amazonie et les récifs de scléactiniaires et d'octocoralliaires. Le concept prolonge en ce sens la compréhension que peut avoir le public des forêts comme « poumon terrestre »⁶⁰¹ envers des animaux marins qui par des échanges biochimiques et une fonction de refuge permettent eux aussi de participer à la régulation de notre milieu. Le concept de forêts animales a également un usage scientifique dans le transfert de concepts théoriques utilisés dans l'étude des forêts terrestres applicables aux forêts animales sous-marines. Dans un article⁶⁰² écrit par Nelson et Bramanti, les deux biologistes contextualisent la place des forêts animales dites de coraux mous, concernées par les octocoralliaires (gorgones par exemple) qui tendent à supplanter la place des coraux à squelettes durs sous l'effet des dérèglements environnementaux. Cette famille corallienne demande donc une attention et une étude particulières afin de connaître l'état de santé des forêts animales et la mise au point de mesures de protection environnementales. Par exemple, l'utilisation de la *self-thinning rule* utilisée en botanique, selon laquelle la population d'individus augmente lorsque la densité d'espèces diminue, due au caractère compétitif d'un milieu aux ressources limitées, peut être employée à l'endroit des forêts animales.

Si les récifs coralliens peuvent nous sembler des milieux éloignés des nôtres, la notion de forêt animale permet de nous sentir plus reliés à ces derniers. Au-delà de ce sentiment d'appartenance, le parallèle entre les dynamiques terrestres et océaniques nous place dans une échelle de grandeur. Le corail n'est plus unique, isolé, il devient forcément multiple, et déployé à l'échelle de la forêt. L'expérience de la forêt terrestre est une expérience qui nous est familière ; celle de la forêt animale, encore inconnue, devient envisageable grâce à ce parallèle sémantique. Cette analogie doit s'épaissir d'une compréhension de la forêt animale comme une forêt primaire. En effet, l'humain plante et exploite depuis très longtemps des forêts végétales pour subvenir à ses besoins de construction et d'énergie ; les forêts animales coralliennes restent à ce jour des forêts primaires. Il est déjà discuté et envisagé d'implanter des coraux super-résistants⁶⁰³ et plus résilients au réchauffement de l'eau dans les mers tropicales. Si bien sûr ces solutions sont des tentatives pour tenter de sauvegarder une faune locale, on peut se demander si cette potentielle « monoculture » corallienne n'aura pas pour effet une baisse de la biodiversité.

601 Nous mettons entre guillemets cette expression et souhaitons apporter un éclairage. La métaphore du poumon terrestre s'appuie sur une idée scientifiquement fautive qui verrait la Terre comme un unique organisme et des zones particulières comme des organes de cette dernière. L'état d'équilibre entre différentes espèces permettant de stocker le gaz carbonique, la production de nuages, etc., est en réalité le résultat d'un ensemble de relations et d'interactions biochimiques entre diverses espèces.

602 BRAMANTI, Lorenzo et H. Nelson. 2020. From trees to octocorals: The role of self-thinning and shading in underwater animal forests. In : *Perspectives on the Marine Animal Forests of the World*. Springer, p. 401-417.

603 CAMP, Emma F., Verena SCHOEPPF et David J. UGGETT. 2018. How can "Super Corals" facilitate global coral reef survival under rapid environmental and climatic change? *Global Change Biology*. Vol. 24, n° 7.

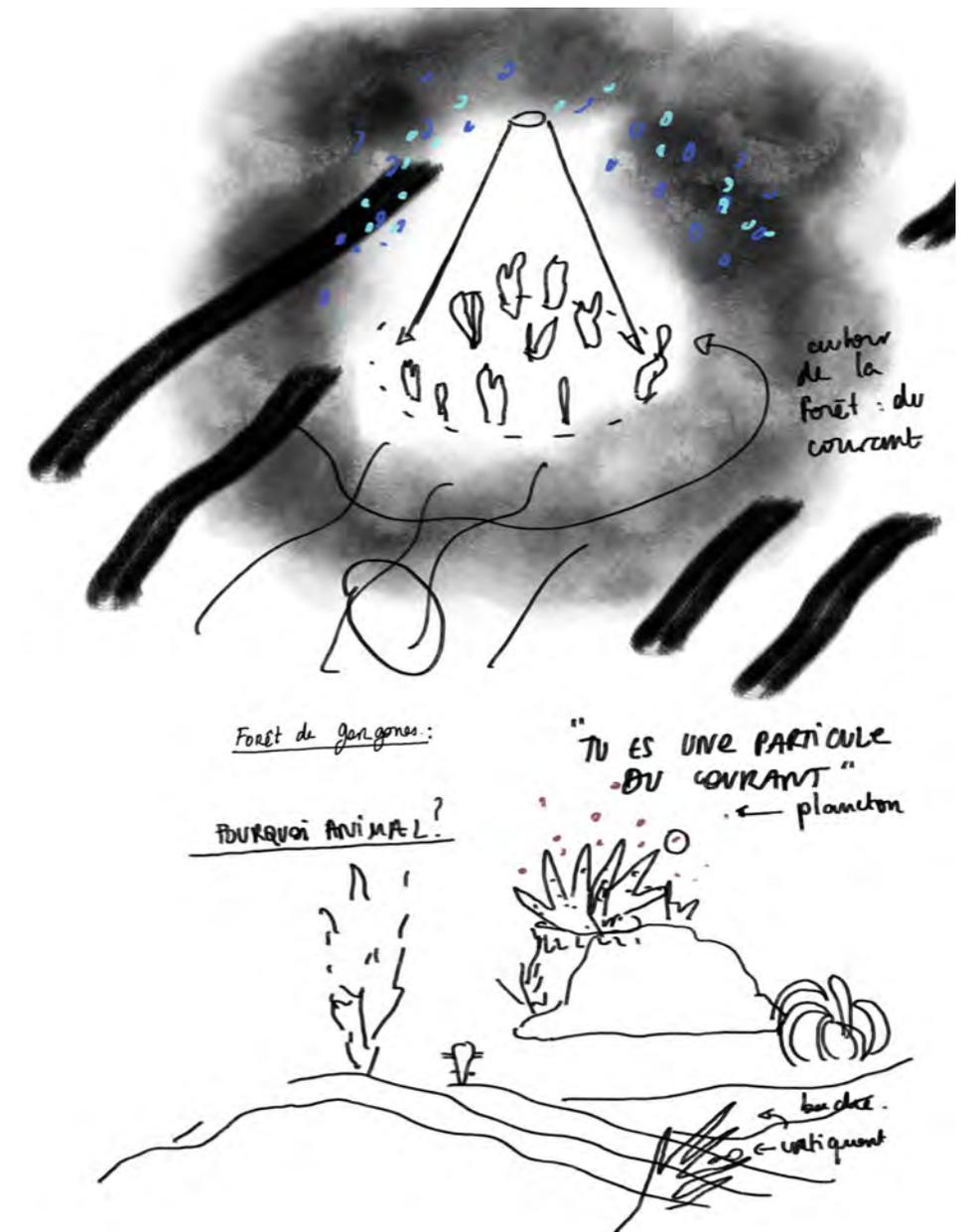


Figure 115 — : Croquis réalisé lors d'une réunion de travail préparatoire à la conception de la cinématique, on peut voir des éléments complémentaires qui apparaissent pour modéliser ces forêts particulières tels que les courants marins. Le principe de l'expérience immersive que nous avons retenu repose sur le fait de suivre ce courant et de plonger à l'intérieur d'une faille. Ainsi que l'annonce la voix de la cinématique qui accompagne l'expérience, « Nous sommes une particule transportée par le courant. Nous nous mouvons avec la neige de plancton. »

Dans la figure 115, qui est un croquis réalisé lors d'une réunion de travail préparatoire à la conception de la cinématique, on peut voir des éléments complémentaires qui apparaissent pour modéliser ces forêts particulières tels que les courants marins. Le principe de l'expérience immersive que nous avons retenu repose sur le fait de suivre ce courant et de plonger à l'intérieur d'une faille. Ainsi que l'annonce la voix de la cinématique qui accompagne l'expérience, « Nous sommes une particule transportée par le courant. Nous nous mouvons avec la neige de plancton. »

Le choix technique pour concevoir la cinématique en réalité virtuelle a été de créer plusieurs typologies de forêts animales agencées sur un « terrain ». La **figure 116** représente une vue de haut du terrain où sont placées le long de la faille trois typologies de forêts animales : gorgones, corail rouge et corail noir, pour enfin aboutir à la rencontre d'un corail solitaire⁶⁰⁴. Le fait que l'expérience se déroule dans différentes typologies de forêts permet d'explicitier la particularité des milieux qui accompagnent ces différentes espèces. Nous avons également fait ce choix car les coraux les plus connus pour le public restent les coraux tropicaux. Pourtant, gorgones et coraux noirs jouent des rôles similaires aux coraux tropicaux dans d'autres écosystèmes (failles sous-marines, zones mésophotiques, roches de surface, etc.).

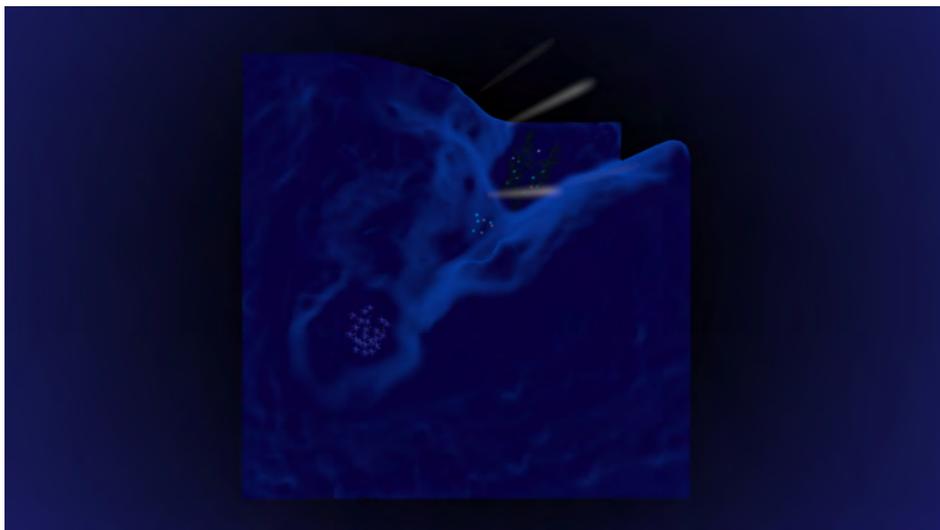


Figure 116 — : Vue de haut du modèle 3D du terrain en forme de faille sous-marine où sont positionnées les diverses forêts animales.

Le placement de la caméra à l'intérieur de cette scène nous a permis, en tant que concepteurs, d'anticiper les points de regard de la cinématique. En modulant les angles de la caméra, nous avons petit à petit amené l'expérience de cette cinématique depuis un point de vue surplombant jusqu'à une échelle où le voyageur se situe à l'intérieur de la scène. Ce mouvement de caméra virtuel décentre le point de vision surplombant pour nous amener à l'intérieur de ces forêts animales. Comme dans le *Vampyroteuthis infernalis*, un effet de miroir est permis entre le monde de la surface et le monde sous-marin. Si nous sommes une particule transportée par le courant nous mouvant avec la neige de plancton, nous restons des êtres humains, c'est donc ce nous-humain transmuté en particule-plancton qui va à la rencontre, à travers ce voyage, des forêts animales.

Bicentenaire de Lacaze-Duthiers et canyons

604 Nous avons choisi de terminer l'expérience sur la rencontre d'un corail solitaire, car cela permet de faire la transition avec l'expérience de l'archive *Corallum Fabrica* qui s'enchaîne après cette cinématique et permet donc de s'intéresser à une plus petite échelle.

Le bicentenaire de Lacaze-Duthiers s'est tenu du 1^{er} au 4 juillet 2021 mêlant séminaire scientifique, conférences, expositions et ateliers pédagogiques dans divers lieux de Banyuls-sur-Mer, ville où le naturaliste Henri de Lacaze-Duthiers (1821-1901) installa un observatoire océanographique en 1882. Préparateur pour le professeur Milne Edwards et ami de Jules Haime, le naturaliste est le premier à avoir étudié le corail dans son milieu naturel, culturel et technique. Sa vision de la zoologie est expérimentale et il tire de son enseignement auprès de Milne Edwards la nécessité de l'étude sur terrain. Dans la vision du vivant qu'il soutient, la zoologie doit s'intéresser tout autant à l'éponge, l'anémone ou l'homme. Il n'y a donc pas de hiérarchie qui placerait l'être humain au sommet d'une échelle évolutive⁶⁰⁵ du vivant.

Comme nous l'avons dit, nous avons été invités à l'occasion du bicentenaire de Lacaze-Duthiers à exposer le projet *Corallum Fabrica* et c'est donc pour cette occasion que nous avons élaboré cette expérience dédiée sur le concept de forêt animale en collaboration avec le biologiste et spécialiste du corail rouge de Méditerranée Lorenzo Bramanti.

Nous nous sommes librement inspirés de la présence des canyons dans le golfe du Lion pour l'expérience immersive comme présenté dans la **figure 117** présentant une vue axiologique du canyon de Lacaze-Duthiers⁶⁰⁶. Cet intérêt pour la géographie des canyons s'est également aiguisé lors des divers terrains menés pour le projet *Corallum Fabrica* et notamment dans les entretiens menés avec Franck Lartaud qui consacre une partie de ses sujets d'étude aux coraux profonds présents dans les canyons sous-marins. Là où l'on pourrait croire, comme dans la fable vampyroteuthique, que l'environnement est trop hostile pour accueillir de la vie, celui-ci se révèle être un espace tapissé de récifs de coraux profonds (ou dits d'eau froide). Les coraux profonds apportent un nouvel imaginaire et éclairage sur la perception que nous avons de ces animaux. Ils ne vivent plus en surface et ne nous apparaissent plus vêtus de mille couleurs⁶⁰⁷, mais habitent les profondeurs et révèlent un corps blanc laiteux. Ces coraux des profondeurs semblent s'être spécialisés dans une forme de frugalité et d'efficacité leur permettant d'exister dans des zones obscures sans développer la symbiose avec la micro algue zooxanthellae.

605 Cette réflexion fait écho à la *doxa* qui considère l'homme comme le produit abouti de l'évolution.

606 Pour l'histoire, peu après la création d'un observatoire océanographique à Banyuls-sur-Mer en 1882 par Henri de Lacaze-Duthiers, un bateau à vapeur est donné en 1893 par le prince Roland Bonaparte. Ce legs permettra au scientifique et cartographe Pruvot d'établir la première carte sous-marine et notamment celle des canyons de la région.

607 La couleur des coraux tropicaux est due à la symbiose qu'ont ces derniers avec des algues photosynthétiques appelées zooxanthelles (parfois dinoflagellés selon les dernières expertises) qui leur fournissent de l'énergie grâce à la lumière du soleil. Cette absence de couleur signale l'absence de cette symbiose et donc l'être-au-monde singulier dont font part ces coraux d'eaux froides par rapport à leurs cousins de la surface.

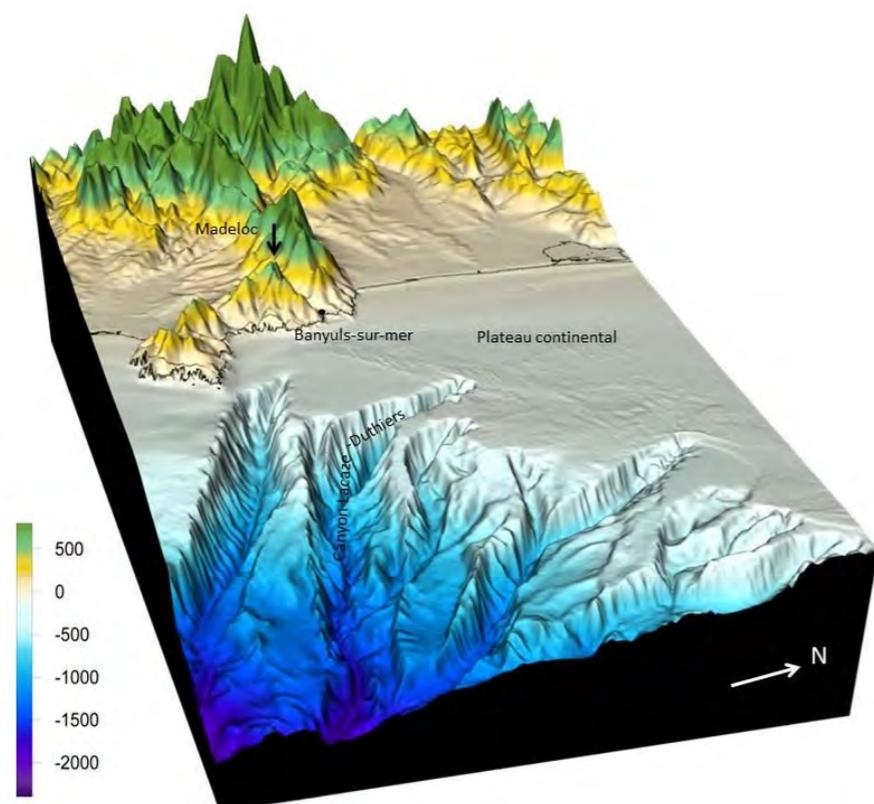


Figure 117 — : Représentation axonométrique de la baie de Banyuls-sur-Mer où est implanté le laboratoire Arago en fonction de l'altitude et de la profondeur. Crédits : LECOB, Arago.

Cahier d'images

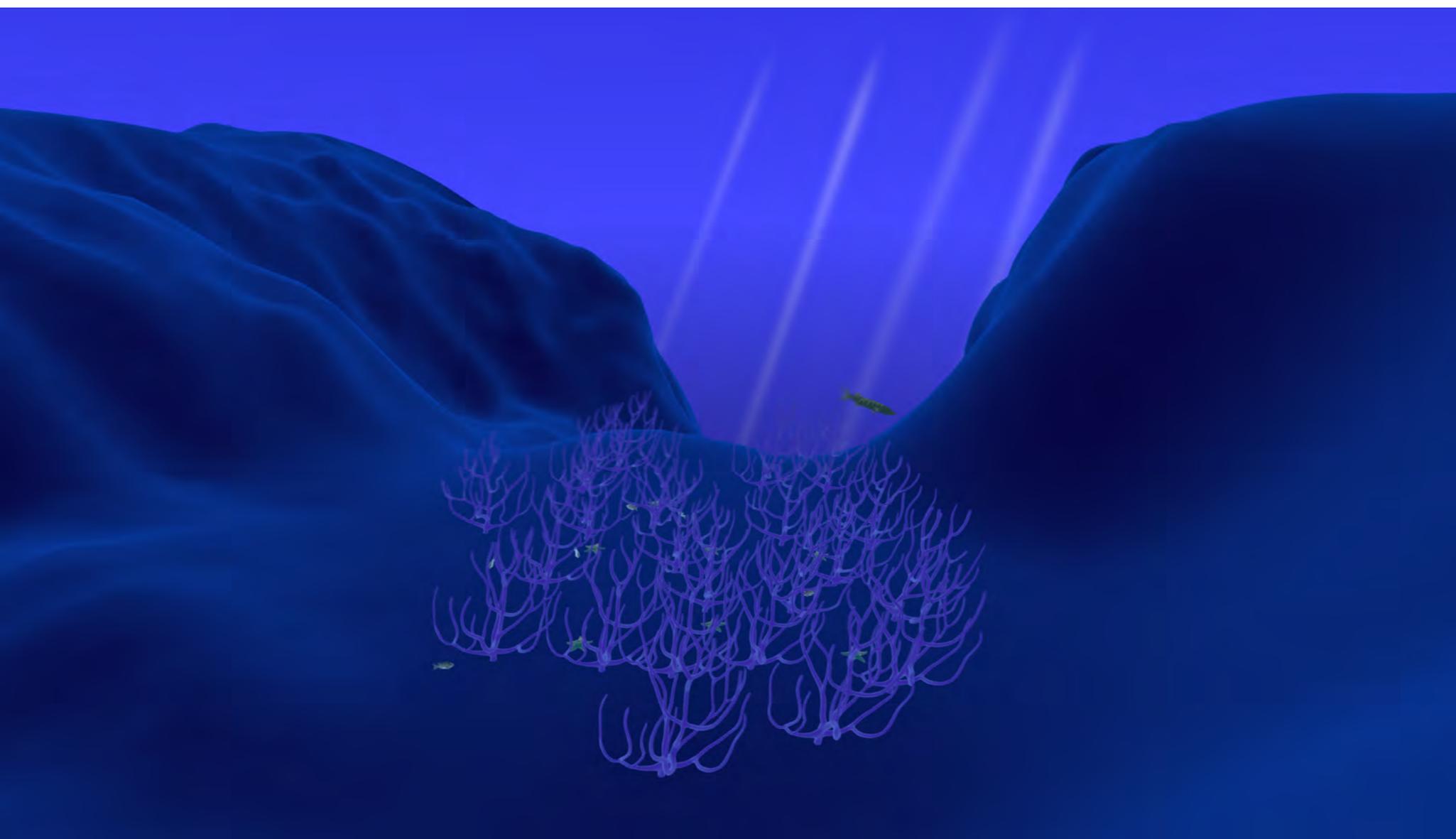
Le cahier d'images qui suit illustre la cinématique Un voyage dans les forêts animales à travers des captures écrans à l'intérieur du logiciel de conception 3D Unity et des photographies de manifestations culturelles où l'expérience de réalité virtuelle a pu être testée par des citoyens. Puis je reproduis et analyse le texte de la voix off qui accompagne le voyageur dans expérience de réalité virtuelle au sein des forêts animales.



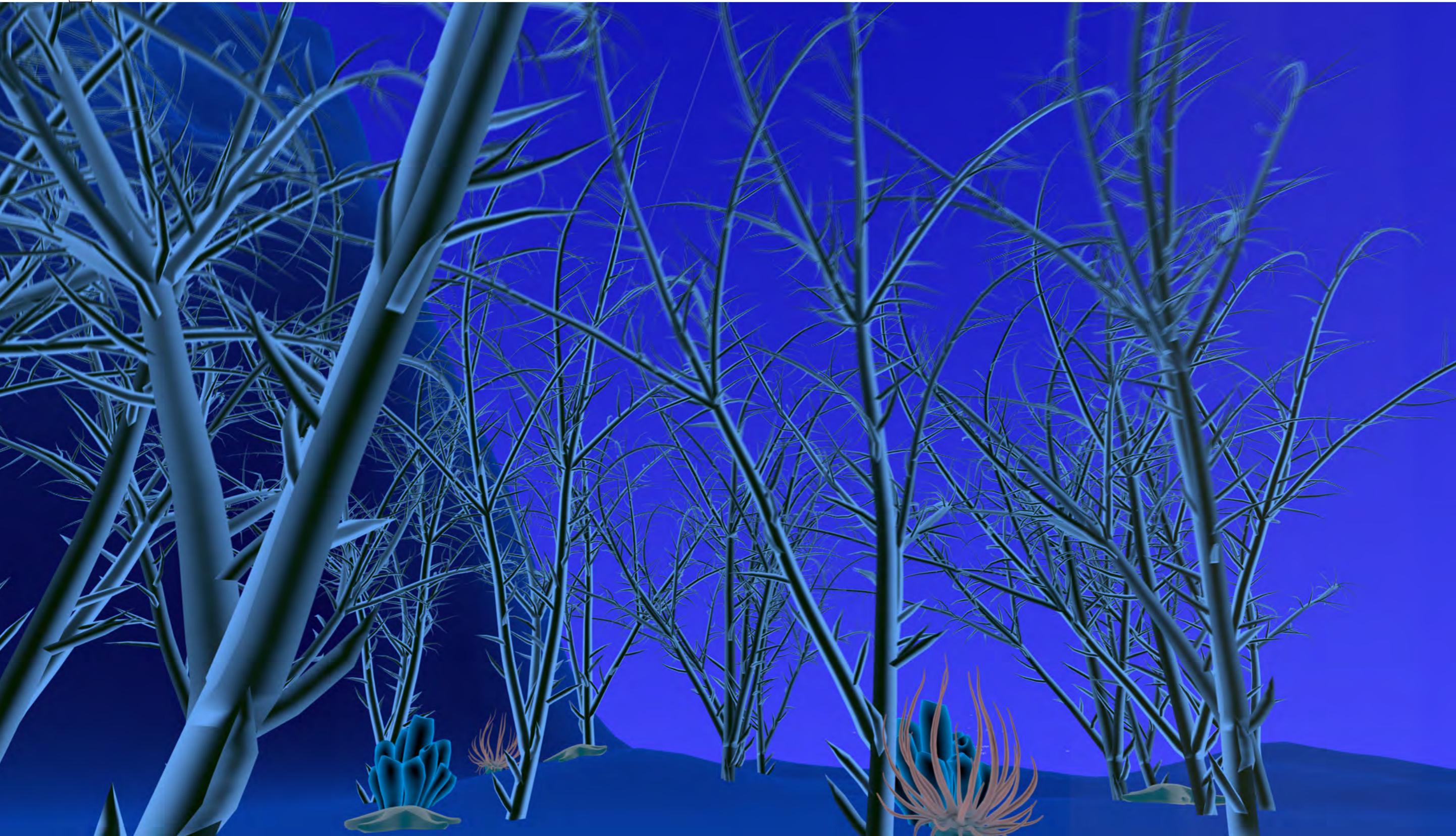
01

02





03





05



06



07



08

09



1. Vue de la faille marine depuis l'expérience VR Voyage dans les forêts animales en contre-plongée.

2. Vue de la faille marine depuis l'expérience VR Voyage dans les forêts animales (profil de la faille).

3. Vue de la faille marine depuis l'expérience VR Voyage dans les forêts animales (vue du départ au dessus des gorgones).

4. Vue à l'intérieur d'une forêt animale de coraux noirs.

5. Vue à l'intérieur d'une forêt animale de coraux noirs, rencontre avec un corail solitaire.

6. Modèle 3D de Caryophyllia cyathus avec une modélisation 3D du polype (partie vivante du corail).

7. Photographie du comédien Jean-Marc Barre faisant l'expérience Voyage dans les forêts animales durant Le Petit Festival de la côte Vermeille, organisé par Razerka Lavant en août 2021 à Cerbère.

8. Photographie de l'auteur et Lorenzo Bramanti durant Le Petit Festival de la côte Vermeille, organisé par Razerka Lavant en août 2021 à Cerbère.

9. Photographie de Lorenzo Bramanti lors du Bicentenaire de Lacaze-Duthiers au Biodiversarium de Banyuls-sur-Mer du 02/07/21 au 04/07/21.

*Texte de la cinématique de l'expérience de réalité virtuelle A journey into animal forest, co-écrit par Lorenzo Bramanti et Élise Rigot*⁶⁰⁸

Nous sommes une particule transportée par le courant. Nous nous mouvons avec la neige de plancton. Nous allons bientôt entrer dans un canyon sous-marin de la Méditerranée. Nous voyons une première forêt de coraux, ce sont des gorgones. Leur squelette est flexible, il bouge avec le courant, comme les plantes avec le vent. Les gorgones forment de véritables forêts comme les forêts terrestres, sauf que ce sont des animaux.

Ce sont des forêts animales.

Les poissons trouvent refuge dans la forêt. Ils se protègent, leurs prédateurs attendent dehors. Dans une zone plus profonde, dans un creux. Nous trouvons le corail rouge, *Corallium rubrum*. Une espèce qui ne se trouve qu'en Méditerranée. Son squelette est dur, d'une couleur rouge intense. Sa forme est celle de l'arbre, les forêts du corail rouge sont comme des forêts pétrifiées. Depuis des milliers d'années, les humains le sculptent, l'utilisent pour leur art. Comme la plupart des coraux, des centaines de polypes couvrent son corps. Les polypes ressemblent à des fleurs blanches qui se nourrissent des particules et planctons du courant. Ces polypes sont les bâtisseurs des squelettes.

Plus profond encore, nous rencontrons les coraux noirs. Nous sommes dans une forêt animale millénaire. Chacune de ces branches a des centaines d'années. La forêt fonctionne comme un filtre. À l'intérieur de la forêt, la température, le courant, le niveau d'oxygène, et la quantité de planctons sont différents. C'est un nouvel environnement qui permet la vie d'autres espèces : éponges, anémones, étoiles de mer. Ces forêts permettent une grande biodiversité. Les relations entre les différentes espèces et les conditions environnementales

⁶⁰⁸ Ce texte est incarné dans une voix off dont la création sonore est écoutable à ce lien : <https://corallumfabrica.laas.fr/agora/2>. RIGOT, Élise. A Journey Into Animal Forest. *Corallum Fabrica* [en ligne]. 2021 [consulté le 14 avril 2022].

sont à l'origine de ces systèmes complexes.

Encore plus profond, nous trouvons un corail solitaire formé par un seul polype. Il est constitué d'une bouche entourée de tentacules. Ces tentacules sont couverts de cellules urticantes qui leur servent à saisir les planctons et les particules transportés par le courant. Comme pour les autres coraux, le polype construit son propre squelette. Les polypes sont les bâtisseurs des forêts animales, ils sont à la fois les habitants et les constructeurs des forêts.

Traduire les savoirs en expériences sensibles, « le polype qu'un instant je suis devenue⁶⁰⁹ »

Qu'avons-nous vécu au terme de ce voyage dans les forêts animales ? Qu'est-ce que l'appareil de vision aura fait percevoir ? Aura-t-on « senti », à l'aide de nos yeux équipés d'un casque de réalité virtuelle, ce que signifie le concept scientifique de forêt animale ? Et qu'est-ce que cela change de le « sentir » plutôt que d'en avoir l'explication ?

Au terme de ce voyage dans les forêts animales, nous aurons survolé les gorgones et leurs corps mous, nous aurons fait face aux polypes du corail rouge de Méditerranée, nous aurons été abrités dans une forêt de coraux noirs. Nous aurons vu la neige de plancton voler autour de nous. Le courant aura traversé l'endroit où se trouve habituellement notre corps. Les planctons auront tourné autour de nous. Nous ferons face, nous envisagerons, c'est-à-dire que nous donnerons un visage à un corail solitaire. Celui-ci fera bouger ses tentacules à l'approche du plancton. L'espace de la faille sous-marine nous aura été donné à vivre à travers un enchaînement de forêts animales, dominées par des espèces différentes.

Ainsi, plutôt que d'expliquer ce que sont les forêts animales, nous les aurons rencontrées. Cette phrase mérite que l'on s'y arrête un instant. Cette manière d'habiter le monde par l'explication, l'instrumentalisation, l'extraction, est une manière de faire la science qui tend à objectiver le monde et à en faire la somme d'un ensemble de causes et de modèles explicables. Il y a bien sûr un ensemble de vertus à comprendre le monde qui nous entoure de cette façon. Mais pour autant, le pendant de cette relation au monde est de nous faire croire que nous sommes « comme maîtres et possesseurs de la nature » (Descartes). Comment renouer alors avec les qualités scientifiques de curiosité et d'émerveillement ? Comment « habiter en curieux » peut nous donner envie de *nous conduire* non pas sur le mode causal, extractiviste ou encore fonctionnaliste, mais sur un mode d'existence *relationnel* ? Ainsi, l'environnement ne serait plus un espace duquel tirer un parti, mais un milieu dans lequel interagir.

Par l'expérience, nous sommes devenus sensibles à ce que ces forêts animales matérialisent symboliquement et scientifiquement. En effet, durant la séance d'écriture de la cinématique, j'ai travaillé avec le biologiste marin Lorenzo Bramanti, spécialiste du corail rouge de Méditerranée, à un décalage entre le registre explicatif, souvent utilisé en médiation scientifique, et le registre poétique, sur lequel j'ai souhaité que l'expérience se situe. Ainsi, le registre d'écriture poétique permet d'ancrer l'expérience de réalité virtuelle depuis le point de vue subjectif du spectateur⁶¹⁰, il n'y a pas de distance entre la scène vécue et le spectateur qui en est partie prenante. La première phrase, « Nous sommes une particule transportée par le courant », annonce d'entrée la volonté d'inclure le spectateur dans la scène. Cette expérience, en ce sens, peut être qualifiée d'expérience phénoménologique, où l'on procède à une mise entre parenthèses de nos habitudes. Parce que la réalité virtuelle enlève un certain nombre de repères habituels, elle permet une expérience sensible dans un environnement totalement inhabituel. L'intégration du sujet de l'expérience sensible dans la scène à la fois par le dispositif de réalité virtuelle et par

609 Nous reprenons ce titre depuis le chapitre intitulé « La fougère d'un instant je suis devenue » de l'ouvrage d'Estelle ZHONG MENGUAL, *Apprendre à voir*.

610 Nous utilisons ici ce terme, plutôt dédié au domaine artistique qu'à celui du design, car il nous semble que la personne faisant l'expérience d'*Un voyage dans les forêts animales* n'est pas un utilisateur ou un usager, mais plutôt un spectateur dans le sens de témoin oculaire (et sensitif) d'une action.

la technique d'écriture de la voix *off* a donc au moins deux intérêts : phénoménologique et didactique. Ce second intérêt tient en ce que le savoir, en l'occurrence, le concept de *forêt animale* récemment usité par les chercheurs en biologie marine pour comprendre le mode de fonctionnement de ces écosystèmes complexes, n'apparaît pas comme distant ou objectif. Il se vit au travers d'une expérience sensible, rendant possible par les sens et non pas seulement par l'intellect de « sentir » cette manière de regarder les coraux comme des forêts animales. Pour autant, les connaissances convoquées par ailleurs, telles que « Les polypes ressemblent à des fleurs blanches qui se nourrissent des particules et planctons du courant » informent la scène, et permettent de porter une attention au vivant pour ce qu'il est, et non pas pour ce qu'il peut représenter. Ainsi les connaissances, si elles viennent éclairer la vision, ne l'objectivent pas pour autant.

Nous souhaitons éclairer notre proposition d'une forme de sensibilité dans les connaissances contenues dans *Un voyage dans les forêts animales* par un détour par une histoire environnementale de l'art d'une part, puis par la nature des connaissances produites par les designers dans les processus de recherche-crédation d'autre part.

Dans un ouvrage précité, *Apprendre à voir, le point de vue du vivant*, l'historienne de l'art Estelle Zhong Mengual, insiste sur un biais d'interprétation de la peinture de paysage dont la tradition en histoire de l'art en fait un décor ou bien un support de symboles pour les histoires humaines. En prenant appui sur une école de paysage américaine particulière et notamment les peintures de paysages de la Hudson River School, elle arrive à montrer comment certains peintres ont pu s'emparer de scènes des vivants pour prendre à leur compte la peinture d'histoire. Cette peinture d'histoire ne serait plus cantonnée à l'histoire des humains, mais à une Histoire des espèces elles-mêmes. Ainsi, Estelle Zhong Mengual analyse une toile peinte à l'huile (36×56 cm) de Martin Johnson Heade, *l'Orchidées et oiseau-mouche* (1875-1883) comme l'incarnation picturale de la théorie de la co-évolution. À travers une démonstration très fine, Estelle Zong Mengual, nous apprend par exemple à voir le tableau *Orchidées et oiseau-mouche* (figure 118) de Martin Johnson Heade comme la tentative impossible de nous donner à voir l'évolution. Mengual explicite en quoi le tableau nous donne à sentir la théorie de l'évolution :

« Cette indécidabilité de la scène et de sa temporalité, cette cohabitation dans le tableau entre la relation de pollinisation présente entre ce colibri et cette orchidée et la relation de coévolution passée, qui n'est que la relation de pollinisation présente infiniment rejouée entre les deux espèces, nous permet de faire l'expérience incarnée du phénomène de l'évolution et de sa nature profondément paradoxale⁶¹¹. Grâce à la peinture, notre œil comprend ce que notre esprit bien souvent ne parvient pas à saisir⁶¹². »

611 L'évolution est en effet paradoxale en ce qu'elle est liée à une forme de permanence et de changement.

612 Estelle ZHONG MENGUAL, *Apprendre à voir*, p. 205.



Figure 118 — : Martin Johnson Heade, *l'Orchidées et oiseau-mouche* (1875-1883) cité dans Estelle ZHONG MENGUAL, *Apprendre à voir*.

En effet, la connaissance de la théorie de l'évolution de Darwin par exemple ou de certaines modes de fécondation passe à l'intérieur de la scène de peinture et permette de montrer ces toiles non plus comme les supports de sentiments humains, mais comme ce qui peut nous apprendre à nous relier différemment aux vivants avec qui nous vivons. L'historienne rapproche voir et savoir comme des ingrédients essentiels à une « histoire environnementale de l'art ». Cette histoire environnementale permet une lecture éclairée d'œuvres qui représentent des scènes environnementales pour elles-mêmes et non plus pour prendre un relai significatif symbolique ou historique. Dans ce cadre-là, nous voyons bien qu'une théorie scientifique n'apporte pas seulement un éclairage scientifique, mais aussi porte en elle une manière de voir et de comprendre notre environnement qui peut conduire à bouleverser totalement les codes de la représentation artistique.

Le savoir sensible contenu dans *Un voyage dans les forêts animales* permet de se saisir d'une manière de voir le vivant, dans son contexte et depuis son mode d'être au monde qui lui est propre, avec la limite, immense, que si par exemple on parle de l'être-au-monde des coraux, celui-ci ne se définit pas par une expérience oculaire⁶¹³, mais serait sans doute une expérience tactile et collective. Les coraux n'ont en effet pas d'yeux pour se saisir de l'environnement qui les entoure, mais des tentacules autour d'une bouche (qui est également leur anus). Ils vivent, pour la plupart des espèces, en colonies, c'est-à-dire par centaines ou milliers d'individus sur un même récif constitué de leurs exosquelettes respectifs. En

613 En effet, une vision post-anthropocentrique suppose une perception qui ne soit pas seulement oculaire : comment les forêts animales sentent-elles leur environnement ? Il s'agit plutôt de flux de courant, d'une luminosité plus ou moins importante, d'une pression écrasante, etc. De ce point de vue là, de multiples expérimentations et recherches restent à mener pour interroger le point de vue des vivants, et d'animaux marins, par des pratiques artistiques utilisant des outils de vision immersive tels que la réalité virtuelle.

cela donc, notre expérience est bien plus une expérience liée à l'échelle de perception, puisqu'au fur et à mesure de l'expérience, le point de vue permis par l'expérience se rapproche de celui du polype. Nous ne sommes pas polypes, nous sommes plutôt des *invités* dans la scène.

« Apprendre à voir » selon Mengual est un « projet culturel collectif », une tentative renouvelée à plusieurs de nous mettre en capacité de voir ce qui est là et que pourtant nous ne percevons pas. Vilém Flusser, dans *Essais sur la nature et la culture*, écrit à ce propos un passage éclairant sur la Lune.

Quand je regarde la Lune par une nuit dégagée, je ne vois pas un satellite de la NASA même si je sais que ce que je vois est un satellite appartenant à la NASA. Je continue à voir un satellite naturel de la terre; ma vision du monde n'intègre pas ma connaissance. Cette absence d'intégration de la connaissance à la vision est caractéristique de situations déterminées que nous appelons « crises ». Il est probable que les Grecs de l'antiquité savaient que la Lune est une sphère, mais ils continuaient à voir en elle une déesse. Il est probable que les Mélanésiens savent que la lune est un satellite de la NASA, mais ils continuent de voir en elle un symbole de la fertilité. Dans une situation de crise, la vision du monde ne parvient pas à intégrer la connaissance.⁶¹⁴

Dans l'expérience de réalité virtuelle *Un voyage dans les forêts animales*, la biologie oriente, informe et conduit l'expérience. Cette dernière naît de ma rencontre avec Lorenzo Bramanti, biologiste spécialisé du corail rouge de Méditerranée, directeur de l'ouvrage *Perspectives on the Marine Animal Forests of the World*⁶¹⁵ et de ma propre volonté de réactualiser une forme de savoir et connaissance zoologique à l'endroit du corail à l'occasion du bicentenaire de Lacaze-Duthiers durant lequel l'expérience a été exposée. La réactualisation du savoir à l'endroit des coraux permet un nouveau regard. Expérimenter des formats de perception de ces derniers rend possible une *traduction* de ces savoirs en expériences sensibles. Cette traduction n'est pas tout à fait fidèle ni égale à l'originale. En effet, la traduction suppose un décalage quant à l'original. Elle est toujours un déplacement. Si la notion de forêt animale première a une finalité de recherche scientifique, l'expérience de réalité virtuelle, quant à elle, permet d'installer un face à face inédit entre les coraux et les humains. Ces coraux volontairement distancés dans leur mode de représentation, dont le style n'est pas réaliste, nous embarquent de fait dans une métaphore visuelle plus qu'une représentation réaliste.

La dernière scène de rencontre proposée dans l'expérience *Un voyage dans les forêts animales* propose une interaction avec le corail solitaire de l'espèce *Caryophyllia cyathus*⁶¹⁶. Le spectateur est invité à se saisir d'un plancton pour en faire l'offrande au corail solitaire, proposant par là une interaction de son corps, puisque des mains (de formes humaines) apparaissent pour saisir un micro-organisme nageant autour du corail. Le traitement

614 FLUSSER, Vilém. 2005. *Essais sur la nature et la culture*. Belval, Circé. Lune p. 62.

615 Sergio ROSSI et Lorenzo BRAMANTI. *Perspectives on the Marine Animal Forests of the World*.

616 Ce corail solitaire, récolté en 1863, fait partie des collections originales de Henri de Lacaze-Duthiers et est désormais conservé dans la zoothèque du Muséum d'Histoire Naturelle de la ville de Paris.

graphique de ce dernier est différent du reste de l'expérience. Le modèle 3D est issu de la bibliothèque 3D du projet *Corallum Fabrica*. Pour la dernière scène, la proposition est donc un peu différente, car elle mêle « objet naturel » numérisé et modélisation 3D d'un polype et de son mouvement. En effet, le corail solitaire est un mélange avec un modèle obtenu en tomographie à rayons X et une modélisation 3D de tentacules représentant les tentacules du polype. C'est un hybride entre une représentation artistique et une donnée scientifique.

La notion de savoir sensible est convoquée dans un « manifeste ⁶¹⁷ » publié par la HEAD — Genève en 2021. Dans ce texte, Nicolas Nova, à la suite de Lysianne Lécho-Hirt et Christoph Zellweger,⁶¹⁸ propose une hypothèse très porteuse, consistant à voir en quoi les designers engagés dans des processus de recherche-création participent d'une épistémologie particulière tenant dans le format des connaissances produites par le processus dans lequel ils s'engagent⁶¹⁹.

Dans notre cas, la traduction de savoirs en des expériences sensibles permet de se saisir de ce concept de forêts animales tout en séparant des milieux de vie très différents d'une espèce à une autre. Il s'agit d'une traduction en ce que l'objet de l'expérience est la transposition du concept de forêt animale, à une expérience de réalité virtuelle⁶²⁰. Cette production artistique est dans ce cas très directement issus des travaux de Lorenzo Bramanti et constitue en ce sens une forme de transmission d'informations pour le regardeur-spectateur. Dans ce cas très spécifique, nous nous rapprochons de la médiation scientifique, en ce qu'il ne s'agit pas d'une expérience dans une science en train de se faire, mais d'une science déjà faite qu'il s'agit de matérialiser et de transmettre lors d'un événement scientifique. Ici le travail de collaboration entre le design d'une part et la biologie d'autre part permet une opération de traduction. Cette collaboration colore l'expérience, car il ne s'agit pas seulement d'un travail artistique. La collaboration exige la prise en compte de différentes zones d'importance : durée de l'expérience pour un événement public (court), apprentissage rapide des interactions avec le dispositif de réalité virtuelle, discours accessible, respect des échelles, nature scientifique du discours, etc.

La réalité virtuelle est en ce sens un médium particulièrement intéressant, car elle permet des expériences où l'on peut s'extraire des conditions matérielles du monde habituel, pour un temps, pour forcer d'autres manières de percevoir ou d'envisager un habitat. En ce sens, elle est particulièrement pertinente pour questionner notre relation au non-humain. Le film *Camille & Ulysse* (2021) de Diana Toucedo fait intervenir Vinciane Despret et Donna Haraway. Il s'appuie sur le travail de fiction des deux autrices. Pour Haraway *L'histoire des Camilles*, publié à la fin de *Vivre avec le Trouble*⁶²¹ et pour

617 Nicolas NOVA, *Enquête/Création en design*, p. 53.

618 Lysianne LÉCHOT-HIRT, *Recherche-Création en Design*

619 Dans le texte de Nicola Nova, la perspective est celle du format de l'enquête.

620 Avec bien entendu des contraintes très spécifiques de budget, de temps et techniques. D'un point de vue technique par exemple, il n'est pas possible d'afficher un grand nombre de faces dans une même scène visible. Ainsi, il faut prendre en compte dans les mouvements de caméra générés artificiellement le volume des modèles 3D qui seront affichés pour construire l'expérience immersive.

621 Donna HARAWAY, *Vivre avec le Trouble*.

Despret *Autobiographie d'un poulpe*⁶²². Le film a été commissionné par Maria Ptqk pour l'exposition *Science Friction, life among companion species* présentée à Barcelone au CCCB. Le film mélange des scènes filmées dans des lieux existants et des scènes créées dans des mondes virtuels. La modélisation 3D intégrée dans des espaces urbains connus permet de matérialiser la somme des relations symbiotiques et métaphoriques qu'entretiennent les personnages des deux fictions, Camille et Ulysse, avec leur environnement et leur espèce compagne, l'un un poulpe, l'autre un papillon monarque. Ainsi, dans la **figure 119**, on peut voir l'usage de la porte-fenêtre en une ouverture sur un monde virtuel, sous-marin représentant le milieu de vie de l'espèce compagne d'Ulysse.



Figure 119 — : Photogramme de *Camille & Ulysse* (2021) réalisé par Diana Toucedo où l'on peut voir Vinciane Despret.

On voit ici comment l'usage de la 3D permet d'incarner des mondes auxquels nous sommes reliés, et permet une forme de mise à distance, nous faisant entrer de fait dans un registre fictionnel. Le film *Camille & Ulysse* repose sur des savoirs biologiques de co-évolution et de symbioses, que Donna Haraway a réussi à traduire à la fois en termes philosophiques, comme une autre forme de relation aux vivants⁶²³, et à la fois en termes symboliques avec la fiction des Camilles, qui propose d'autres manières de faire parentèle (à l'image de sa proposition « *Faites des parents pas des enfants !* »), qui suppose des formes de relations familiales interespèces et non plus seulement de transmission génétique. En effet, dans cette fiction, les enfants choisissent une espèce compagne à laquelle ils seront liés plus particulièrement tout le long de leur vie, et avec laquelle ils entretiendront une forme de relation spécifique. Ces savoirs biologiques ainsi transmutés en langage fictionnel, symbolique, métaphorique et philosophique, propre à la manière de travailler

622 DESPRET Vinciane. 2021. *Autobiographie d'un poulpe : et autres récits d'anticipation*. Arles : Éditions Actes Sud.

623 Nous avons discuté de ce point au chapitre 3 de la thèse.

avec les non-humains de Donna Haraway, permettent de convoquer d'autres façons de nous conduire avec les vivants. Ce que fait Donna Haraway et qui me semble particulièrement important, c'est la réévaluation de notre mode de relation aux non-humains par les sciences elles-mêmes. Ce que reproche Haraway au fond à une grande partie du savoir scientifique, c'est d'être construit sur des catégories binaires et de reposer sur un imaginaire guerrier et de conquête. En ce sens, l'approche d'Haraway est particulièrement intéressante : il ne s'agit pas de rejeter en bloc la science et ses pratiques ou la technologie et ses instruments, il s'agit plutôt d'en donner une autre lecture et une autre interprétation. La théorie de l'évolution, si elle ne tient que sur Darwin, peut facilement se transformer en une théorie purement compétitive. Pourtant, la théorie de l'évolution (de Darwin), en comptant avec elle la théorie de l'endosymbiose de Margulis devient plus complexe, elle inclut en elle une forme de coopération. Ainsi, les discours sur la science et la manière dont on a de les discuter dépendent en grande partie de la manière dont on se projette dans le monde.

Conclusion Chapitre 4

L'animal de la fable du philosophe des médias Vilém Flusser devient un mode opératoire pour une recherche-création en design interrogeant des milieux aliens tels que la biologie marine et les nouvelles technologies. Grâce au cadre théorique de Vilém Flusser, ce chapitre propose des stratégies de design non binaires, circulaires, prenant en compte l'évolution temporelle et l'être-au-monde des choses et êtres que nous étudions. L'appareil critique esquissé ici, grâce à l'étude du *Vampyroteuthis infernalis*, propose un point de vue a-anthropocentrique, où le point de vue et les êtres-au-monde aussi variés que ceux du vampyroteuthis, des cellules, d'un objet technique ou des coraux peuvent être pris en compte depuis leur mode d'existence particulier.

Ce chapitre nous a permis d'esquisser un autre rapport au design, que nous avons nommé *design vampyroteuthique* en titre de ce chapitre. Un *design vampyroteuthique* nous donne le droit d'affirmer une forme de permanence du design avant, pendant et après l'époque industrielle. Pour qu'il continue d'exister, c'est bien plus notre relation fondamentale à la création et à la technique qu'il nous faut questionner. Le « décolllement de l'industrie ⁶²⁴ » nous semble constituer une voie riche pour le design, dans son rapport à la création humaine, dans un contexte où cette dernière a bien trop à voir avec la destruction. Le *design vampyroteuthique* peut dessiner l'une des voies possibles du design aujourd'hui, à la manière où Anthony Dunne et Fiona Raby proposent dans leur ouvrage *Speculative everything*⁶²⁵ de spéculer à propos de tout pour rendre la réalité plus malléable et plurielle. Ainsi, le couple de designers Dunne & Raby propose une liste de termes pour qualifier le design, tel qu'habituellement pratiqué (a), tel que pratiqué dans le design spéculatif (b). Nous revisitons leur principe pour explorer une tierce voie (c) dans la **figure 120**. Les deux auteurs explicitent bien par ailleurs qu'il faut imaginer autant de design que cela est possible et nécessaire.

624 Nous reprenons cette expression à l'historienne du design Catherine Geel.

625 Anthony DUNNE et Fiona RABY. *Speculative Everything: Design, Fiction, and Social Dreaming*.

A	B	C. Vampyroteuthian design	C. Design vampyroteuthique
Affirmative	Critical	Reflexive	Reflexif
Problem solving	Problem finding	Create relations	Créateur de relations
Provides answers	Asks questions	Provide Hypothesis	Propose des hypothèses
Design for production	Design for debate	Design for epistemology	Design pour l'épistémologie
Design as solution	Design as medium	Design as a pluri media	Design comme pluri média
In the service of industry	In the service of society	In the service of living entities	Au services des vivants
Fictional functions	Functional fictions	Philosophical fiction	Fiction philosophique
For how the world is	For how the world could be	For how the world might be	Le monde comme il est peut être
Change the world to suit us	Change us to suit the world	Change our relation to the world	Change notre relation au monde
Science fiction	Social fiction	Animal fiction	Fictions animales
Futures	Parallel worlds	Other presents	Présents alternatifs
The "real" real	The "unreal" real	circular reality	Réalité circulaire
Narratives of production	Narratives of consumption	Narratives of science	sciences paranaturalistes
Applications	Implications	Unfinished objects	Objets non finis
Fun	Humor	Poetry	Poésie
Innovation	Provocation	Dreaming	Rêve
Concept design	Conceptual design	experiential design	design d'expériences
Consumer	Citizen	Curious humans	Humains curieux
Makes us buy	Makes us think	Make us aware	Nous rend conscient
Ergonomics	Rhetoric	Sensitive	Sensible
User-friendliness	Ethics	Moral	Moeurs
Process	Authorship	Networks	Réseaux

Figure 120 — : a/b design (en vert) par Dunne & Raby (2015), figure revisitée pour exprimer un design vampyroteuthique (en violet).

Ce chapitre nous a permis de clarifier la méthodologie de recherche-création à travers la création d'un média dialogique traitant de l'ouvrage de fiction philosophique coécrit par Vilém Flusser et Louis BecLouis Bec, le *Vampyroteuthis infernalis*. Cet apport méthodologique peut être étendu plus largement aux champs de la recherche en design. En effet, la recherche en design étant une jeune discipline (indiscipline ?), ses méthodologies restent à établir et à explorer. Étant une discipline généraliste et une pratique intrinsèquement interdisciplinaire, son apport particulier à la connaissance en tant qu'épistémologie de la forme doit être affirmé et peut servir à orienter ses futures relations avec d'autres disciplines. Il ne s'agit pas de dire que le design doit nécessairement se situer autour de la forme des connaissances d'autres disciplines, ce qui reviendrait à l'instrumentaliser, ni de dire que ses méthodologies peuvent être appliquées à d'autres champs disciplinaires, ce qui reviendrait à faire du « *design thinking* de la recherche », mais plutôt de dire, qu'en tant que discipline matérialiste et spéculative, le design peut réfléchir à la matérialité des sciences. Bien sûr, le design ne le fera pas de la même manière que la philosophie des sciences, l'histoire des sciences, l'ethnographie des sciences ou la sociologie des sciences, son rapport au monde n'étant pas descriptif, mais prescriptif. En effet, le design s'occupe du possible plus que du probable et en ce sens il est intéressé au changement de situations existantes en des situations préférées (Simon, 1969) ; la réalité est pour le design un état des possibles (Dunne). L'objet du design n'est pas l'interprétation, mais la transformation (Ingold, 2014). Nous pensons ainsi que cette transformation peut advenir de multiples manières :

- Permettre une encapacitation des acteurs de la recherche.
- Favoriser des connaissances transformatrices.
- Transformer les pratiques de la recherche en réfléchissant non pas à la méthode scientifique, mais plutôt aux formes et la manière dont le monde matériel peut en modifier les contours.

Le design peut s'occuper des objets transitoires de la recherche en occupant sa position prospective et matérialiste, dans un processus de recherche-création impliquant des formes de circulation de ces objets transitoires. Cette mise en circulation implique une déformation des objets transitoires dans leur espace. Si l'on accepte que ces objets transitoires ne soient pas au sens strict des objets, mais dans la terminologie de Vilém Flusser des objets semi-finis et des ordures, nous pouvons proposer d'y voir par exemple des média dialogiques. Les résultats de la recherche-création seraient ainsi des expériences de média dialogiques qui permettraient d'avoir un autre rapport à la connaissance.

Comme nous l'évoquions, l'apport de la recherche-création est également épistémologique, dans le sens où il clarifie les formes de connaissances produites. Ces dernières ont justement la particularité de bousculer les formats des connaissances et donc la réception qui en sera faite. Dans notre cas, le podcast implique une écoute intime et une réception du travail de recherche comme expérience sonore⁶²⁶. Nous pouvons considérer ici trois récepteurs de ces connaissances :

- Le premier est la communauté des chercheurs en design (les pairs) pour qui cette thèse peut révéler un apport méthodologique.
- Le second est la communauté de la recherche comprenant des disciplines plus ou moins proches des sciences humaines et sociales et des sciences naturelles, physiques ou techniques. Pour ce second récepteur, l'apport est différent, il permet de créer une médiation entre différents domaines et prend la forme d'une traduction. La traduction n'est jamais tout à fait la réplique du même. En effet, il y a un passage depuis une situation d'intentionnalité à une situation de réalisation (technique, économique, humaine, etc.) qui suppose une traduction depuis les intentions (immatérielles) vers la réalisation (matérielle). Cette traduction est une forme de trahison, dans le sens où les intentions de départ sont toujours déplacées dans le mode opératoire qui en fera des réalisations. La connaissance ainsi médiée dont le format est volontairement non académique ou ne répond pas aux codes habituels des travaux universitaires peut être appropriée par ces autres disciplines sur des sujets qui sont interdisciplinaires.
- Le troisième récepteur des médias dialogiques de la recherche-création, ce sont les citoyens, pour qui les connaissances peuvent être à l'origine d'une expérience sensorielle. La connaissance ainsi incarnée dans des propositions du monde matériel, au travers d'expériences sonores, visuelles, tactiles, etc., peut ainsi être saisie par le corps, notre appareil sensori-moteur, et non plus seulement par des concepts ou des savoirs particuliers. Le corps devient le récepteur du média dialogique, lui-même traduction expérientielle de la recherche-création.

626 Si nous considérons les autres media dialogiques de cette thèse ou autrement appelés recherches-créations (et parfois projets), nous pouvons considérer l'archive en ligne dans son expérience interactive et numérique dont la réception des formes de savoir passe par une expérience immersive.



**CONCLUSION :
HÉRITIERS
DES SCIENCES
DES RUINES**

«Mais il se pourrait, créatures terrestres qui avons commencé d'agir en habitants de l'univers, que nous ne soyons plus jamais capables de comprendre, c'est-à-dire de penser et d'exprimer, les choses que nous sommes cependant capables de faire⁶²⁷.» Hannah Arendt

627 Hannah ARENDT, *Condition de l'homme moderne*, p. 36.

Nous avons expérimenté durant cette thèse des recherches-créations⁶²⁸ en design s'insérant dans la culture matérielle des sciences de l'ingénierie du vivant, du design et des sciences naturelles. Ces recherches-créations ont pris des formes diverses : un médium dialogique au design contributif et numérique sur les termes de la bio-impression 3D, une archive des architectures coralliennes *open science* prolongée d'un travail plastique et de réalité virtuelle, un podcast autour d'un animal des abysses, le *Vampyroteuthis infernalis* étudié par un philosophe des médias et un artiste para naturaliste. Ces recherches s'inscrivent dans la culture matérielle et visuelle des sciences. Nous nous sommes demandé à travers ces études comment le design participe d'une culture matérielle de la recherche scientifique — dans le cas particulier des sciences de « l'ingénierie du vivant » telles que pratiquées au sein de l'équipe ELiA du LAAS-CNRS. D'autres terrains sont également présents dans ce manuscrit tels que les collaborations avec l'IFTM, le MNHN, le LECOB, le CRILOBE ou les archives de Vilém Flusser. Cette étude a, dans ce sens, tenté de créer des liens entre des Instituts à partir de la pratique de la recherche-création en design.

Nous verrons plusieurs apports à l'intégration d'une démarche de recherche en design dans un tel contexte. Ces apports sont de différentes natures : méthodologiques, épistémologiques et transdisciplinaires. Nous discutons ensuite certains points de la thèse et envisageons des perspectives.

1. Apports de la thèse

Apport méthodologique : recherche-création en design

La thèse a démontré un intérêt de la méthodologie de recherche-création en design en tant que processus heuristique, itératif, documenté et évalué par les pairs. La méthodologie mise en place peut trouver, selon moi, une place concrète dans les appels à projets interdisciplinaires des pratiques scientifiques. Cela aurait pour effet corollaire de placer les scientifiques en posture réflexive vis-à-vis de leur culture matérielle, et pourrait contribuer à une pluralisation des modes de faire savoir. La recherche-création en design considérée comme une méthodologie de recherche en propre peut participer au partage d'un concernent commun (de valeurs communes), à même de consolider des communautés de recherche.

Dans notre cas, les recherches-créations ont fait émerger des media dialogiques contributifs de science ouverte qui prennent place au sein des pratiques de « l'ingénierie du vivant ». Cette recherche a permis de montrer l'intérêt d'une meilleure prise en compte de la culture matérielle des sciences et de leur mise en visibilité. La dimension médiatique de ces formats (espace de publication numérique, archive 3D, podcast) implique de nouveaux espaces de circulation des savoirs qui est l'un des ingrédients de mise en parole et en discussion des sciences dont nous avons montré l'intérêt au sein de ce manuscrit.

Avec De Mourat⁶²⁹, nous voyons les formats comme agents techniques. Cette dimension agentielle, et donc active, des formats de la recherche scientifique a été décrite dans cette thèse en analysant les effets produits par les recherches-créations. L'hypothèse du format dialogique comme participant d'une création de communs et de mise en débat des zones de concernement des différents acteurs de la science me semble opérante, bien que le contexte réduit et le nombre restreints de recherches-créations exposées dans cette thèse ne suffisent pas pour l'affirmer d'une manière plus générale. Afin de consolider cette approche, il faudra mener des études comparatives et plurielles, si possible sur le long terme.

La thèse peut appuyer la généralisation de la méthodologie de recherche-création en design à partir d'enjeux sociaux et environnementaux avec des passerelles à créer avec les écoles de design et universités afin de parvenir à un partage de savoirs et de pratiques d'expérimentations de design documentés, discutés et mis en perspective au sein de la communauté de recherche en design.

628 Nous utilisons volontairement le terme « recherche-création » comme nom commun pour exprimer le caractère à la fois scientifique et artistique des projets de recherches présents dans cette thèse.

629 Robin De MOURAT, *Le vacillement des formats: matérialité, écriture et enquête: le design des publications en Sciences Humaines et Sociales*.

Apport épistémologique : les savoirs sensibles

De manière générale, les connaissances produites par les recherches-crétions de ce manuscrit sont à la fois situées, expérientielles, incarnées, projectives, sensibles et spéculatives. Ces savoirs découlent en effet de situations : celles du terrain, ils prennent une dimension expérientielle de par leur typologie : ce sont des affiches, des jeux de cartes, des maquettes, des sites Web, des sculptures, des modèles 3D, des bibliothèques de formes avec lesquelles les personnes peuvent interagir. Les connaissances générées sont projectives, car résolument tournées vers un devenir projet, sensible de par la façon dont elles nous rendent sensibles à un phénomène qui n'était au fond pas perceptible jusque-là et spéculatif dans le sens où elles sont dans une forme de possibilités ouvertes : leurs formes n'est pas prescriptive, mais descriptive.

J'ai essayé de définir ce que seraient les savoirs sensibles, comme ce qui nous mettrait en capacité de sentir, d'éprouver, de voir, ce que l'on ne connaît pas encore, mais que nos sens et notre expérience nous permettent d'appréhender autrement que par nos connaissances théoriques. Ces travaux de thèse constitue un apport contribuant aux savoirs sensibles⁶³⁰ de ce type.

Cet apport épistémologique sur les typologies de savoirs produits peut à notre sens participer d'une évolution culturelle et matérielle des sciences, permettant sans doute, d'intégrer à la fois la question des citoyens et d'apporter une réflexivité sur les manières de faire.

Apport transdisciplinaire sur le trio : design – ingénierie – biologie

La thèse a montré l'intérêt de croiser trois champs disciplinaires : les sciences naturelles, les sciences de l'ingénierie et la recherche en design. La dynamique transdisciplinaire et/ou interdisciplinaire n'a pas été convoquée de la même manière selon les projets de recherche-crétion de cette thèse. Cependant, un point commun est que ces derniers offrent un cadre pour intégrer des préoccupations communes que ce soit sur le langage, la mémoire, les images et des techniques partagées. Le trio biologie-ingénierie-design fonctionne bien dans le cadre de notre étude. Nous avons vu que les recherches-crétions en design présentées s'appuient sur l'héritage de la culture matérielle et de mise en visibilité existante dans les pratiques des sciences de l'ingénierie et des sciences naturelles.

630 Voir Chapitre 1 pour une définition et les références associées.

2. Points de discussions

Un point de discussion concerne la méthodologie de recherche-crétion en design et la réelle portée des projets. Si, comme l'expose Lysianne Léchet-Hirt, les recherches-crétions peuvent être rendues publiques et évaluées par les pairs, de la même manière que se pratiquent d'autres typologies de recherche, les critères d'évaluation et les modalités de partage de ses résultats restent encore à explorer et à généraliser⁶³¹. De plus, bien que les recherches-crétions de cette thèse ont été rendues publiques et en partie évaluées par les pairs, la pertinence des espaces de publication doit être questionnée en regard du caractère transdisciplinaire des projets. Nous avons vu plus haut l'influence des formats de la recherche sur la manière dont sont présentées les pratiques scientifiques, que ce soit dans leur langage, leurs imaginaires et leur intégrité. Les choix d'espace de mise en visibilité de la recherche-crétion ont donc leur importance. Par exemple, dans le cadre de cette thèse, le projet *Corallum fabrica* est présenté au quinzième symposium international sur les récifs coralliens en juillet 2022 et fait parti d'une exposition au sein d'un centre de design, ARCADE Design à la campagne, au sein d'une exposition nommée, *Fiction-naire* (avril-octobre 2022), qui traite des liens entre la recherche et les designers et designers plasticiens. Au cours de la thèse, nous avons donc testé des espaces complémentaires de mise en visibilité tels que festival, musée, site Web et conférence. Nous manquons de recul et de données pour analyser et discuter les spécificités et les impacts de ces différents modes de dissémination. Pour autant, il nous semble que cette diffusion multimodale est essentielle dans la perspective d'une généralisation de ce type de méthodologie. Ainsi, cela implique que les recherches-crétions se fassent au sein d'un collectif de personnes qui puissent faire circuler les recherches dans différents espaces ou bien que la stratégie médiatique des projets, de par leur accessibilité (pas seulement factuelle, mais aussi du discours), leur licence ou les droits d'auteurs soient pris en compte à un moment donné du projet. Cette réflexion ouvre sur des manières de faire recherche « en commun » qui sera un thème de recherche d'intérêt pour la poursuite de thèse.

Création de nouvelles connaissances ?

L'apport de cette thèse se situe sur des points de méthodologie, d'épistémologie et de transdisciplinarité. Dans le cadre de nos études, nous n'avons pas prouvé que les recherches-crétions en design sur la matérialité et la mise en visibilité des sciences créent de nouvelles connaissances, ou alors les nouvelles formes de connaissances sont des nouvelles connaissances. Si le lien entre cette matérialité et les formes de connaissance produite modifie les manières de faire science, pour l'instant nous n'avons pas les données nécessaires pour affirmer que cela produit de nouvelles connaissances pour les disciplines des sciences de l'ingénierie et des sciences naturelles. Par exemple, la mise à disposition des structures détaillées à la micro-échelle des squelettes bioméneralisés de la quarantaine de spécimens de coraux n'a pas à ce jour généré de nouvelles études sur les mécanismes de croissance ou de nouveaux modèles de croissance. Cette hypothèse reste ouverte en l'état, bien que je pense que la question elle-même ait perdu de son importance. En effet, ce n'est peut-être pas tant le caractère nouveau et additionnel des connaissances

631 Dans d'autres conceptions de la recherche-crétion, l'exposition peut être considérée comme une pratique permettant de rendre la recherche publique, sans que cela ait besoin d'être accompagné de discours ou d'un manuscrit écrit.

produites qui compte, mais la circulation de ces dernières, leur mise en résonance et leur potentiel pouvoir transformateur. Ainsi, il importe peut-être moins de découvrir de nouvelles connaissances dans notre cas que de redécouvrir et faire circuler autrement les connaissances pour qu'elles deviennent mieux partagées. Les pratiques académiques de citation participent d'ailleurs de cette circulation.

Vers des *real-world laboratories*

La dimension de recherche-création ouvre de fait des espaces de publication liés à des formats d'exposition ou d'événement avec le public qui sont intéressants à généraliser pour d'autres recherches. Ces espaces ne sont d'ailleurs pas inexistantes comme le démontrent bien les événements de type fêtes des sciences, musées techniques et de sciences naturelles. Des expériences nouvelles d'espace et de manière de faire laboratoire explorent ces questions. Ainsi le concept de « *real-world laboratory* »⁶³² désigne des espaces où acteurs scientifiques et membres de la société civile coopèrent pour l'élaboration de savoirs transformateurs en faveur d'un développement soutenable de la société.⁶³³ Il serait intéressant de comprendre le rôle que peut jouer la recherche-création en design au sein de ces initiatives de *real-world laboratories*.



Figure 121 — : schéma du modèle type idéal du *real world laboratory* d'après HUNING, Sandra, RÄUCHLE, C. et FUCHS, M., 2021. *Designing real-world laboratories for sustainable urban transformation: addressing ambiguous roles and expectations in transdisciplinary teams. Sustainability Science. Vol. 16, n° 5, s'inspirant de Sieber R, Gülleken L (2018) ZUKUR stellt sich vor. Lecture at a kick-off workshop in the ZUKUR neighbourhood office. 16 May 2018. Unpublished. Dortmund. Crédits : Agence de design Où sont les dragons?, 2022*

La figure 121 représente un schéma du type idéal du *real world laboratory*.⁶³⁴ Il décrit le processus de ces espaces et manières de faire savoir qui reposent sur des processus de co-design, de co-production et de co-évaluation du savoir. Ces mêmes processus ont été au cœur de mes recherches-créations pendant cette thèse, si bien que dans une perspective de *public engagement* ou de capacitation citoyenne, ce format de *real-world laboratories* mériterait une attention plus importante pour poursuivre cette étude.

632 Nous avons pris connaissance de ce concept à travers les recherches de l'agence de design *Où sont les dragons ?* qui travaille actuellement sur un projet pour le Muséum National d'Histoire Naturelle. Nous remercions à cet égard Annabelle Aish directrice du projet « *Bioinspire-Muséum* », chercheuse en biologie marine au MNHN de nous avoir partagé les réflexions du MNHN. Voir notamment : BERGMANN, Matthias, et al., 2021. *Transdisciplinary sustainability research in real-world labs: success factors and methods for change. Sustainability Science. Vol. 16, n° 2.*

633 SCHNEIDEWIND, Uwe, AUGENSTEIN, Karoline, STELZER, Franziska et WANNER, Matthias, 2018. *Structure Matters: Real-World Laboratories as a New Type of Large-Scale Research Infrastructure: A Framework Inspired by Giddens' Structuration Theory. GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society. Vol. 27, n° 1.*

634 HUNING, Sandra, RÄUCHLE, C. et FUCHS, M., 2021. *Designing real-world laboratories for sustainable urban transformation: addressing ambiguous roles and expectations in transdisciplinary teams. Sustainability Science. Vol. 16, n° 5.*

Une meilleure intégration des sciences humaines et sociales

La bibliographie de cette thèse est composée d'ouvrages et articles venant de la philosophie des techniques et des sciences, de la sociologie des sciences, de l'histoire des sciences, de l'anthropologie, de l'esthétique, de la biologie marine, du design ou encore de l'épistémologie. Pour autant, l'intégration de personnes issues de ces différentes disciplines, notamment en sciences humaines et sociales, au sein des processus de recherche-création en design pourrait être davantage travaillée afin de fédérer des communautés hétérogènes intégrant pleinement les préoccupations des sciences sociales au cœur des propositions qui relient biologie, design et technologie. La recherche en design, aujourd'hui considérée comme faisant partie des sciences sociales, ou des sciences des lettres et des arts, et peut à ce titre jouer ce rôle d'agrégateur. Nous avons participé au cours de ce travail et à notre échelle à cette forme d'hybridation des disciplines.

Formats numériques

Il est bien établi aujourd'hui que l'activité humaine numérique consomme une partie des ressources en énergie qui sont limitées sur la planète. Si la consommation énergétique issue du numérique doit être mise en regard des effets potentiellement positifs sur le bilan carbone qu'elle peut potentiellement avoir, pour autant, elle est aujourd'hui non négligeable. En se basant sur les estimations de Charlotte Freitag⁶³⁵, Roussilhe évalue les émissions du numérique entre 2,1 et 3,9 %⁶³⁶ des émissions totales de CO₂. Notre choix de travailler sur les media dialogiques faisant appel au numérique n'est donc pas anodin de ce point de vue là. Les recherches du Labo 1.5⁶³⁷, s'attachant à mesurer l'impact carbone de la recherche scientifique actuelle me semblent des mesures complémentaires à prendre en compte dans les projets de recherches-créations en design afin d'évaluer la pertinence d'un projet en regard également de son coût carbone.

Nous pouvons également nous poser légitimement la question de la pérennité des données contenues dans les recherches-créations de cette thèse, au-delà même du coût environnemental que demande la maintenance des serveurs de ces dernières. Des approches telles que celles du *Codex*, de *Bio Is The New Black* ou de *Corallum fabrica* questionnent donc une problématique de conservation des données. Prenons un cas précis d'un spécimen de *Cyphastrea microphthalma* faisant partie de la collection historique de Quoy et Gaimar de l'expédition d'Urville de 1829 visible dans l'archive 3D⁶³⁸. Serons-nous en capacité de maintenir la réplique 3D aussi longtemps que la zoothèque du Muséum est en capacité de conserver son squelette physique, depuis près de deux siècles ? En d'autres termes, *Corallum fabrica* survivra-t-elle deux siècles ? Il y a tout lieu d'en douter. Il me

635 FREITAG Charlotte et al, 2021. « The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations », *Patterns* 2.

636 « D'après le travail de synthèse et d'ajustement des différentes estimations, par Charlotte Freitag et al. de l'université de Lancaster, l'empreinte carbone du secteur numérique représenterait 2,1 et 3,9% des émissions mondiales en 2020. L'incertitude est liée à la difficulté d'obtenir des données des industriels du secteur et par l'opacité des chaînes de fabrication. Ainsi, il est plus rigoureux de fournir une fourchette. » Gauthier Roussilhe, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 17 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://gauthierroussilhe.com/post/explication-empreinte.html>

637 1point5 | Transformer la recherche collectivement, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 24 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://labos1point5.org/>

638 CorallumFabrica, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 16 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://corallumfabrica.laas.fr/corail/18>

semble que cette réflexion nous pousse à accepter le caractère éphémère, situé dans le temps et dans l'espace de ces recherches dont les effets sont de faire circuler des savoirs pour le présent. L'archive 3D participe en effet d'une réflexion sur la mémoire et le partage de nos héritages communs dont nous esquissons l'importance plus loin.

La sur-sollicitation des chercheurs

Les approches transdisciplinaires et expérimentales de la recherche-création en design ou des *real world laboratory* exigent une implication temporelle de la part des acteurs de la science non négligeable. Nous en faisons le constat. Ainsi, il me semble que ces volontés de changements doivent venir des acteurs de la recherche et être favorisées par les institutions de recherche. La participation de chercheurs dans un contexte où les chercheurs sont déjà surchargés de sollicitations et d'obligations est un frein important pour ces initiatives.

3. Perspectives

Pour d'autres visions du vivant

Barbara Stiegler dans *Nietzsche et la vie. Une nouvelle histoire de la philosophie*⁶³⁹ nous met en garde contre les tentations utilitaristes et adaptationnistes dont les sciences contemporaines sont emprunts et qui les poussent à voir l'histoire de la vie comme une accumulation, allant vers un optimum (conception du progrès) relié selon elle à une vision capitaliste du vivant. Comprendre la vie comme héritage revient plutôt à voir en quoi « les corps vivants ont la puissance herméneutique d'écrire leur propre histoire en interprétant activement leur passé⁶⁴⁰ ». En cela Barbara Stiegler ne les considère pas comme des agents et dénonce une explication du côté de la volonté de puissance (métaphysique). Elle propose plutôt d'embrasser l'héritage des vivants comme « un ensemble de failles, de fissures, de couches hétérogènes qui le rendent instable ». A travers cette analyse critique d'une certaine vision du vivant, Barbara Stiegler nous invite à reconsidérer les imaginaires, les termes et la façon dont nous étudions le vivant. Les thèses de son dernier ouvrage font écho au travail de la biologiste et penseuse Lynn Margulis qui écrit :

« Mais nous ne pouvons pas saisir ce fait fondamental, et tant d'autres choses sur l'évolution, tant que nous n'abandonnons pas notre vision biaisée de la vie comme une chaîne linéaire menant à la complexité humaine à son apogée, et que nous ne nous concentrons pas sur la riche gamme de diversité elle-même comme le phénomène primaire de l'expansion et de la signification de la vie⁶⁴¹. »

Ainsi, Lynn Margulis s'éloigne fortement d'une histoire linéaire du vivant pendant que Barbara Stiegler nous invite à mettre à distance sa capitalisation. Cette manière de comprendre le vivant doit pouvoir s'incarner dans une étude qui doit à mon avis être libérée des injonctions à la rentabilité des recherches et à la marchandisation du savoir.

Ces nouvelles visions du vivant peuvent prendre la forme d'expériences de projet de création à l'image du travail de la biologiste et designer-artiste, Marie-Sarah Adenis. Cette dernière propose des expositions⁶⁴² et expériences de contes multimédias, où elle tisse de nouveaux liens pour créer de nouvelles histoires de l'évolution à partir de la molécule de l'ADN.

Ainsi la science peut évoluer vers ce qui participe à peupler le monde d'autres êtres

639 STIEGLER, Barbara, 2021. *Nietzsche et la vie. Une nouvelle histoire de la philosophie*. Gallimard.

640 Barbara STIEGLER, *Nietzsche et la vie. Une nouvelle histoire de la philosophie*. p. 354

641 ma traduction « But we cannot grasp this fundamental fact, and so much else about evolution, until we abandon our biased view of life as a linear chain leading to human complexity at a pinnacle, and focus instead upon the rich range of diversity itself as the primary phenomenon of life's spread and meaning. » Lynn Margulis et Michael J. Chapman, *Kingdoms and domains: an illustrated guide to the phyla of life on Earth*, Academic Press, 2009

642 Marie-Sarah Adenis, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 16 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://mariesarahadenis.com>

que les humains⁶⁴³, et contribuera de ce fait à un récit plus juste du monde⁶⁴⁴. Ces récits ne sont, nous l'avons vu, pas que des histoires à raconter au coin du feu et pas toujours des contes qui se terminent bien. Les récits communs sont ce avec quoi nous habitons le monde, ils sont l'équipement qui nous permet de faire tenir ensemble des réalités disparates. Est-ce que nos recherches-crétions comme le *Codex* ou l'archive 3D *Corallum fabrica* participent à générer les récits communs sur la bio-inspiration ou sur le corail et sa disparition. Nul ne peut l'affirmer aujourd'hui, mais si ils pouvaient y contribuer un jour alors cela constituerait une formidable perspective à ce travail.

Rapport aux futurs

Le designer Tomás Maldonado, proposait, il y a un demi-siècle déjà, de renouer avec un « engagement projectuel² » afin de se prémunir d'une attitude nihiliste qui consisterait à penser que l'on ne peut pas faire autrement et qu'il n'existerait pas d'alternative. Le designer anticipait par là, en la dénonçant, l'attitude de la Première ministre du Royaume-Uni, Margaret Thatcher quand elle prononça en 1980 « *There is no alternative* ». ⁶⁴⁵ Le sociologue des sciences Bruno Latour suggère quant à lui que nous prenions une position encapacitante, au présent, avec les données que nous avons déjà pour agir. Dans cette position, la projection du design et ces possibilités doivent être tournées dans le présent, et à mon sens éviter les promesses d'un futur que l'on ne connaît plus. Le théoricien du design Tony Fry propose en effet le terme de « *Defuturing* » pour exprimer une condition de non avenir dans laquelle nous nous trouvons actuellement et qui met donc en péril toutes les activités de projection. « La défuturation naît d'une tentative de parler de ce qui est présent, mais non représenté. En tant que telle, c'est une reconnaissance que notre relation interprétative à notre monde est toujours partielle, culturellement encadrée et linguistiquement restreinte⁶⁴⁶. » Toute la question est donc de continuer à faire exister du possible sans pouvoir présager d'un avenir. Les différents travaux de la thèse de part leur volonté d'une position partielle et située revendique une telle perspective à rapprocher de la notion du matérialisme spéculatif (discuté chapitre 2) de Stengers.

643 Cette définition de la science est celle formulée par la chercheuse et metteuse en scène Frédérique Aït-Touati à partir de la relecture d'un texte LATOUR, Bruno, 2012. *Pasteur: guerre et paix des microbes: Sui-vi de Irréductions*. La découverte. voir : Doit-on faire la guerre aux virus ? Sortir les microbes de la dualité, 2020. *SoScience*. [en ligne]. [Consulté le 17 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.sosscience.org/res-sources-open-innovation/doit-on-faire-la-guerre-aux-virus-sortir-les-microbes-de-la-dualite/>

644 « Le but recherché ce sont des récits plus justes du monde, c'est-à-dire une « science ». » dans HARAWAY, Donna, 2007. *Savoirs situés: la question de la science dans le féminisme et le privilège de la perspective partielle*. Donna HARAWAY, *Manifeste cyborg et autres essais. Sciences-Fictions-Féminismes*.

645 MARGARET Thatcher, 1980. « *Speech to Conservative Women's Conference* ». [en ligne]. [Consulté le 17 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.margaretthatcher.org/>.

646 ma traduction « *Defuturing arrives out of an attempt to speak about that which is present but unrepresented. As this, it is a recognition that our interpretative relation to our world is always partial, culturally framed and linguistically restricted.* » FRY, Tony, 1999. *A new design philosophy: an introduction to defuturing*. UNSW Press.

4. Répondre de nos héritages

Une partie de la thèse a consisté à comprendre par l'expérience de terrain les héritages culturels des technosciences. Ainsi, nous avons pris connaissance, à travers différentes études déjà menées, des héritages des nanotechnologies dans les pratiques de la bio-impression 3D et un héritage de la biologie moléculaire dans les manières de poser les questions en sciences naturelles.

J'expose rapidement certains héritages auxquels nous avons été confrontés durant la recherche. Un des héritages conceptuels dans les stratégies de conception en science de l'ingénierie est une persistance hylémorphique. Ainsi les mises en visibilité et en langage des pratiques de la bio-impression 3D, ont permis de questionner le rapport à la matérialité, non pas seulement celles des formats de la recherche, mais aussi celle des bio-objets techniques, mettant l'accent sur la nécessité de questionner la spécificité de concevoir « avec le vivant ». Un autre héritage conceptuel est lié à une histoire d'une vision du savoir comme instrument du pouvoir lié aux grandes guerres et à la colonisation. Ce pouvoir du savoir se retrouve dans un héritage d'une vision du vivant comme objet à étudier, comme curiosité externe dénuée de toute-puissance vitale. Les recherches-crétions de cette thèse ont tenté de répondre de cet héritage afin de créer à l'intérieur des pratiques, et en questionnant la matérialité des sciences et leur mise en visibilité, des façons de faire science plus réflexives et partagées.

Hériter, nous l'avons vu avec Donna Haraway est une tâche. Selon elle, « c'est tout cet héritage qui doit être dénoué pour laisser la possibilité aux espèces compagnes de tricoter ensemble de meilleurs liens »⁶⁴⁷. Les espèces compagnes citées ici ce sont les vivants qui nous entourent et avec qui nous avons en permanence des relations. L'héritage est à considérer comme l'une des manières de faire une « nouvelle écologie » (au sens de Latour). Un héritage plus global concerne la militarisation des imaginaires et des pratiques des technosciences⁶⁴⁸. Dans ce qui s'engage comme un défi sans précédent pour les humains, nous ne devons, à mon avis, pas mettre en place des plans de bataille ou des stratégies militaires, mais bien plutôt user des imaginaires du soin et apprendre à panser⁶⁴⁹ ainsi que nous a incité à le faire le philosophe Bernard Stiegler. Le langage avec lequel nous élaborerons nos sciences devra tenter d'incarner d'autres manières de penser des sciences que sur le mode de la conquête, de la maîtrise, de l'explication rationnelle et de l'annexion de territoires. Aussi, les manières dont nous devons travailler ces questions doivent s'équiper de pratiques du soin, à tous les niveaux d'interactions des projets scientifiques.

Nous avons tenté, à travers ce manuscrit, de présenter trois actions de prise de soin de nos imaginaires. La première concerne le langage et s'inscrit dans un média dialogique de définition et publication à formes libres appelé *Codex*. La seconde concerne les technologies de vision et s'inscrit dans une archive commune sur les structures internes d'animaux marquant les dérèglements climatiques en cours, appelée *Corallum fabrica*. La troisième action prise dans ce sens, concerne une histoire qui nous met en capacité d'une rencontre avec un poulpe des abysses, le *Vampyroteuthis infernalis*.

647 HARAWAY, Donna, 2019. *Manifeste des espèces compagnes*. Climats.

648 Isabelle STENGERS, *Cosmopolitiques*.

649 Bernard STIEGLER, *Qu'appelle-t-on Panser? T2: La leçon de Greta Thunberg*.

Dans notre médecine de l'imaginaire, l'invention est une des prescriptions, cette dernière n'est pas l'œuvre d'un auteur unique, mais concerne des collectifs de personnes souhaitant chacun contribuer à une meilleure condition de vie scientifique. Ce soin est une attention. Et il me semble que faire émerger les conditions de cette attention est une tâche esthétique. Yves Citton propose en effet « d'inscrire l'écologie de l'attention au sein des éthiques et des politiques du *care*. »⁶⁵⁰ Ainsi, il s'agit de « mobiliser la force d'un collectif pour imposer le devoir de faire attention »⁶⁵¹. Il ne s'agit pas là de tomber dans une hyper-responsabilisation ou une moralisation des pratiques mais seulement de comprendre que la liberté de nos actions est conditionnée par nos responsabilités et que nous ne sommes pas en capacité de sauver quoi que ce soit. Les changements seront notre nouvelle condition de vie. Il nous faut nous équiper à accueillir le doute, la remise en question et inventer des formes d'actions concrètes sur les terrains les plus variés, en lien avec les parties prenantes de ces espaces. Nous aurons besoin d'énergie pour cette entreprise. Ainsi, il me semble que nous devons également apprendre la tolérance et à embrasser l'altérité, quelle qu'elle soit, d'où qu'elle vienne, tout en posant des limites communes et en les faisant respecter pour pouvoir garantir les possibilités de vie sur notre planète.

J'ai personnellement été marquée par la conclusion d'un ouvrage de Bruno Latour, *Aramis ou l'amour des techniques*⁶⁵². Dans ce dernier, le sociologue des sciences, et philosophe, expose une enquête sur un objet technique, une sorte de petit « métro » constituée de capsules autonomes pouvant transporter un petit groupe de personnes à la demande. L'enquête revient sur le projet des acteurs, ses réseaux pour finalement expliquer pourquoi ce métro n'a jamais vu le jour. Pour Latour, il s'agissait, au final, d'un manque d'amour. L'amour est ici à comprendre comme un soin. L'amour, si on le comprend comme un attachement réciproque, peut s'incarner en effet dans un soin constant qu'une personne, groupe de personnes doit prodiguer à ses idées, son projet, son environnement, pour qu'il puisse se maintenir dans un état de vie qui lui permette de rester en état d'homéostasie. J'ai tenté tout au long de ces projets de garder la leçon de Bruno Latour en tête : cette énergie peut disparaître. Elle s'évanouit parce que les zones d'importance et les zones de préoccupation des acteurs ne sont pas toujours les mêmes, car les revendications personnelles et individuelles ne sont plus en accord avec celle du groupe. Il nous faudrait porter du soin à nos manières de faire dialoguer nos zones d'importance, nos préoccupations sous un mode qui ne pourra pas se passer de compromis. Il faut porter soin à nos objets techniques, à la mise en visibilité et à la culture matérielle des sciences, ce que je crois, peut être une tâche tout à fait passionnante pour une partie de la recherche en design.

Vers une section design au CNRS ?

Ce travail de recherche a été très enrichissant et porteur de multiples rencontres à l'image des remerciements de cette thèse et des travaux co-publiés visible *annexe 2*, je suis très reconnaissante des diverses personnes qui m'ont accompagné durant cette thèse, j'espère leur avoir dit et leur avoir rendu l'énergie qu'ils ont accordé à ce travail. Aujourd'hui, il n'existe pas de section design dédiée au CNRS. Demain, nous aimerions qu'il soit pos-

650 CITTON, Yves, 2021. *Pour une écologie de l'attention*. Points. Points Essais. p. 194

651 Yves CITTON, *Pour une écologie de l'attention*.

652 LATOUR, Bruno, 2020. *Aramis ou l'amour des techniques*. La découverte.

sible que la recherche en design existe au sein de multiples instruments de la recherche académique française, auprès de pratiques et de spécialités très diverses. Une section interdisciplinaire sur ces questions serait de ce point de vue là un outil intéressant. Nous avons contribué à montrer la pertinence de cette approche pour les sciences de l'ingénierie en lien avec des questions de biologie. De multiples terrains restent à découvrir, à interroger et à co-construire au sein de communauté de recherches interdisciplinaires et hétérogènes. Pérenniser des approches de recherche-crédation en design dans les institutions nous semble une voie intéressante pour bénéficier du temps long que requiert les études et les enquêtes propices à la création d'initiatives pertinentes sur le long terme.

Peut-on vivre dans le trouble ?

Nous avons mis en avant un héritage matériel et culturel des sciences qui nous oblige les uns vis-à-vis des autres. La période critique que nous traversons, que nous nommons avec le terme d'anthropocène, nous engage à nous pencher sur cet héritage. Cet héritage nous oblige donc à la liberté et engage notre responsabilité collective de répondre de ce à quoi nous faisons la réception. Cette réception est violente, car elle détruit des environnements vitaux pour de multiples populations et espèces. Elle est déstabilisatrice, car elle remet en cause le projet de la modernité et du progrès. Elle est sans doute une nouvelle blessure narcissique pour l'humanité. Pour autant, pouvons-nous, plus de 9 milliards d'individus et des milliards d'espèces compagnes vivre dans le trouble ? Les citoyens et habitants du monde ont-ils le temps, de comprendre nos héritages, c'est-à-dire, de faire une introspection profonde et de nous renseigner pour comprendre ce que nous traversons ? En résumé : en ont-ils le luxe ? Comment faire en sorte pour transmettre ces héritages d'une façon qui ne soit pas psychologiquement dévastatrice pour l'humanité ? Au sein du chaos qui s'annonce, il nous faudra aménager des conditions de vie qui seront d'autres états de la vie. Le philosophe et médecin Georges Canguilhem s'exprimait en ces termes :

« C'est parce que les hommes se sentent malades qu'il y a une médecine. La guérison n'est jamais restauration, retour à l'innocence biologique. Elle vise seulement à donner à l'individu une nouvelle maîtrise et possession de soi dans des conditions différentes.⁶⁵³ »

Il n'y aura pas de retour à une innocence biologique pour reprendre les termes de Canguilhem. Il y aura des ruines. Et il nous faudra apprendre à vivre avec elles. Pourtant, cette vie dans les ruines ne doit pas être une vie de souffrance. Il n'y a pas d'« Apocalypse », de punition de l'espèce humaine, qui n'aurait pas bien suivi « le bon chemin ». Il y a, un ensemble de phénomènes appréhendables, analysables, évaluables, discutables et sensibles que nous devons avoir le courage de mettre au milieu d'une table. Comment continuer avec l'énergie vitale dans l'état pathologique de l'anthropocène ? Il nous faudra sans doute « guérir nos imaginaires⁶⁵⁴ ». Soigner nos imaginaires, c'est prendre soin de nos mots, de notre langage, de nos métaphores : ils sont les premiers à nous guider dans le monde, afin de nommer ce qui nous entoure et de partager nos découvertes aux commu-

653 Georges CANGUILHEM, *Georges, Le normal et le pathologique*.

654 Isabelle STENGERS, Schaffner MARIN, et Emilie HACHE, *Résister au désastre : dialogue avec Marin Schaffner*.

nautés de chercheurs avec qui nous évoluons. Soigner nos imaginaires, c'est prendre soin de nos images, des gestes avec lesquelles on les produit et desquels découle une certaine présentation ou représentation des vivants. Soigner nos imaginaires, c'est s'éloigner des rêves destructeurs d'une humanité salvatrice. Soigner, ce sera fabriquer, bricoler, accepter sa tâche, et qu'elle soit à notre mesure.

Les sciences des ruines⁶⁵⁵

Les héritages auxquels nous sommes confrontés sont multiples, et il nous faudra nous munir d'une pioche et de pinceaux aux poils fins pour découvrir les multiples strates qui se trouvent sous notre sol. À la manière des archéologues, la recherche en design peut à mon avis participer d'une forme de sciences des ruines. Les sciences de la ruine sont des sciences d'avenir. Il existe déjà⁶⁵⁶ des sciences des ruines : archéologie, histoire, psychologie, géologie, etc. Nous aurons à apprendre de leur pratique. Nous savons, grâce aux travaux rigoureux du GIEC, que le constat est amer. Pourtant, c'est aussi un défi qu'il nous faudra prendre à cœur, comme les humains ont rêvé aux sciences qui les emmèneraient un jour sur la Lune, ils ont rêvé aux sciences qui leur feraient comprendre le monde infiniment petit des nanotechnologies. Et si nous rêvions d'une science des ruines, qui nous mettent en capacité de comprendre le sens de nos héritages et d'y répondre ? Ces sciences restent à découvrir, et nous n'avons pas la prétention de pouvoir en dessiner les contours, nous sentons cependant qu'elles prendront de l'importance dans un futur proche. Dans ces sciences, l'héritage culturel des sciences ne sera pas un bien jalousement convoité, il sera mis au centre du microscope, il sera caractérisé et rendu visible et lisible. La recherche en design, de par sa capacité de projection et d'imagination sera l'une des parties prenantes, elle ouvrira des possibles, là où sans doute d'autres chercheurs décriront des diagnostics⁶⁵⁷ et prescriront des remèdes.

Des entités immenses attendent ces sciences des ruines, une des premières concerne l'Océan. La puissance et les conséquences de la manière dont nous traiterons nos interactions avec l'Océan doit constituer à mon sens le premier lieu d'attention. De nombreuses recherches sont impliquées dans cette attention océanographique. Nous aimerions continuer à nous joindre à cet effort commun à l'avenir.

⁶⁵⁵ Cette conclusion est le fruit d'un assemblage de multiples lectures et de multiples discussions dont les auteurs sont cités précédemment dans le corps de la thèse.

⁶⁵⁶ Nous devons à la lecture de Yves Citton ces réflexions sur l'importance des sciences archéologiques comme guide pour le futur.

⁶⁵⁷ Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat est à ce titre exemplaire.

Bibliographie

La bibliographie est rangée par ordre alphabétique, sauf pour les documents web et audiovisuels qui sont classés par ordre d’apparition.

Ouvrages

AÏT-TOUATI, Frédérique, 2011. *Contes de la lune: essai sur la fiction et la science modernes*. Gallimard Paris. AÏT-TOUATI, Frédérique et COCCIA, Emanuele, 2021. *Le cri de Gaïa: penser la terre avec Bruno Latour*. Empêcheurs de penser rond.

ANDERS, Günther. 2008. *Hiroshima est partout*. [trad collective, préface de Jean-Pierre Dupuy]. Paris : Seuil

ANTONELLI, Paola et Ala TANNIR. 2018. *Broken Nature*, catalogue de la XII Triennale di Milano.

ARENDT, Hannah et Éric ADDA (trad.) 1974. *Vies politiques*. Paris : Gallimard.

ARENDT, Hannah, 2002 [1958]. *Condition de l’homme moderne*. Pocket.

ARNAUD, François et WORMS, Frédéric, 2016. *Le moment du vivant*. Paris : PUF.

BEC, Louis, 2014. *Zoosystème*. CIANT. Prague.

BENJAMIN, Walter. 2014. Écrits radiophoniques. Paris : Allia.

BENSAUDE-VINCENT, Bernadette, 2009. *Les Vertiges de la technoscience*. Paris : La Découverte.

BENSAUDE-VINCENT, Bernadette et BENOIT-BROWAEYS, Dorothee, 2011. *Fabriquer la vie: où va la biologie de synthèse?*. Seuil.

BENSAUDE-VINCENT, Bernadette, LOEVE, Sacha, NORDMANN, Alfred et SCHWARZ, Astrid, 2017. *Research objects in their technological setting*. Taylor & Francis.

BENYUS, Janine M., 2016. *Biomimétisme: Quand la nature inspire des innovations durables*. Rue de l’échiquier

BIANCHINI, Samuel, 2009. *Recherche & Création. Art, technologie, pédagogie, innovation*. Montrouge, éd. Burozoïque et École nationale supérieure d’art de Nancy.

BLEECKER, Julian, 2009. *Design Fiction: A Short Essay on Design, Science, Fact and Fiction*.

BRANZI, Andrea, ISOZAKI, Arata et BRUN, Françoise, 1985. *Le design italien:» La casa calda*». l’Equerre.

CANGUILHEM, Georges. 1966. *Le normal et le pathologique*. Paris : Presses Universitaires de France.

CASWELL, Michelle. 2021. *Urgent Archives: Enacting Liberatory Memory Work*. Londres : Routledge.

CARSON, Rachel L. 1954 [1951]. *Cette mer qui nous entoure*. Édition hors commerce, Club du Meilleur Livre.

CHUN, Carl. 1903. *Aus den tiefen des weltmeeres : Schilderungen von der Deutschen Tiefsee-expedition*. Jena

CITTON, Yves et DOUDET, Estelle (dir.), 2019. *Écologies de l’attention et archéologie des media*. UGA Éditions.

CITTON, Yves, 2021. *Pour une écologie de l’attention*. Points. Points Essais.

CITÉ DU DESIGN et David-Olivier LARTIGAUD. 2017. *Objectiver*. Saint-Étienne, France : EPCC Cité du design, École supérieure d’art et design.

Collectif. 1984. *Le vivant et l’artificiel*. Paris : SGRAFFITE

COOPMANS, Catelijne, VERTESI, Janet, LYNCH, Michael E. et WOOLGAR, Steve (éd.), 2014. *Representation in Scientific Practice Revisited*. Cambridge, MA, USA : MIT Press. Inside Technology.

DASTON, Lorraine et GALISON, Peter, 2012. *Objectivité*. Les Presses du réel. Dijon.

DASTON, Lorraine et Katharine PARK. *Wonders and the Order of Nature*, 1150–1750. New-York : Zone books, 1998.

DAUTREY, Jehanne et QUINZ, Emanuele, 2014. *Strange design: du design des objets au design des comportements*. it: éditions.

DE LA BELLACASA, María Puig, 2014. *Les savoirs situés de Sandra Harding et Donna Haraway: science et épistémologies féministes*. Editions L’Harmattan.

DESCOLA, Philippe, 2015. *Par-delà nature et culture*. Éditions Gallimard.

DESPRET Vinciane. 2021. *Autobiographie d’un poule : et autres récits d’anticipation*. Arles : Éditions Actes Sud.

DUNNE, Anthony, [1999] 2008. *Hertzian Tales: Electronic Products, Aesthetic Experience, and Critical Design*. MIT Press books.

DE LA BELLACASA, María Puig, 2014. *Les savoirs situés de Sandra Harding et Donna Haraway: science et épistémologies féministes*. Editions L’Harmattan.

DUNNE, Anthony et RABY, Fiona, 2013. *Speculative Everything: Design, Fiction, and Social Dreaming*. MIT Press.

DERRIDA, Jacques. [1995] 2008. *Mal d’archive*. éditions Galilée

FLUSSER, Vilém. [1993] 1996. *Choses et non-choses. Essais phénoménologiques* [Dinge und Undige, recueil posthume]. Trad. de l’allemand par Jean Mouchard. Paris : Jacqueline Chambon.

FLUSSER, Vilém, et BEC Louis. 1981-1983. *Vampyroteuthis infernalis*. [Tapuscrit]. Berlin : Vilém Flusser Archive.

FLUSSER, Vilém, et BEC Louis. 1987. *Vampyroteuthis infernalis*. Berlin : Immatrrix Publication.

FLUSSER, Vilém, 1999. *Les gestes*. D’ARTs éditeur et HC (Editions Hors Commerce).

FLUSSER, Vilém. 2002. *Petite philosophie du design*. Belfort : Circé.

FLUSSER, Vilém. 2005. *Essais sur la nature et la culture*. Belval, Circé

FLUSSER, Vilém. 2011. *Vampyroteuthis infernalis*. New York/Dresden : Atropos Press.

FLUSSER, Vilém. *Post-histoire*. [1982, version française inédite]. 2019. Paris : T&P work unit ; Saint-Étienne : Cité du design.

FLUSSER, Vilém. BEC Louis. 2015. *Vampyroteuthis infernalis : un traité, suivi d’un rapport de l’Institut scientifique de recherche paranaturaliste*. Traduit de l’allemand par Christophe Lucchese. Bruxelles : Zones Sensibles Éditions.

FLUSSER, Vilém. 2015. *Flusseriana: An Intellectual Toolbox*. Minnesota : Univocal Publishing.

FRY, Tony, 1999. *A new design philosophy: an introduction to defuturing*. UNSW Press.

GEEL, Catherine, 2019. *Les grands textes du design*. Institut Francais De La Mode. Essentiels En Poche.

GOLDSMITHS’ COLLEGE, INTERACTION RESEARCH STUDIO, BEAVER, Jacob, KERRIDGE, Tobie, PENNINGTON, Sarah et ENGINEERING AND PHYSICAL SCIENCES RESEARCH COUNCIL, 2009. *Material beliefs*. London : Goldsmith’s, University of London.

GUCHET, Xavier, 2016. *La médecine personnalisée : un essai philosophique*. Les Belles Lettres.

HARAWAY, Donna Jeanne, 1976. *Crystals, fabrics, and fields: metaphors that shape embryos*. Yale University Press. New Haven and London.

HARAWAY, Donna, 1988. « *Situated Knowledges: The Science Question in Feminism and the Privilege of Partial Perspective* », *Feminist Studies*, vol. 14, no 3, p. 575-599

HARAWAY, Donna J. 1992. Chapter 18: Cultural studies. In : *The promises of monsters: a regenerative politics for inappropriate/d others*. New York : Routledge.

HARAWAY, Donna, 1997. Modest_Witness@Second_Millennium. *FemaleMan_Meets_Oncomouse: Feminism and Technoscience*. New York, Routledge.

HARAWAY, Donna, ALLARD, Laurence, GARDEY, Delphine et MAGNAN, Nathalie, 2007. *Manifeste cyborg et autres essais: sciences, fictions, féminismes*. Exils. Paris. p. 278

HARAWAY, Donna, 2016. *Staying with the Trouble Making Kin in the Chthulucene*. Duke University Press. Durham and London.

HARAWAY, Donna, 2019. *Manifeste des espèces compagnes*. Climats.

HARAWAY, Donna, 2020. *Vivre avec le Trouble*. Vaulx-en-Velin, Les Éditions des mondes à faire.

HOOKS, Bell, 2020. *Tout le monde peut être féministe*. divergences. Paris.

HUYGHE, Pierre-Damien, 2017. *Contre-temps. De la recherche et de ses enjeux: arts, architecture, design*. B42.

HUYGHE, Pierre-Damien, 2006. *L’art au temps des appareils*. Editions L’Harmattan.

JACOB, François. 1970. *La logique du vivant. Une histoire de l’hérédité*. Paris : Gallimard.

KELLER, Evelyn Fox, *Refiguring life: Metaphors of twentieth-century biology*, Columbia University Press, 1995.

KELLER, Evelyn Fox et SCHMITT Stéphane, *Le siècle du gène*, Gallimard, 2003.

LACAZE-DUTHIERS (de), Henri. *Histoire naturelle du corail : organisation, reproduction, pêche en Algérie, industrie et commerce*, Paris : J.-B. Baillière et Fils, 1864. Planche 2, p. 349.

LATOURE, Bruno, 1987. *Science in action: How to follow scientists and engineers through society*. Harvard university press.

LATOURE, Bruno, 2012. *Pasteur: guerre et paix des microbes: Suivi de Irréductions*. La découverte.

LATOURE, Bruno, 2020. *Aramis ou l’amour des techniques*. La découverte.

LÉCHOT-HIRT, Lysianne, 2010. *Recherche-création en design: modèles pour une pratique expérimentale*. MétisPresses. VuesDensemble.

LOWENHAUPT TSING, Anna et al. 2017. *Arts of living on a damaged planet: Ghosts and monsters of the Anthropocene*. Minneapolis ; London : University of Minnesota Press

LWOFF, André et Agnès ULLMANN (dir.). 1979. *Origins of molecular biology: a tribute to Jacques Monod*. New York : Academic Press.

LYOTARD, Jean-Francois, 1979. *La condition postmoderne: Rapport sur le savoir*. Paris: Minuit.

MALDONADO, Tomás et Giovanni JOPPOLO. 1972. *Environnement et idéologie : vers une écologie critique*. Paris : Union générale d’éditions.

MANNING, Erin et MASSUMI, Brian, 2018. *Pensée en acte, vingt propositions pour la recherche-création*. les presses du réels. Artec.

MARGULIS, Lynn et Dorion SAGAN. 1986. *Microcosmos*. Berkeley : University of California Press.

MARGULIS, Lynn. 2008. *Symbiotic Planet: a New Look at Evolution*. New York : Basic Books

MARTIN-GARIN, Bertrand et Lucien F. MONTAGGIONI. 2020. *Coraux et récifs : des origines à un futur incertain*. Aix-en-Provence : Presses universitaires de Provence

MENDINI, Alessandro, GEEL, Catherine et CARAMIA, Pierangelo, 2014. *Ecrits d’Alessandro Mendini:(architecture, design et projet)*. Les Presses du réel.

MOHOLY-NAGY, László. Nouvelle méthode d’approche. 2007 [1947] *Peinture Photographie Film et autres écrits sur la photographie*. Paris : Gallimard

MONOD, Jacques. 2014. *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*. Paris : Seuil.

MORIN, Edgar et MOIGNE, Jean Louis Le, 1999. *L’intelligence de la Complexité*. . Editions L’Harmattan.

MORIZOT Baptiste. 2020. *Manières d’être vivant : enquêtes sur la vie à travers nous*. Arles : Éditions Actes Sud.

MOROZOV, Evgeny, 2014. Pour tout résoudre, cliquez ici : l’aberration du solutionnisme technologique, Fyp

NOVA, Nicolas, 2014. *Beyond design ethnography*. SHS Publishing.

NOVA, Nicolas et BLOCH, Anaïs, 2020. *Dr. Smartphones: an ethnography of mobile phone repair shops*. IDP.

NOVA, Nicolas, 2021. *Enquête/Création en design*. HEAD. Genève.

MIDAL, Alexandra, 2009. *Design: introduction à l’histoire d’une discipline*. Pocket.

MIDAL, Alexandra, 2013. *Design, l’anthologie*:[1841-2007]. HEAD – Genève; Saint-Etienne: Cité du design.

PHILIZOT, Vivien et BIÉ, Jérôme Saint-Loubert, 2020. *Technique et design graphique*. Éditions B42

POUTEAU, Sylvie. 2007, *Génétiqement indéterminé : Le vivant auto-organisé*. Versailles : Quae

RENON, Anne-Lyse, 2020. *Design & sciences*. Presses universitaires de Vincennes.

REY, Olivier, 2018. *Leurre et malheur du transhumanisme*. Desclée de Brouwer.

ROMERO-FRIAS, Xavier. 2012. *Folk tales of the Maldives*. Copenhagen : NIAS Press. 300 p. Cité par TORRI, Davide, The Coral Tree at the End of the World.

REILING, Henri. 1998. The Blaschkas’ Glass Animal Models: Origins of Design. *Journal of Glass Studies*. Vol. 40.

RUSKIN, John. *Les sept lampes de l’architecture*. [1849]. Paris : Klincksieck, impr. 2008.

SCHRÖDINGER, 1993. *Erwin. Qu’est-ce que la vie ? : De la physique à la biologie*. Paris : Seuil.

STARHAWK, 2015. Rêver l’obscur. Femmes, magie et politique. Cambourakis. Paris. Sorcières.

STENGERS, Isabelle, 2013. *Une autre science est possible! Manifeste pour un ralentissement des sciences*. Paris, La Découverte.

STENGERS, Isabelle, MARIN, Schaffner et HACHE, Emilie, 2019. *Résister au désastre : dialogue avec Marin Schaffner*. Wildproject Editions. Semipoche.

STENGERS, Isabelle, 2022. *Cosmopolitiques*. La Découverte. Paris : Empêcheurs de penser rond.

STIEGLER, Bernard. 2020. *Qu’appelle-t-on Panser? T2 : La leçon de Greta Thunberg*. Paris : Éditions Les liens qui libèrent.

STIEGLER, Bernard et COLLECTIF INTERNATION, 2021. *Bifurquer*. Les Liens qui Libèrent. poche

STIEGLER, Barbara, 2021. *Nietzsche et la vie. Une nouvelle histoire de la philosophie*. Gallimard.

TROUILLOT, Michel-Rolph. 1995. Silencing the Past: Power and the Production of History. Boston : Beacon Press.

TSING LOWENHAUPT Anna, 2017. *Le champignon de la fin du monde : sur la possibilité de vie dans les ruines du capitalisme*, Empêcheurs de penser rond.

VINCK, Dominique, 1992. *Du laboratoire aux réseaux: Le travail scientifique en mutation. Politique de la science et de la technologie, Rapport de recherche FAST*

WORMS, Frédéric. 2016. *Un moment du vivant ? Paris : Presses Universitaires de France*.

YOON, Carol Kaesuk, 2009. *Naming nature: the clash between instinct and science*. WW Norton & Company.

ZONG MENGUAL, 2021. Estelle. *Apprendre à voir : Le point de vue du vivant*. Arles : Actes Sud

Articles & chapitres d’ouvrages

ACCARDO, Angelo, CIRILLO, Carla, LIONNET, Sarah, VIEU, Christophe et LOUBINOUX, Isabelle, 2019. Interfacing cells with microengineered scaffolds for neural tissue reconstruction. *Brain research bulletin*. 2019. Vol. 152, pp. 202–211.

BAPTESTE, Éric et. al. 2021. The Epistemic Revolution Induced by Microbiome Studies: An Interdisciplinary View. *Biology*. Vol. 10, n° 7

BARDINI, Thierry. 2004. Variations sur l’insignifiant génétique : les métaphores du (non —) code. Érudit. No 3

BARDINI, Thierry. 2016. Future life will be synthetic: About the emergence of engineered life, its promises, prophecies and the formal causalities needed to make sense of them. *Social Science Information*. Vol. 55, no 3.

BRAMANTI, Lorenzo et H. Nelson. 2020. From trees to octocorals: The role of self-thinning and shading in underwater animal forests. In : *Perspectives on the Marine Animal Forests of the World*. Springer

BEC, Louis. Vampyroteuthis infernalis. 2007. Postscriptum. *Flusser Studies* [en ligne]. Vol 4 — Louis Bec [consulté le 18 avril 2022]. Disponibilité : http://www.flusserstudies.net/sites/www.flusserstudies.net/files/media/attachments/bec_vampyroteuthis.pdf

BERGMANN, Matthias, et al., 2021. Transdisciplinary sustainability research in real-world labs: success factors and methods for change. *Sustainability Science*. Vol. 16, n° 2.

BIANCHINI, Samuel, Jean-Paul FOURMENTRAUX et Emmanuel MAHÉ, Création et « Recherche & Développement ». In : Valeurs croisées, Catalogue Les Ateliers de Rennes – Biennale d’art contemporain #1. Raphaële JEUNE (dir.). Dijon : Presses du réel, 2009. p.136-145 (v. fr.), p.180-189 (v. ang.).

BRACKE, Sarah, PUIG DE LA BELLACASA, Maria et CLAIR, Isabelle, 2013. Le féminisme du positionnement. Héritages et perspectives contemporaines. *Cahiers du Genre*. 1er janvier 2013. Vol. 54, pp. 45.

BRAMANTI, Lorenzo et al. 2013. Detrimental effects of ocean acidification on the economically important Mediterranean red coral (*Corallium rubrum*). *Global Change Biology*. vol. 19, no 6.

BRAMANTI, Lorenzo, MOVILLA, Juancho, GURON, Maricel, CALVO, Eva, GORI, Andrea, DOMINGUEZ-CARRIÓ, C., GRINYÓ, Jordi, LOPEZ-SANZ, Angel, MARTINEZ-QUINTANA, Angela et PELEJERO, Carles, 2013. Detrimental effects of ocean acidification on the economically important Mediterranean red coral (*Corallium rubrum*). *Global change biology*. Vol. 19, n° 6.

CERRANO, Carlo, CARDINI, Ulisse, BIANCHELLI, Silvia, CORINALDESI, Cinzia, PUSCEDDU, Antonio et DANOVARO, Roberto, 2013. Red coral extinction risk enhanced by ocean acidification. *Scientific reports*. Vol. 3, n° 1, pp. 1–7.

DESPRET, Vinciane. 2013. En finir avec l’innocence. Dialogue avec Isabelle Stengers et Donna Haraway. *Penser avec Donna Haraway*. p. 22–45.

CAMP, Emma F., Verena SCHOEPP et David J. UGGETT. 2018. How can “Super Corals” facilitate global coral reef survival under rapid environmental and climatic change? *Global Change Biology*. Vol. 24, n° 7.

CITTON, Yves. 2021. Vilém Flusser et la recherche-création. *Flusser Studies* [en ligne]. no 31, “Flusser et la France” [Consulté le 18 avril 2022]. Disponibilité : http://www.flusserstudies.net/sites/www.flusserstudies.net/files/media/attachments/citton-recherche-creation.pdf

CITTON, Yves. Naviguer ou filtrer. 2016. Vilém Flusser et l’alternative vampirique de l’imaginaire numérique. *Hybrid. Revue des arts et médiations humaines*. N° 3

CREFF, Justine, COURSON, Rémi, MANGEAT, Thomas, FONCY, Julie, SOULEILLE, Sandrine, THIBAUT, Christophe, BESSON, Arnaud et MALAQUIN, Laurent, 2019. Fabrication of 3D scaffolds reproducing intestinal epithelium topography by high-resolution 3D stereolithography. *Biomaterials*. 2019. Vol. 221

CROSS, Nigel, 2001. Designerly ways of knowing: Design discipline versus design science. *Design issues*. Vol. 17, n° 3, p. 49–55.

EIGER, Edward. 2004. The Housing of Entropy: On Schrödinger’s Code-Script. *Perspecta*. Vol. 35

FINDELI, Alain et COSTE, Anne, 2007. De la recherche-création à la recherche-projet : un cadre théorique et méthodologique pour la recherche architecturale. *Lieux Communs - Les Cahiers du LAUA* N° 10, p. 139-161.

FLEURY, Cynthia. *Le soin est un humanisme*. Paris : Gallimard, 2019.

FLOQUET, Nicole et Daniel VIELZEUF. 2011. Mesoscale twinning and crystallographic registers in biominerals. In : *American Mineralogist*. Vol. 96. p. 1228–1237.

FLUSSER, Vilém. Le vivant et l’artificiel. *Multitudes*. 2019. N° 1, p. 199–202.

FLUSSER, Vilém. Deux lectures du monde. *Multitudes*. 2019. Vol. 74, no. 1, p. 203-206.

FREITAG Charlotte et al, 2021. « The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations », *Patterns* 2.

FRY, Tony. 2005. Elimination by Design. *Design Philosophy Papers*. Vol. 3, no 2.

GUCHET, Xavier, 2017. Objet versus artefact. Pour une philosophie des techniques orientée-objet. *Cahiers COSTECH*. Vol. 1.

GUCHET, Xavier et LEGALLAIS, Cécile, 2019. Nanotechnologies et ingénierie du foie bioartificiel. Une autre idée de la « convergence technologique ». *Philosophia Scientiae*. Vol. 23-1, n° 1, pp. 121-135

HUNING, Sandra, RÁUCHLE, C. et FUCHS, M., 2021. Designing real-world laboratories for sustainable urban transformation: addressing ambiguous roles and expectations in transdisciplinary teams. *Sustainability Science*. Vol. 16, n° 5.

HARAWAY, Donna. 1988. *Situated Knowledges: The Science Question in Feminism and the Privilege of Partial Perspective*. Feminist Studies. Vol. 14, n° 3.

HARAWAY, Donna J., 2015. In the Beginning Was the Word: The Genesis of Biological Theory. *Signs: Journal of Women in Culture and Society*

HERNANDEZ-AGREDA, Alejandra, Ruth D. GATES et Tracy D. AINSWORTH. 2017. Defining the Core Microbiome in Corals’ Microbial Soup. *Trends in Microbiology* Vol. 25, no 2.

HOEGH-GULDBERG, Ove et al. Impacts of 1.5 C global warming on natural and human systems. In Global warming of 1.5 C. An IPCC Special Report. Genève : IPCC, 2018, cité dans : HOEGH-GULDBERG, Ove et al. 2019 The human imperative of stabilizing global climate change at 1.5 C. *Science*. Vol. 365, no 6459.

HOEGH-GULDBERG, Ove, JACOB, Daniela, TAYLOR, M., BOLAÑOS, T. Guillén, BINDI, Marco, BROWN, Sally, CAMILLONI, Ines Angela, DIEDHIOU, Arona, DJALANTE, Riyanti et EBI, Kristie, 2019. The human imperative of stabilizing global climate change at 1.5 C. *Science*. Vol. 365, n° 6459.

HOTTOIS, Gilbert, 2006. La technoscience : de l'origine du mot à ses usages actuels. *Recherche en soins infirmiers*. N° 86, p. 24-32.

HORTON, Richard, 2020. Offline: COVID-19 is not a pandemic. *The lancet*. Vol. 396, n° 10255, pp. 874.

HOUDART, Sophie. 2008. *La cour des miracles : ethnologie d'un laboratoire japonais*. Paris : CNRS Éditions.

JORI, Anita et Alexander W. SCHINDLER. 2017. (Re-)Archiving Flusser. *Flusser Studies*. Vol 24 – Special Issue: Archiving Flusser.

KANG, Hyun-Wook, LEE, Sang Jin, KO, In Kap, KENGLA, Carlos, YOO, James J. et ATALA, Anthony, 2016. A 3D bioprinting system to produce human-scale tissue constructs with structural integrity. *Nature Biotechnology*. Vol. 34, n° 3, pp. 312-319.

KARSENTI, Eric et al., 2011. A Holistic Approach to Marine Eco-Systems Biology. *PLOS Biology*. Vol. 9, n° 10.

KLEYPAS, Joan et al. Designing a blueprint for coral reef survival. *Biological Conservation* Vol. 257.

KAZI-TANI, Tiphaine et Pierre-Damien HUYGHE. 2015. À quoi tient le design : un entretien avec Pierre-Damien Huyghe. *Sciences du Design*. Vol. 2, no 2

KRATOCHVIL, Michael J., SEYMOUR, Alexis J., LI, Thomas L., PAŞCA, Sergiu P., KUO, Calvin J. et HEILSHORN, Sarah C., 2019. Engineered materials for organoid systems. *Nature Reviews Materials*. Vol. 4, n° 9, pp. 606-622.

KWET, Michael. 2018. *Digital Colonialism: US Empire and the New Imperialism in the Global South*. SSRN Scholarly Paper.

LALLEMAND, Ianis. 2020. Conception et matérialité dans la production numérique contemporaine : perspective historique et pratiques émergentes. In : Sciences du Design. Vol. 12, no 2.

LATOUR, Bruno, 2004. Why has critique run out of steam? From matters of fact to matters of concern. *Critical inquiry*. 2004. Vol. 30, n° 2, pp. 225–248.

LARTAUD, Franck et al. 2020. Plastics: An additional threat for coral ecosystems. In Perspectives on the Marine Animal Forests of the World. *Cham : Springer International Publishing*.

LEHANNEUR, Mathieu, 2011. Un paysage inexploré, Entretien avec Dunne & Raby. *Azimuts 24*, pp.58-66

LÉVY-LEBLOND, Jean-Marc. (Re) mettre la science en culture : de la crise épistémologique à l'exigence éthique. 2018. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*. Vol. 56, no 56. p. 7–16

LOEVE, Sacha, 2018. Design and Aesthetics in Nanotechnology. In : LOEVE, Sacha, GUCHET, Xavier et BENSAUDE VINCENT, Bernadette (éd.), *French Philosophy of Technology*. Cham : Springer International Publishing. p. 361-384.

MANZINI, Ezio. 1991. La nature de l’artificiel. In : *Artefacts. Vers une nouvelle écologie de l’environnement artificiel* [1990]. trad. de l’italien par Adriana Pilia. Paris : Centre Pompidou/CCI

MARBURGER, Marcel René. 2016. From Science to Fiction. Considering Vilém Flusser as an Artist. *Flusser Studies*. Vol. 22, n° 1.

MAREIS, Claudia, 2016. Doing Research: Design Research in the Context of the ‘Practice Turn’. In : *Design as Research*. Birkhäuser. p. 35–41.

MARTINS, Luiza Prado de O., 2014. Privilege and Oppression: Towards a Feminist Speculative Design. *DRS Biennial Conference Series*.

MASURE Anthony, SAINT-JEVIN Alexandre, « Formes, formats, formatage : vers un design des sciences », article à paraître dans : Collectif, *Les devenirs numériques des patrimoines numérisés*, Paris, UDPN.

MASURE, Anthony. 2016. « La saisie comme interface ». dans : Sophie Fêtro, Anne Ritz-Guilbert (dir.), actes du colloque scientifique « Collecta. Des pratiques antiques aux humanités numériques », École du Louvre.

MASURE, Anthony et Victor PETIT. 2021. Pour un design radicalement circulaire. À propos des « Considérations écologiques » de Vilém Flusser [en ligne]. *Flusser Studies*. [consulté le 18 avril 2022]. No 31 : « Flusser et la France ». Disponibilité : https://www.anthonymasure.com/articles/2021-07-design-circulaire

MEADOWS, Donella et al. 1972. *Limits to Growth, a report for the club of Rome’s project on the predicament of mankind*. New York : Potomac Assoc. Books.

MIRONOV, Vladimir, BOLAND, Thomas, TRUSK, Thomas, FORGACS, Gabor et MARKWALD, Roger R., 2003. Organ printing: computer-aided jet-based 3D tissue engineering. *Trends in Biotechnology*. Vol. 21, n° 4, pp. 157-161

NEUKOM, Raphael et.al. 2019 No evidence for globally coherent warm and cold periods over the preindustrial Common Era. *Nature*. Vol. 571, no 7766.

NOOR, Nadav, SHAPIRA, Assaf, EDRI, Reuven, GAL, Idan, WERTHEIM, Lior et DVIR, Tal, 2019. 3D Printing of Personalized Thick and Perfusable Cardiac Patches and Hearts. *Advanced Science*. Vol. 6, n° 11

NOVA, Nicolas et LÉCHOT HIRT, Lysianne, 2019. Ethnographier avec le design. *Techniques & Culture*.

OSTHOFF, Simone et Priscilla ARANTES. 2016. Introduction. *Flusser Studies 21* — Thematic focus: Design.

PANISSAL, Nathalie, BROSSAIS, Emmanuelle et VIEU, Christophe, 2010. Les nanotechnologies au lycée, une ingénierie d’éducation citoyenne des sciences. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*. 2010. N° 1, p. 319–338.

POLOCZANSKA, Elvira, MINTENBECK, Katja, PORTNER, Hans O., ROBERTS, Debra et LEVIN, Lisa A., 2018. The IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. In : *2018 Ocean Sciences Meeting*. AGU.

PERRIN, J. et al. 2015. Block-by-Block and Layer-by-Layer Growth Modes in Coral Skeletons. *American Mineralogist*. Vol. 100, no 4.

RIGOT, Élise Rigot, 2023 [article à paraître]. « Le design fiction à l’épreuve des techno-utopies des corps », *Encyclopédie des objets impossibles* (dir. Irène Dunyach, Saul Pandelakis, Elise Rigot), éditions HYG

RIGOT, Elise et STRAYER, Jonathan Justin, 2020. Retour vers 1972: rouvrir les possibles pour le design et l’économie face aux effondrements. *Sciences du Design*. N° 11, p. 32–41.

RIGOT, Élise. 2021. Vampyroteuthis infernalis, le podcast comme format de recherche-création. *Flusser Studies*. No 31

RIGOT, Élise. 2020. Vampyroteuthis as a bioluminescent lighthouse to think under the livings. Some mutations: From 1981 to 1991. *Flusser Studies*

ROCO, Mihail C. et BAINBRIDGE, William Sims, 2003. Overview converging technologies for improving human performance. In : *Converging technologies for improving human performance*. Springer. pp. 1–27.

RUDDIMAN, William F., ELLIS, Erle C., KAPLAN, Jed O. et FULLER, Dorian Q., 2015. Defining the epoch we live in. *Science*. 2015. Vol. 348, n° 6230, pp. 38–39

ROSSI, Sergio et al. 2017. Marine Animal Forests: The Ecology of Benthic Biodiversity Hotspots. *Springer International Publishing*.

ROSSI, Sergio et Lorenzo BRAMANTI (éd.). 2020. Perspectives on the Marine Animal Forests of the World. *Springer International Publishing*.

SCHMITT, Stéphane. 2012 « François Jacob, une nouvelle vision de l’histoire des sciences. » In : *Une nouvelle connaissance du vivant : François Jacob, André Lwoff et Jacques Monod*. Paris : Éditions Rue d’Ulm.

SCHNEIDEWIND, Uwe, AUGENSTEIN, Karoline, STELZER, Franziska et WANNER, Matthias, 2018. Structure Matters: Real-World Laboratories as a New Type of Large-Scale Research Infrastructure: A Framework Inspired by Giddens’ Structuration Theory. *GAIA–Ecological Perspectives for Science and Society*. Vol. 27, n° 1.

STENGERS, Isabelle, 2015. L’insistance du possible. *Gestes spéculatifs*. 2015. p. 5–22

TIBLOUX Emmanuel et HUYGHE Pierre-Damien, 2008, « *Design, mœurs et morale* », *Azimuts n° 30*.

TORRI, Davide. 2020. The Coral Tree at the End of the World: Introductory Notes to Coralline Mythology and Folklore from the Indian and Pacific Oceans. In : *Perspectives on the Marine Animal Forests of the World*. Springer.

VERNANT, Denis, 1997. Du discours à l’action. Études pragmatiques, Presses universitaires de France, Paris.

VINCK, Dominique, 2009. De l’objet intermédiaire à l’objet-frontière. *Revue d’anthropologie des connaissances*. 2009. Vol. 3, n° 1, pp. 51–72.

ZHONG MENGUAL, Estelle et Baptiste MORIZOT. 2018. L’illisibilité du paysage. *Nouvelle revue d’esthétique*. no 2. p. 87–96.

Thèses

AÏT-TOUATI, Frédérique, 2008. Poétiques du discours cosmologique au XVIIe siècle. These de doctorat. Paris 4.

DUNNE, Anthony, 1997. *Herzian tales : an investigation into the critical potential of the electronic product as a post-optimal object*. Ph.D. Royal College of Art.

DESVIGNES, Emma, 2018. Dispositifs fluidiques 3D pour l’étude de la migration cellulaire des macrophages. Thèse de doctorat. Toulouse, INSA.

ELIAS, Marianne, 2021. *Microfluidique pour manipuler et étudier des membranes biomimétiques*. Thèse de doctorat. Toulouse 3.

FAVARD, Maxime, 2016. *Manières de faire le projet et manières de faire des mondes*. Thèse de doctorat. Strasbourg.

GINSBERG, Alexandra Daisy, 2018. *Better: navigating imaginaries in design and synthetic biology to question ‘better’*. Thèse de doctorat. Royal College of Art (United Kingdom)

HARAWAY, Donna Jeanne, 1972. *THE SEARCH FOR ORGANIZING RELATIONS: AN ORGANISMIC PARADIGM IN TWENTIETH-CENTURY DEVELOPMENTAL BIOLOGY*. Yale University. Thèse de Doctorat.

KERRIDGE, Tobie, 2015. *Designing Debate: The entanglement of speculative design and upstream engagement*. Thèse de doctorat. Goldsmiths, University of London.

MASURE, Anthony, 2014. *Le design des programmes : des façons de faire du numérique*.Thèse de doctorat. Paris 1.

LATOUR, Bruno, 1987. *La science en action: introduction à la sociologie des sciences*. La Découverte.

LOEVE, Sacha, 2009. *Le concept de technologie à l’échelle des molécules-machines. Philosophie des techniques à l’usage des citoyens du nanomonde*. Paris 10. Thèse de doctorat.

MOLLON, Maxime, 2019. *Design pour débattre : comment créer des artefacts dissonants, et leurs situations de communication, afin d'ouvrir des espaces de contestation mutuelle (agonisme) et d'expression des voix marginales (dissensus)*. Thèse de doctorat. Paris Sciences et Lettres.

MOURAT, Robin, 2020. *Le vacillement des formats : matérialité, écriture et enquête : le design des publications en Sciences Humaines et Sociales*. Thèse de doctorat. Rennes 2.

NOURY, Mathieu, 2014. *La nanosanté : perspective et enjeux sociologiques de l'application des nanotechnologies à la médecine*. Thèse de doctorat. Paris 10.

RENON, Anne-Lyse, 2016. *Design et esthétique dans les pratiques de la science*. Thèse de doctorat. Paris, EHESS.

VENZAC, Bastien, 2016. *Development of an integrated, portable DNA amplification and detection system based on electrohydrodynamic aggregation*. These de doctorat. Paris 6.

Conférences

BAUDOIN Lucie, RIGOT Élise, VIEU Christophe « Authentifier la bio-impression 3D », communication dans le cadre de la journée d'étude « Health & Care Technologies : La bio-impression 3D en ingénierie tissulaire. Défis et questions », dir. Cécile Legallais, Xavier Guchet, Costech et BMBI, Université de Technologie de Compiègne, 19 juin 2019

HUYGHE, Pierre-Damien. De la fiction à la distanciation, remarques sur le vraisemblable et l'étrange. Communication au colloque international CinéDesign 2, Université Toulouse Jean-Jaurès. Cinéma-design [en ligne]. Novembre 2018. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <http://www.cinema-design.fr/cinedesign-2-le-colloque-2018>

INGOLD, Tim, 2014. Design anthropology is not, and cannot be, ethnography. Conférence. University of Aberdeen.

MASURE, Anthony. Le design au risque de l'archive. Site d'Anthony mesure [en ligne]. Communication dans le cadre des journées d'études « Documenter la production artistique : données, dispositifs, usages ». Nice, Villa Arson. 4-6 juin 2018. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <https://www.anthonymasure.com/conferences/2018-06-design-risque-archive-nice>

MASURE, Anthony et Élise RIGOT. *Sonder les abysses : vers un monde vampyroteuthique*. Communication lors de la journée d'étude « Sonder les dispositifs numériques. Pratiques archéologiques en art et en design » [en ligne]. Dir. Vincent Ciciliato, Julie Martin, Anthony Measure, Carole Nosella. Université Toulouse — Jean Jaurès, laboratoires CIEREC & LLA-CRÉATIS, 2019. [consulté le 1er avril 2022] Disponibilité : <http://www.anthonymasure.com/conferences/2019-10-sonder-abysses-monde-vampyroteuthique-toulouse>

PANDELAKIS, Saul. 2018. Queeriser la voix du maître : tactiques pour penser Alexa, Siri, & co. *JE Vox Machines* (UT2J).

RIGOT, Élise, 2018. « Nano f(r)ictions, entre imaginaires et poussées techniques, le design comme critique », conférence au colloque international « Cinéma-Design », Université Toulouse – Jean Jaurès, dir. Pia Pandelakis et Irène Dunyach.

RIGOT, Élise. *Le Vampyroteuthis infernalis*. Communication au cycle de séminaire Temps réel [en ligne]. École supérieure d'art d'Aix-en-Provence, jeudi 24 octobre 2019 [consulté le 1er avril 2022]. Disponibilité : <http://eliserigot.com/content/Vampyroteuthis.html#/>

VIELZEUF, Daniel et Lorenzo BRAMANTI. De Henri de Lacaze-Duthiers à nos connaissances actuelles sur le Corail Rouge. Conférence grand public pour le bicentenaire de la naissance de Henri Lacaze-Duthiers à l'Observatoire océanologique de Banyuls-sur-mer. 2021.

Doit-on faire la guerre aux virus ? Sortir les microbes de la dualité, 2020. *SoScience*. [en ligne]. [Consulté le 17 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.soscienc.org/ressources-open-innovation/doi-on-faire-la-guerre-aux-virus-sortir-les-microbes-de-la-dualite/>

Presses

HARAWAY, Donna : « Avec le terme chthulucène, je voulais que l'oreille entende le son des terrestres », 2019. *Le Monde.fr*. [en ligne]. [Consulté le 7 juin 2022]. Disponible à l'adresse : https://www.lemonde.fr/idees/article/2019/01/31/donna-haraway-la-pensee-chthulu_5417206_3232.html

SOTTASS, Ettore: « Tout est design, c'est une fatalité », 2005. *Le Monde.fr*. [en ligne]. [Consulté le 24 mai 2022]. Disponible à l'adresse : https://www.lemonde.fr/culture/article/2005/08/29/ettore-sottsass-tout-est-design-c-est-une-fatalite_683436_3246.html

LORDON, Frédéric. Pleurnicher le Vivant. Blog du Monde Diplomatique [en ligne]. 29 septembre 2021. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <https://blog.monedediplo.net/pleurnicher-le-vivant>

SUSSAN, Rémi. Aux origines de CRISPR. InternetActu [en ligne]. 2018. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <http://www.internetactu.net/2018/02/08/aux-origines-de-crispr>.

LA PORTE (de), Xavier. Programmer ou être programmé? InternetActu [en ligne]. Novembre 2010. [consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <http://www.internetactu.net/2010/11/02/programmer-ou-etre-programme/>

MARGARET Thatcher, 1980. “*Speech to Conservative Women's Conference*”. [en ligne]. [Consulté le 17 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.margaretthatcher.org/>.

Sites web

Enseignement 2017-2018 — La connaissance sensible : arts, sciences et lettres. II : HABU, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 20 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://enseignements-2017.ehess.fr/2017/ue/2024/>

Texte de présentation de la Journée d'étude « Savoirs Sensibles : esthétique et anthropologie » organisé par le laboratoire de recherche en art et design de l'École des Arts Décoratifs de Paris EnsadLab » Journée d'étude «Savoirs Sensibles : esthétique et anthropologie », 2021. [en ligne]. [Consulté le 20 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.ensadlab.fr/fr/francais-journee-detude-savoirs-sensibles-esthetique-et-anthropologie/>

Dunne & Raby, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 23 mai 2022]. Disponible à l'adresse : <http://dunneandraby.co.uk/content/projects>

Digestive, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 24 mai 2022]. Disponible à l'adresse : <https://studiotriple.fr/travaux/typefaces/digestive/>

NaN Tragedy, [sans date]. *NaN*. [en ligne]. [Consulté le 24 mai 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.nan.xyz/fonts/nan-tragedy/>

Latitude, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 18 juin 2022]. Disponible à l'adresse : <https://velvetyne.fr/degheest/latitude.html>

Avara, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 24 mai 2022]. Disponible à l'adresse : <https://velvetyne.fr/fonts/avara/>

ATALA, Anthony, *Printing a human kidney*. [en ligne]. [Consulté le 4 mai 2022]. Disponible à l'adresse: https://www.ted.com/talks/anthony_atala_printing_a_human_kidney

Ethique au LAAS | Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 28 avril 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.laas.fr/public/fr/ethique-au-laas>

Bio Is The New Black, extrait de *Danser parmi les fossiles*, « HeLA, Elle l'a » mémoire de fin d'étude à l'ENSCI Les Ateliers, 2017, Marie-Sarah Adenis[en ligne]. [Consulté le 24 mai 2022]. Disponible à l'adresse : <https://cpu.dascritch.net/post/2020/01/23/Standard-%3A-Henrietta-Lacks%2C-HeLa%2C-elle-l-a>

CODEX - Le tournant 3D de la biologie - Interview de Laurent Malaquin Directeur de la Plate-forme de Bio-Impression du LAAS-CNRS, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 12 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://codex.laas.fr/detailArticle/9/>,

Engineering Materials for Regenerative Medicine: A time issue, [sans date]. *Materials and Time*. [en ligne]. [Consulté le 2 mai 2022]. Disponible à l'adresse: <https://materials.hypotheses.org/engineering-materials-for-regenerative-medicine-a-time-issue>

Microphysiological systems: From organoids to organs-on-chip - Sciencesconf.org, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 23 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://microphysio20.sciencesconf.org/>

Human Organs-on-Chips, 2014. *Wyss Institute*. [en ligne]. [Consulté le 2 mai 2022]. Disponible à l'adresse: <https://wyss.harvard.edu/technology/human-organs-on-chips/>

Science ouverte | CNRS, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 15 mai 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/science-ouverte>

IBM Plex, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 23 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.ibm.com/plex/concept/www.ibm.com/plex>

Tracts — GALLIMARD — Site Gallimard, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 28 avril 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.gallimard.fr/Catalogue/GALLIMARD/Tracts#>

Ovide, [sans date]. *Ovide*. [en ligne]. [Consulté le 23 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://peritext.github.io/ovide/>

Liste des termes définis dans le Codex de la bio-impression 3D en ligne [Consulté le 9 mai 2022]. Disponible à l'adresse : <https://codex.laas.fr/listTerme/>

Organs-on-a-Chip | All Journal Issues | ScienceDirect.com by Elsevier, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 2 mai 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.sciencedirect.com/journal/organs-on-a-chip/issues>

Novel 4D printing method blossoms from botanical inspiration, 2016. *Wyss Institute*. [en ligne]. [Consulté le 27 avril 2022]. Disponible à l'adresse: <https://wyss.harvard.edu/news/novel-4d-printing-method/>

Reseau fabrication additive du CNRS, [sans date]. *Reseau fabrication additive du CNRS*. [en ligne]. [Consulté le 27 avril 2022]. Disponible à l'adresse: <https://rfacnrs.fr/>

Abécédaire des mondes lettrés, [sans date]. *Abécédaire des mondes lettrés*. [en ligne]. [Consulté le 13 mai 2022]. Disponible à l'adresse: <http://abecedaire.enssib.fr/sky>

Omeka, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 12 mai 2022]. Disponible à l'adresse: <https://omeka.org/>

Appel à projets | Fonds national pour la science ouverte (FNSO), [sans date]. *Science Ouverte*. [en ligne]. [Consulté le 13 mai 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.science-ouverte.cnrs.fr/actualite/appel-a-projets-fonds-national-pour-la-science-ouverte/>

Read the Declaration, [sans date]. *DORA*. [en ligne]. [Consulté le 22 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://sfdora.org/read/>

Réparer l'Humain | Groupe de recherche national (GDR), [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 12 mai 2022]. Disponible à l'adresse: <https://reparer-humain.insa-lyon.eu/>

IPCC WGI Interactive Atlas. Site de l'Atlas interactif de l'IPCC [en ligne]. [Consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

LOWER, Edited by Brian H., SHAUL, Travis R., SHAUL, Kylieenne A. et WEAVER, and Ella M., [sans date]. 4.5 Red Sea Coral Reeds Survive Amidst Climate Change. [en ligne]. [Consulté le 24 juin 2022]. Disponible à l’adresse: <https://ohiostate.pressbooks.pub/sciencebitesvolume2/chapter/4-5-red-sea-coral-reeds-survive-amidst-climate-change/>**Book Title: Environmental ScienceBites Volume 2**

IPCC. Special Report: Global Warming of 1.5 °C. Site de l’IPCC [en ligne]. [Consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <https://www.ipcc.ch/sr15/>

Ban KI-MOON et Hindou OUMAROU IBRAHIM, in : OXFAM. Combattre les inégalités des émissions de CO2 [en ligne]. Septembre 2020. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <https://oxfamlibrary.openrepository.com/bitstream/handle/10546/621052/mb-confronting-carbon-inequality-210920-fr.pdf>

KWET, Michael. Digital colonialism: The Evolution of US empire. Site de Longreads [en ligne]. Mars 2021. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <https://longreads.tni.org/fr/digital-colonialism-the-evolution-of-us-empire>

Templates (programmation). Wikipédia [en ligne]. Dernière modification mars 2021. [consulté le 14 avril 2021]. Disponibilité : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Template_\(programmation\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Template_(programmation))

3DHOP, 2022. [en ligne]. JavaScript. Visual Computing Lab - ISTI - CNR. [Consulté le 6 juin 2022]. Disponible à l’adresse: <https://github.com/cnr-isti-vclab/3DHOP/blob/a8c145dcd575df5291e073a377d942ff77c34901/LICENSE.txt>

License BY-CC-ND 2.0 FR. Creative Commons [en ligne]. [consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr/>

Dive Into Stories. Site de Ocean Archive [en ligne]. [consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <https://ocean-archive.org/>

Search Projects | JOGL, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 6 juin 2022]. Disponible à l’adresse: <https://app.jogl.io/search/projects>

Coral Trait Database. CORAL TRAITS [en ligne]. [consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <https://coraltraits.org/>

Nouveau Bauhaus européen. Europa.eu [en ligne]. [consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : https://europa.eu/new-european-bauhaus/index_fr

AUHAUS-SEAS. Manifeste [en ligne]. [consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <https://bauhaus-seas.eu/#manifesto>

Flusser Studies [consulté le 17 avril 2022]. Disponibilité : <http://www.flusserstudies.net/flusser-studies>

Vilém Flusser Archiv [consulté le 17 avril 2022]. Disponibilité : <https://www.flusser-archive.org/>

The Process of Digestive, [sans date]. OH no Type Company [en ligne]. [Consulté le 25 avril 2022]. Disponibilité : <https://ohnotype.co/blog/the-process-of-digestive>

Lien du podcast avec la documentation [en ligne] [consulté le 1er avril 2022]. Disponibilité : <https://cpu.dascritch.net/post/2020/05/21/Ex0138-Vampyroteuthis-infernalis%2C-%C3%A9pist%C3%A9mologie-fabulatoire>

Site d’Élise Rigot [en ligne]. [Consulté le 7 avril 2022]. Disponibilité : <https://eliserigot.com/content/Bio4/index.html>

Gauthier Roussilhe, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 17 juin 2022]. Disponible à l’adresse: <https://gauthierroussilhe.com/post/explication-empreinte.html>

Marie-Sarah Adenis, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 16 juin 2022]. Disponible à l’adresse: <https://mariesarahadenis.com>

Documents audiovisuels

Bio is the new Black [en ligne], CPU. [Consulté le 1er avril 2022]. Disponibilité : <https://cpu.dascritch.net/serie/Bio%20is%20the%20new%20Black>

Black Mirror [TV] 2011 - 2019. créé par Charlie Brooker. Diffusé sur Channel 4 (2011-2014) puis en streaming sur Netflix 2016 - 2019.

GRANIER, Kalie. MEDUSA – Fusing Contemporary Art & Science. Site de Kalie Granier [en ligne]. [consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <https://kaliegranier.com/work/medusa/>

VARTANIAN, Hrag. Talking Digital Colonialism With Morehshin Allahyari. Hyperallergic [en ligne]. Juin 2019. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <https://hyperallergic.com/504461/talking-digital-colonialism-with-morehshin-allahyari/>

RIGOT Élise, 2020 « Bio Is The New Black #3 - dialogue entre Anthony Masure & Xavier Guchet - des designers passeur.se.s », radio FMR, CPU.

RIGOT, Élise, 2020. « Bio Is the New Black #5 - dialogues entre Arthur-Donald Bouillé, Lisa Dehove & Xavier Montoy. Partie 1 : Le concours iGEM vu et vécu par les designers », radio FMR, CPU.

RIGOT, Élise, 2020 « Bio Is The New Black #6 - Entretien avec Anne-Lyse Renon, Design graphique dans les pratiques de la science », radio FMR, CPU.

RIGOT Élise, 200 « Bio Is The New Black #7 - Entretien avec Marguerite Benony, », radio FMR, CPU.

Corallum Fabrica on SideQuest — Oculus Quest Games & Apps including AppLab Games (Oculus App Lab), [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 6 juin 2022]. Disponible à l’adresse : <https://sidequestvr.com/app/4535/corallum-fabrica>

P-Node [en ligne]. [Consulté le 1er avril 2022]. Disponibilité : <https://p-node.org/>

HASEGAWA, Ai. Human × Shark. Site d’Ai Hasegawa [en ligne]. 2017. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <https://aihasegawa.info/human-x-shark>

BENQUÉ, David. The New Weatherman’s cookbook [Publication about fictional activist group The New Weathermen, including their manifesto, propaganda posters, device blueprints, research, and images], visuels imprimés. 2014. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <https://davidbenque.com/projects/the-new-weathermans-cookbook>

BARDINI, Thierry et al. 2015. Your Synthetic Future (at the speed of light). Installation interactive. Helsinki : galerie Lasipalatsi.

CorallumFabrica, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 16 juin 2022]. Disponible à l’adresse: <https://corallumfabrica.laas.fr/corail/18>

Autres

BARTHÉLÉMY, Jean-Hugues, 2015. Glossaire Simondon : les 50 grandes entrées dans l’œuvre. *Appareil*. N° 16.

BEECHER, Catharine Esther et Harriet BEECHER STOWE. 1869. *The American Woman’s Home: or, Principles of Domestic Science; being a guide to the formation and maintenance of economical, healthful, beautiful, and Christian homes*. New York : J. B. Ford.

BEHRENS William, MEADOWS Donella H., MEADOWS Dennis L. et RANDERS Jørgen, 1972, « The limits to growth », New York

BERT, Jean-François. « Archive », entrée de l’Abécédaire des mondes lettrés. *ENSSIB* [en ligne]. Mars 2017. [consulté le 14 avril 2022] Disponibilité : <http://abecedaire.enssib.fr/a/archive/notices/88>

CENTRE GEORGES POMPIDOU et Marie-Ange BRAYER, 2017. *Imprimer le monde*. Catalogue d’exposition. Orléans : HYX.

CORNU, Marie, ORSI, Fabienne et ROCHFELD, Judith, 2021. *Dictionnaire des biens communs*. Presses universitaires de France.

COZZOLINO Francesca. Notes personnelles sur la notion de savoir sensible. 2020. [en ligne]. [Consulté le 20 juin 2022]. Disponible à l’adresse : <https://plateformeartdesignsociete.ensadlab.fr/wp-content/uploads/2020/09/2020-note-savoir-sensible-Cozzolino.pdf>

DENÉCHAUD, David et al. Glossaire : Introduction aux humanités numériques. Huma-num [en ligne]. 2020. [consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <https://digithum.huma-num.fr/ressources/glossaire/>

FLUSSER, Vilém. *Exil et créativité*. [essai en français non publié] Vilém Flusser Archive, Berlin. Ref. no : 2 945.

FLUSSER, Vilém. *Considérations écologiques*. [essai en français non publié] Berlin : Vilém Flusser Archive. Ref. no : 2 935.

FLUSSER, Vilém. 1978 *Orthonature, Paranature. Institut de recherche paranaturaliste*. [édition limitée]. Berlin : Vilém Flusser Archive.

FLUSSER, Vilém. *Le vivant et l’artificiel* (Pour Louis Bec). [essai] Berlin : Vilém Flusser Archive, 1984. Ref. no : 3 054.

FLUSSER. Vilém. *Deux lectures du monde*. [essai en français] Berlin : Vilém Flusser Archive. Ref. no : 2942.

FLUSSER, Vilém. *La crise de la science*. [essai en français non publié] Berlin : Vilém Flusser Archive, 1978.

FLUSSER, Vilém. *Toward a map of the body*. [essai] Berlin : Vilém Flusser Archive. Ref. no : 2 800.

FLUSSER, Vilém. *Pilpul*, 1981, dans : PEDROSO, Anderson Antonio, 2020. *Vilém Flusser : de la philosophie de la photographie à l’univers des images techniques*. Thèse de doctorat en histoire de l’art. Paris : Sorbonne université.

GIEC, 2014: Changements climatiques, Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d’évaluation du Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat [Sous la direction de l’équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p

JOMARD, Edme-François et Pierre JACOTIN. *Description de l’Égypte, ou Recueil des observations et recherches qui ont été faites en Égypte pendant l’expédition de l’armée française*. Antiquités-Descriptions. Paris : Imprimerie impériale, 1818.

PANDELAKIS, Saul. 2018. « Prendre soin, prendre pouvoir : design en cuisine & empowerment » tract de recherche auto-publié.

Table des figures

Figure 1 — : différentes étapes du projet d'impression 3D de biomatériaux pour le projet Aguahoja **p. 63**

Figure 2 — : Sujets d'étude de l'équipe ELiA tels que présenté sur le site Web officiel du laboratoire **p. 64**

Figure 3 — : Preuve de concept du «sliding wall» imprimé en 3D et démonstration de la diffusion du fluide entre deux chambres microfluidiques. Crédits : Bastien Venzac **p. 70**

Figure 4 — : Schéma de la «tgvette» représentant l'injection des sphéroïdes dans la tigette. Crédits : Tiphaine Matéo **p. 71**

Figure 5 — : schématisation de la méthodologie de recherche-crétion en design : modèle «creasearch» au sein de l'ouvrage Recherche-crétion en design : modèles pour une pratique expérimentale dirigée par Lysianne Lécho-Hirt. (p. 76) Les parties en gras insistent sur le caractère itératif de la recherche-crétion en design. **p. 90**

Figure 6 — : chronologie simplifiée des différents projets d'étude qui constituent cette thèse. Le début d'une phase correspond à un événement scientifique (journée d'étude, publication, conférence). **p. 94**

Figure 7 — : palette des couleurs utilisées pour la mise en page de la thèse, Irène Dunyach **p. 96**

Figure 8 — : choix des polices de caractères et explicitation des différents niveaux de lecture proposés dans les choix de mise en page **p. 97**

Figure 9 — : A/photographie des gestes de culture cellulaire sous poste de sécurité microbiologique auprès de Marina Le Lamer (2014) et B/bio-impression 3D via Cellink BioX 3 D Bioprinter Crédits image : Cellink **p. 110**

Figure 10 — : Différentes couches techniques impliquées dans la bio-impression 3D. Il faut noter que ces différentes couches sont elles-mêmes épaisses et ont également leur propre archéologie ainsi que l'illustre la figure suivante. En orange les domaines de la biologie, en bleu ceux de l'ingénierie. **p. 113**

Figure 11 — : illustration (approximative) des couches contenues dans la fabrication additive. **p. 114**

Figure 12 — : Illustration initialement proposée pour l'article «Interfacing cells with microengineered scaffolds for neural tissue reconstruction» publié au journal Brain Research Bulletin (vol. 152) par Angelo Accardo, Carla Cirillo, Sarah Lionnet, Christophe Vieu et Isabelle Loubinoux, en 2019, p. 202 — 211 **p. 116**

Figure 13 — : Croquis de recherche pour la review «Interfacing cells with microengineered scaffolds for neural tissue reconstruction» publié au journal Brain Research Bulletin (vol. 152) par Angelo Accardo, Carla Cirillo, Sarah Lionnet, Christophe Vieu et Isabelle Loubinoux, en 2019, p. 202 — 211 **p. 117**

Figure 14 — : Illustration d'une approche bottom-up pour implant neuronal issu d'un travail de graphisme pour la review «Interfacing cells with microengineered scaffolds for neural tissue reconstruction» publié au journal Brain Research Bulletin (vol. 152) par Angelo Accardo, Carla Cirillo, Sarah Lionnet, Christophe Vieu et Isabelle Loubinoux, en 2019, p. 202 — 211 **p. 118**

Figure 15 — : Illustration d'une colonisation de scaffold pour implant neuronal issu d'un travail de graphisme pour la review Angelo Accardo, Carla Cirillo, Sarah Lionnet, Christophe Vieu et Isabelle Loubinoux, «Interfacing cells with microengineered scaffolds for neural tissue reconstruction», Brain Research Bulletin, vol. 152, 2019, p. 202 — 211 **p. 119**

Figure 16 — : série de trois photographies des notes dessinées lors de la soutenance de thèse de DESVIGNES, Emma, 2018. Dispositifs fluidiques 3D pour l'étude de la migration cellulaire des macrophages. Thèse de doctorat. Toulouse, INSA. **p. 121**

Figure 17 — : Imagerie d'une structure imprimée par nanoscribe colonisé par des macrophages obtenus par microscope électronique à balayage (l'écart entre chaque structure est d'environ 10 microns), les macrophages se trouvent entre les structures dont on peut percevoir des irrégularités par rapport au modèle 3D parfaitement orthogonal, LAAS-CNRS, 2018 **p. 122**

Figure 18 — : Détail d'une structure pour étude de guides neuronaux imprimée avec la Dilaze par Benjamin Pardo **p. 123**

Figure 19 — : «organe sur puce» du Wyss Institute. Crédits : Wyss Institute at Harvard University **p. 142**

Figure 20 — : vue de l'exposition This Is for Everyone: Design Experiments for the Common Good (en bas à droite : on voit les puces du Wyss Institute) **p. 143**

Figure 21 — : A/schéma explicatif d'un «humain sur puce» extrait d'une vidéo explicative Human Organs-on-Chips, 2014. Wyss Institute. [en ligne]. [Consulté le 2 mai 2022]. Disponible à l'adresse : [https://wyss.harvard.edu/technology/human-organs-on-chips/B/Linked organ chips Vitruvian man illustration](https://wyss.harvard.edu/technology/human-organs-on-chips/B/Linked%20organ%20chips%20Vitruvian%20man%20illustration). Credit: Wyss Institute with adaptation by Daniel Power. **p. 144**

Figure 22 — : Recherches pour un jeu de cartes autour des termes (carte glossaire), pratiques (carte inspiration), récits (carte imaginaire), stratégie de conception, valeurs de la bio-impression 3D **p. 155**

Figure 23 — : Photographie d'une séance de travail avec un test du jeu de cartes, de gauche à droite : Lucie Baudouin, Fabien Mesnilgrete, Laurent Malaquin et Christophe Vieu **p. 156**

Figure 24 — : Dos du poster pour un glossaire sur la bio-impression 3D réalisé dans le cadre de la journée d'étude «Health & Care Technologies : La bio-impression 3D en ingénierie tissulaire. Défis et questions», dir. Cécile Legallais, Xavier Guchet, Costech et BMBI, Université de Technologie de Compiègne, 19 juin 2019 **p. 157**

Figure 25 — : Intérieur du poster pour un glossaire sur la bio-impression 3D réalisé dans le cadre de la journée d'étude «Health & Care Technologies : La bio-impression 3D en ingénierie tissulaire. Défis et questions», dir. Cécile Legallais, Xavier Guchet, Costech et BMBI, Université de Technologie de Compiègne, 19 juin 2019 **p. 158**

Figure 26 — : Différents objets intermédiaires créés durant le processus du projet Codex de la bio-impression 3D **p. 159**

Figure 27 — : Frise temporelle de la recherche-crétion du Codex avec les différents objets intermédiaires **p. 161**

Figure 28 — : Représentation schématique des modes de visualisations et de contributions permis par le Codex. **p. 162**

Figure 29 — : Illustration de la connexion de termes de la base de données en visualisation sur navigateur **p. 163**

Figure 30 — : Poster présenté à la journée d'étude «From 3D culture to organoid» dir. Joëlle Amédée, Jean-Luc Galzi, Jérôme Sohler, Corinne Sébastiani, Faculté de médecine, Sorbonne Université, 105 Bld de l'Hôpital 75013 Paris, 2 décembre 2019 par Élise Rigot, Lucie Baudouin, Laurent Malaquin, Christophe Vieu, «About the words in the field of tissue models» **p. 164**

Figure 31 — : Logo du Codex de la bio-impression 3D, réalisé par l'agence 221B **p. 167**

Figure 32 — : Captures d'écran explicitant la fonction web-to-print pour imprimer les contributions et/ou les télécharger en format .pdf. Un encadré souligne la licence utilisée CC-BY-NC-ND 4.0 signifiant : Attribution — Pas d'Utilisation Commerciale — Pas de Modification **p. 168**

Figure 33 — : Capture écran explicitant la fonction «ajouter à mon codex» et suggestion d'une amélioration pour pouvoir imprimer son Codex personnel directement depuis les contributions gardées dans son Codex personnel (sorte de fonction «favoris») **p. 169**

Figure 34 — : Schéma du processus d'évaluation et de validation d'une contribution au Codex de la bio-impression 3D. **p. 169**

Figure 35 — : Capture d'écran de la page actuelle de la page contribution libre, à partir d'incitation visuelle afin d'ouvrir la possibilité de modes d'écriture variés dans la recherche **p. 185**

Figure 36 — : Liste des termes définis dans le Codex de la bio-impression 3D en ligne] [Consulté le 9 mai 2022]. Disponible à l'adresse : <https://codex.laas.fr/list-Terme/> **p. 186**

Figure 37 — : Schéma des typologies de contributions dans l'onglet «Définitions» du Codex de la bio-impression 3D en date du (avril 2022) **p. 188**

Figure 38 — : Illustration of different conception of time through scaffold engineering strategy. A : Informed matter & 4D printing B: Strategy of disappearance C: Strategy of discretion D: Adaptative Material **p. 198**

Figure 39 — : « This series of images shows the transformation of a 4D-printed hydrogel composite structure after its submersion in water. Credit: Wyss Institute at Harvard University » **p. 200**

Figure 40 — : Légende de la figure « (a) An overall view of the movable 2mm long squid with flexible tentacles with gecko-like suction cups held together by 10µm pins (b). Inset in part (a) shows 3D model used for fabrication. (c) 10mm squid printed using the same model, but stretched via the software 4.5 times. Inset shows enhanced view of tentacles proving very good manufacturing quality. (d) Shows floating of squid tentacles after they are moved by meniscus formed in the thin layer of liquid. Working fields of NA=1.4 and NA=0.45 objectives (side length - 125µm and 350µm respectively) are also shown in part (b,d) as white rectangles. It is evident that a single segment of tentacle barely fits in them for both small and big squid. » **p. 201**

Figure 41 — : Scène de reconstruction de l'être suprême, la création de Leeloo, dans Le Cinquième Élément (Besson 1997) **p. 207**

Figure 42 — : Illustration du prototype diégétique d'un réplicateur à ADN numérique de la série Black Mirror dans l'épisode USS Callister et représentation de ces imaginaires imbriqués. **p. 208**

Figure 43 — : James Auger, 2001, The Audio Tooth Implant **p. 212**

Figure 44 — : Takram, 2012, Shenu hydrolemic system **p. 213**

Figure 45 — : Dunne, Anthony et Raby Fiona. 2014. United micro Kingdom : Lives and Landscapes. Illustrations de Miguel Angel Valdiva, Anarcho-evolutionist national sport. **p. 216**

Figure 46 : capture d'écran du site Abécédaire des mondes lettrés sur la notice « Anthropologie des savoirs » l'abécédaire fonctionne en cartographie de terme, à la manière de cartographie céleste (ici le terme Anthropologie des savoirs est connecté à : Anthropologie, Disciplines, Corps, Marges savantes). **p. 239**

Figure 47 — : Captures d'écran de l'interface du Codex avec menu déroulant à droite. **p. 243**

Figure 47 — : extrait du rapport de synthèse de 2014 du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat **p. 253**

Figure 48 — LACAZE-DUTHIERS (de), Henri. Histoire naturelle du corail : organisation, reproduction, pêche en Algérie, industrie et commerce, Paris : J.-B. Baillière et Fils, 1864. Planche 2, p. 349. **p. 258**

Figure 49 — Extrait de l'article « Designing a Blueprint for Coral Reef Survival » présentant les actions potentielles pour concevoir un plan dédié à la survie des récifs coralliens. **p. 269**

Figure 50 — Frise chronologique du projet corail. **p. 271**

Figure 51 — Compte-rendu graphique de l'atelier de travail du 20 janvier 2020. **p. 272**

Figure 52 — Projection et extraits d'un stack d'images obtenu par tomographie à rayons X à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse, à partir d'un échantillon de squelette de l'espèce de corail profond *Lophelia pertusa* donné par Franck Lartaud. **p. 275**

Figure 53 — Extrait d'un stack (pile d'images) du scan d'un squelette de profondeur de l'espèce *Madrepora oculata* réalisé par tomographie à rayons X. Ce procédé permet de reconstituer un modèle 3D à haute résolution. Ces images ont été réalisées à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT). Le spécimen appartient à la collection de travail de Franck Lartaud (LECOB). **p. 276**

Figure 54 — Vue du squelette obtenu par projection de *Dactylotrachus cervicornis* (MNHN-IK-2009-1863) (Moseley, 1880) réalisée par tomographie à rayons X. Ce procédé permet de reconstituer un modèle 3D à haute résolution. Ces images ont été réalisées à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT). Corail issu de la collection patrimoniale de coraux Scléactiniaires de la zoothèque du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris (MNHN). **p. 277**

Figure 55 — Extrait d'un stack du scan du squelette de *Stephanocenia michelini* (Milne Edwards & Haime, 1848) réalisé par tomographie à rayons X. Ce procédé permet de reconstituer un modèle 3D à haute résolution. Ces images ont été réalisées à l'Institut de Mécanique des

Fluides de Toulouse (IMFT). Corail issu de la collection patrimoniale de coraux Scléactiniaires de la zoothèque du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris (MNHN). **p. 278**

Figure 56 — Vue du squelette par projection de *Mycedium okeni* (Milne Edwards & Haime, 1851) accepté comme *Mycedium elephantotus* (Pallas, 1766) réalisée par tomographie à rayons X. Ce procédé permet de reconstituer un modèle 3D à haute résolution. Ces images ont été réalisées à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT). Le spécimen appartenait à la collection Milne Edwards, c'est un fragment du type. Collection patrimoniale de coraux Scléactiniaires de la zoothèque du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris (MNHN). **p. 279**

Figure 57 — Schéma récapitulatif de la technique de tomographie à rayons X, d'après une présentation de Sarah Blosse, Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse. Crédits : Sarah Blosse. **p. 280**

Figure 58 — Photographie prise à la zoothèque du MNHN d'un type de l'espèce de corail *Hydnophora lobata* (Lamarck, 1816) ramené lors de la campagne d'Égypte menée par Bonaparte et décrite par le zoologiste Lamarck. **p. 308**

Figure 59 — Extrait d'une planche d'illustration de coraux retrouvés en Égypte dans l'ouvrage de JOMARD, Edme-François et Pierre JACOTIN, Description de l'Égypte. **p. 309**

Figure 60 — Photographie de l'écran du moniteur de l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse avec le logiciel d'acquisition de scans en tomographie à rayons X X-Act. Sur la partie gauche de l'écran, on peut choisir plusieurs paramètres d'acquisition tels que : la focale, la puissance du tube, le voltage du tube, le courant du tube, la fréquence de trame, le nombre d'images nécessaires à la calibration des noirs et des blancs et le nombre d'images nécessaires pour chaque scan. Ces différents paramètres sont choisis en adéquation avec le matériau de l'échantillon, sa taille et la résolution souhaitée, afin d'obtenir un spectre d'information étendu, qui se traduit ici par l'histogramme visible sur la partie basse de l'écran. **p. 313**

Figure 61 — Extrait d'un stack d'image à différentes résolutions montrant l'intérieur d'un corail de l'espèce *Porites alveolata*. Cette espèce de corail croît avec des microperforations, ce qui fait que l'intérieur de son squelette est entièrement poreux. On observe difficilement les formes de cette porosité malgré l'utilisation d'un tomographe à rayon X avec une source microrésolue. **p. 316**

Figure 62 — Capture d'écran de l'objet 3D obtenu par tomographie à rayons X d'un détail de surface du squelette *Porites alveolata*. **p. 317**

Figure 63 — Photogramme d'une vidéo à l'intérieur d'une branche de *Corallium rubrum*, un corail rouge de Méditerranée. Le scan de la branche de corail rouge a été obtenu en tomographie à rayons X à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse. Prêt de l'échantillon par Lorenzo Bramanti (LECOB, CNRS, Banyuls-sur-Mer). Travail réalisé pour le film d'art Médusa (4 minutes, 2022) dirigé et réalisé par Kalie Granier. **p. 318**

Figure 64 — Morehshin Allahyari. A. Photographie d'une sculpture produite en SLA de la série Material Speculation B. et C. : Captures d'écrans du travail d'enquête qui accompagne l'œuvre présente physiquement sous forme numérique sur la clef USB et sur le site web de l'artiste. B. Arborescences des fichiers C. Capture d'écran d'une vidéo présentant un groupe d'hommes détruisant une statue au Musée archéologique à Mossoul. **p. 320**

Figure 65 — Schéma de principe des contributeurs multiples pour les interfaces de saisies de la base de données. **p. 327**

Figure 66 — Capture d'écran de la page de présentation de l'expérience A journey into animal forest sur le site web SideQuest. Voir Corallium Fabrica on SideQuest — Oculus Quest Games & Apps including AppLab Games (Oculus App Lab), [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 6 juin 2022]. Disponible à l'adresse : <https://sidequestvr.com/app/4535/corallium-fabrica> **p. 332**

Figure 67 — Capture d'écran de l'expérience Treehugger : Wawona, Marshmallow Laser Feast (2016). **p. 333**

Figure 68 — A. Visualisation d'un squelette de corail du spécimen MNHN-IK-2012-11430 *Caryophyllia cyathus* (Ellis & Solander, 1786) avec un rendu surfacique « opaque » B. Avec un rendu en « transparence » C. Pictogrammes présentant les divers gestes proposés pour interagir avec les squelettes de coraux. D. Menu allégé finalement retenu. **p. 334**

Figure 69 — Premier dessin de page d'accueil pour la plateforme, on voit apparaître un onglet « blog ». **p. 336**

Figure 70 — Maquette des fiches coraux. **p. 337**

Figure 71 — Maquette du menu Agora avec recherche par filtres et visualisation des différents onglets : Home, 3 D Library, VR Library, Agora et About us. **p. 338**

Figure 72 — Exemple d'un billet publié à partir de l'onglet Agora du site *Corallum Fabrica*. **p. 339**

Figure 73 — Maquette de principe pour présenter les informations sur le futur site *Corallum Fabrica* afin de dialoguer entre l'agence de graphisme 221B et les ingénieurs du service informatique du LAAS-CNRS. **p. 340**

Figure 74 — Capture d'écran d'une des « fiches corail » du site *Corallum Fabrica* dans la partie « 3D library » du site web. **p. 340**

Figure 75 — Schéma relationnel de la base de données *Corallum Fabrica* réalisé par l'équipe informatique du LAAS-CNRS **p. 341**

Figure 76 — Capture d'écran de l'interface de visualisation 3D sur une « fiche corail » du spécimen MNHN-IK-2009-1756 *Anthemiphyllia spinifera* Cairns, 1999 sur le site *Corallum Fabrica*. **p. 342**

Figure 77 — Schéma représentant les deux temps du projet *Corallum Fabrica*. Temps 1 : collaboration. Temps 2 : projets personnels. **p. 348**

Figure 78 — Schéma représentant l'essaimage que permet le projet *Corallum Fabrica*. **p. 349**

Figure 79 — Archive vivante, Fragments coralliens : *Caryophyllia clavus* Scacchi, 1835 (MNHN) mai 2021, impression 3D, grès, pièce réalisée au 8Fablab de Crest, dimensions 48×47×22 cm. **p. 351**

Figure 80 — Capture d'écran de certains stacks d'images d'une loge d'un spécimen de l'espèce *Madrepora oculata*. **p. 353**

Figure 81 — Photogramme de la vidéo artistique L'expérience du tomographe (10 h 6 minutes). La vidéo fait s'enchaîner sur fond noir des coupes de dix fragments de squelettes de coraux tomographiés par rayons X à l'IMFT. **p. 354**

Figure 82 — Sculpture en cours d'impression : Archive vivante. Partie 1 : Fragments coralliens — Série *Corallium rubrum*. Juillet 2021, impression 3D, grès, 60 cm de haut env., Ateliers du Faire de la fondation d'entreprise Martell. Photographie personnelle. **p. 355**

Figure 83 — Photographie des réglages présents sur le contrôleur de la machine d'impression 3D en argile conçue par le designer Olivier Van Herpt. **p. 357**

Figure 84 — A. Photographie de l'imprimante 3D en argile (type Delta) conçue par Olivier Van Herpt au 8FabLab de Crest (Drôme) B. Photographie de gestes en cours d'impression d'un fragment de la pièce Archive vivante, Fragments coralliens : *Caryophyllia clavus*. **p. 358**

Figure 85 — Croquis d'intention à destination des artisans verriers pour préparer la résidence artistique à la fondation d'entreprise Martell : en haut, un croquis d'un sclérite altéré par l'acidification, au milieu une forme de tas imaginant un rendu avec à la base des formes bien délimitées et finies, puis une « dissolution » plus abstraite. **p. 387**

Figure 86 — Imagerie 3D d'un tas de sclérites réalisée au Synchrotron SOLEIL — CNRS — CEA Paris-Saclay. Crédit image : Daniel Vielzeuf. **p. 388**

Figure 87 — Image obtenue au MEB de sclérites de corail rouge de Méditerranée. Comparaison des deux types de sclérites de coraux exposés à la pCO₂ naturelle et à l'acidification. (A) (B) sclérites en forme de cabestan et de croix dans des conditions naturelles, respectivement. (C) (D) sclérites en forme de cabestan et de croix dans des conditions acidifiées, respectivement, avec des signes évidents de calcification altérée. Dans les encarts, un détail pour chaque phase. À côté : agrandissement d'un détail de la figure D. **p. 389**

Figure 88 — Huit stades de développement de la méduse commune, collection de l'Université de Cornell, acquis en 1885 réalisé par Léopold et Rudolf Blaschka. **p. 410**

Figure 89 — Capture d'écran du projet Gravity Machine développée par Manu Prakash au sein du Stanford Woods Institute for the Environment (Stanford University, États-Unis). **p. 419**

Figure 90 — Exemple d'un schéma pour l'espèce *Cyphastrea microphthalmia*. Au survol de la souris s'affiche une information correspondant à la typologie d'information concernée : système sexuel, colonialité, partenaires de vie, stratégies de survie. Ces différentes catégories sont issues d'un recensement des informations recueillies sur la base de données Coral Traits. Crédits : Lysianne Lagadic. **p. 424**

Figure 91 — Candice Lin, 5 Kingdoms, 2015. François Ghebaly Gallery, Los Angeles. **p. 428**

Figure 92 — Illustration du *Vampyrotheuthis infernalis* Chun, dans CHUN, Carl. 1903. Aus den tiefen des weltmeeres : Schilderungen von der Deutschen Tiefsee-expedition. Jena, p. 88. **p. 438**

Figure 93 — : Frise chronologique pour situer les différentes versions du *Vampyrotheuthis infernalis* faisant apparaître en 1965 le premier ouvrage de Flusser, Histoire du diable, jusqu'à 2015, date de la traduction française du *Vampyrotheuthis infernalis*. **p. 440**

Figure 94 — : Table des matières française, allemande et brésilienne du *Vampyrotheuthis infernalis*. **p. 441**

Figure 95 — : Agenda personnel de Vilém Flusser où l'on peut lire à la date du samedi 15 janvier 1983 un rendez-vous avec Louis Bec (mention à 18 h de « Bec »). **p. 442**

Figure 96 — : Lettre de Vilém Flusser adressée à Louis Bec du 16 avril 1984 attestant des pages 28 à 35 du *Vampyrotheuthis*. **p. 443**

Figure 97 — : FLUSSER Vilém. Die Schrift. [édition sur disquette]. Immatrix, 1987 **p. 444**

Figure 98 — : Représentation schématique des différents traits de caractère de Vilém Flusser présents dans les différents dessins de Louis Bec à propos du *Vampyrotheuthis infernalis*. **p. 445**

Vampyrotheuthis infernalis. BEC, Louis. *Zoosystémie* [en ligne]. Prague : CIANT, 2014. [Consulté le 14 avril 2022]. Disponibilité : <https://books.apple.com/us/book/zoo-syst%C3%A9mie/id993775694> **p. 445**

Figure 99 — : « Planche 6 : Un incroyable capacité d'engrammer et d'absorption vertigineuse de pour un immense mémoire ». BEC, Louis. *Vampyrotheuthis infernalis*. Postscriptum [en ligne]. Flusser Studies 4 — Louis Bec. 2007. [consulté le 18 avril 2022]. Disponibilité : http://www.flusserstudies.net/sites/www.flusserstudies.net/files/media/attachments/bec_vampyrotheuthis.pdf **p. 446**

Figure 100 — : Schémas entre modèle linéaire et modèle circulaire dans les essais de Flusser, interprétation personnelle à la lecture de deux essais de Vilém Flusser : A) et B) Interprétation visuelle du modèle linéaire et circulaire tel que décrit par Vilém Flusser dans l'essai « Considérations écologiques », Flusser et la France [en ligne] : « Le modèle linéaire affirme que nous nous trouvons dans un monde "objectif" composé de deux types d'objets : les "naturels" et les "artificiels". Les objets "donnés", et les "objets faits". "Data" et "facta". Le modèle circulaire ne permet pas de distinction aussi nette. [...] Entre la nature et la culture, il entrepose la région des objets en voie de production, la région des "produits demi-finis". Et entre la culture et la nature, il entrepose la région des objets en voie de consommation, la région des "ordures". » C) Interprétation visuelle d'un modèle métabolique proposé par Flusser dans l'essai (non publié) *Toward a map of the body*. « let us label the wall of the sphere 'my body', the hole in the sphere 'myself', the context 'my world', and the horizon 'my death', and let us see how we can use such a model. [...] We can label the incoming influences from the context toward the sphere 'my future', or 'my problems'. We can label the outgoing secretions 'my past' or 'my products'. We can label the places of feedback between sphere and context 'my presence in the world,' or, more compactly, 'my present'. » D) Interprétation visuelle des différences de modélisation du monde entre l'humanité et la *Vampyrotheuthis infernalis* symbolisant les altérités du vivant. **p. 449**

Figure 101 — : Sciences paranaturalistes créées par Louis Bec au cours de sa vie. Voir : BEC, Louis. *Zoosystémie*. **p. 451**

Figure 102 — : FLUSSER, Vilém. Royaume animal, sous-royaume arbre généalogique du Vampyrotheuthis. [essai] Berlin : Vilém Flusser Archive. Ref. no : 1 844. **p. 456**

Figure 103 — : Série de publications sur le réseau social Instagram du compte @bioisthenewblack du 9 décembre 2020. **p. 472**

Figure 104 — : Logo du podcast Bio Is the New Black. Graphisme : Élise Rigot. Crédits typographiques : Jérémie Landes, Studio Triple. **p. 474**

Figure 105 — : Capture d'écran de la page du podcast consacré au vampyrotheuthis hébergé sur la plateforme de podcast en ligne Ausha où l'on peut voir les différents liens URL rattachés au site Web et permettant de rendre accessible la documentation ayant servi à écrire le podcast. **p. 498**

Figure 106 — : Capture d'écran de l'édition numérique consacrée au podcast utilisant l'outil Ovide, développé par Robin de Mourat. [en ligne] [consulté le 7 avril 2022]. Disponibilité : <https://eliserigot.com/content/Bio4/index.html> **p. 499**

Figure 107 — : Photographie d'Anthony Masure et Élise Rigot au MOW Festival. Crédit : David Sugar. **p. 500**

Figure 108 — : Photographie d'un moment du mini-site mobile codé pour le festival. **p. 501**

Figure 109 — : Frise chronologique des lieux de circulation et objet transitoires rattachés au podcast Bio Is the New Black consacré au Vampyrotheuthis infernalis. **p. 502**

Figure 110 — : Diagramme représentant les opérations de digestion, versions (V) et circulations (C) du format de recherche-crédit du podcast. **p. 504**

Figure 111 — : Ai Hasegawa, Human × Shark, 2017, <https://aihasegawa.info/human-x-shark> **p. 510**

Figure 112 — : Grégory Chatonsky, I'm only memory and I love only you, vidéo générative, 2019, 43 **p. 513**

Figure 113 — : BENQUÉ, David, The New Weatherman's cookbook, visuels imprimés. 2014 **p. 516**

Figure 114 — : BARDINI, Thierry et al. Your Synthetic Future (at the speed of light). Installation interactive. Helsinki : galerie Lasipalatsi, 22-31 mai 2015. **p. 518**

Figure 115 — : Croquis réalisé lors d'une réunion de travail avec Lorenzo Bramanti, Denis Tribouillois et moi-même pour la création du scénario de l'expérience. **p. 523**

Figure 116 — : Vue de haut du modèle 3D du terrain en forme de faille sous-marine où sont positionnées les diverses forêts animales. **p. 524**

Figure 117 — : Représentation axonométrique de la baie de Banyuls-sur-Mer où est implanté le laboratoire Arago en fonction de l'altitude et de la profondeur. Crédits : LECOB, Arago. **p. 526**

Figure 118 — : Martin Johnson Heade, l'Orchidées et oiseau-mouche (1875-1883) cité dans Estelle ZHONG MENGUAL, Apprendre à voir. **p. 550**

Figure 119 — : Photogramme de Camille & Ulysse (2021) réalisé par Diana Toucedo où l'on peut voir Vinciane Despret. **p. 553**

Figure 120 — : a/b design (en vert) par Dunne & Raby (2015), figure revisitée pour exprimer un design vampyrotheuthique (en violet). **p. 556**

Figure 121 — : schéma du modèle type idéal du real world laboratory d'après HUNING, Sandra, RÄUCHLE, C. et FUCHS, M., 2021. Designing real-world laboratories for sustainable urban transformation: addressing ambiguous roles and expectations in transdisciplinary teams. Sustainability Science. Vol. 16, n° 5, s'inspirant de Sieber R, Gülleken L (2018) ZUKUR stellt sich vor. Lecture at a kick-off workshop in the ZUKUR neighbourhood office. 16 May 2018. Unpublished. Dortmund. Crédits : Agence de design Où sont les dragons?, 2022 **p. 567**

Annexes

Annexe 1

Bio Is The New Black¹

Texte de présentation du podcast

Depuis les années 1990, les artistes et designers ne cessent de cultiver leur intérêt envers les biotechnologies. Du lapin vert, GFP Bunny² d'Eduardo Kac à l'engouement que connaît la biologie synthétique dans le design spéculatif contemporain³, les technologies d'ingénierie du vivant sont interrogées tour à tour du point de vue de la critique, des possibilités esthétiques, de l'anticipation du futur, des questions éthiques et des solutions écologiques qu'elles esquissent. Si elles appartiennent résolument au monde des laboratoires où elles sont utilisées à des fins biomédicales, environnementales et de recherches fondamentales, les artistes et designers explorent de nouvelles configurations de ces technologies qui questionnent leurs usages et leurs devenir possibles. En effet, les biotechnologies posent de multiples questions éthiques quant à leurs futures applications en tant qu'elles entendent concevoir des entités vivantes à dessein. Ainsi, l'imaginaire, la culture et la projection avec lesquelles les chercheurs vont investiguer les biotechnologies sont primordiaux à prendre en compte, si l'on ne veut pas, laisser le choix du devenir de ces technologies à une poignée d'experts.

Le podcast *Bio Is The New Black* a été diffusé entre 2019-2020 sur la radio FMR dans l'émission CPU. J'ai produit et conçu le podcast avec mes moyens personnels. Xavier Monton-Dubosc m'a aidé à préparer les épisodes et m'a formé au montage son pour la diffusion des différents épisodes.

1 Le titre du podcast Bio Is The New Black fait référence aux nombreuses expressions utilisant le suffixe bio ayant une connotation positive et emprunte l'expression anglaise *black is the new black* utilisée pour signifier « ce qui est à la mode ».

2 La lapine Alba devait être exposée au lieu unique à Nantes du 14 mars au 4 mai 2003, lors d'une exposition intitulée L'art biotech'. « Encore une fois, Alba, la lapine fluo, ne brillera que par son absence. Bien que (ou parce que) nul spectateur n'ait jamais vu ce rongeur capable d'émettre une lueur verte grâce à un gène de méduse, et qui, en France, devait initier dans le contexte de l'art le débat sur le statut des animaux transgéniques, il a acquis la valeur iconographique quasi planétaire d'un Che Guevara de l'art biotech'. » écrit Jens Hauser dans le catalogue consacré à l'exposition. HAUSER, Jens, op. cit. p. 9

3 Voir Élise Rigot, « Bio Is The New Black #5 - dialogues entre Arthur-Donald Bouillé, Lisa Dehove & Xavier Montoy, Partie 1 : Le concours iGEM vu et vécu par les designers », radio FMR, CPU, émission du 3 décembre 2020, [\[En ligne\]](#)

ÉPISODE 1⁴

Pour ce premier épisode de *Bio Is The New Black*, nous étions à Londres dans le petit studio secret de la bibliothèque de la *Goldsmiths University*. Nous avons interviewé David Benqué, chercheur et designer. Nous avons discuté du design spéculatif, prédiction du futur, rôle du design, algorithme prédictif, viande artificielle et instrumentation scientifique.

ÉPISODE 2⁵

Pour ce second épisode de *Bio Is The New Black*, nous étions à Issy-les-Moulineaux. Nous avons dialogué avec Marie-Sarah Adenis, designer et biologiste de formation. Nous avons discuté de l'apport de la biologie pour penser le design et mille autres bricoles passionnantes.

ÉPISODE 3⁶

Quelles sont les différences de méthodologies de recherche en sciences et design ? Quels sont les biais d'une « scientification » du design à des fins de recherche ? Comment pratiquer concrètement la recherche en design ? Sous la forme d'un dialogue ouvert et spontané nous déployons ces questions et ouvrons des perspectives en termes de positionnement et d'action pour les chercheurs. e. s en design. Nos invités sont Xavier Guchet, philosophe des techniques et Anthony Masure, chercheur en design.

ÉPISODE 4⁷

Pour cet épisode de *Bio Is The New Black*, nous étions dans le studio d'enregistrement de l'*institut supérieur des arts et du design de Toulouse (IsdaT)*, accueillis par Claude Tisseyre, en compagnie du comédien Raphaël Caire. Nous avons produit une fiction à partir d'une conférence-performance donnée lors du festival du poulpe édition 2019 à Marseille. Le texte de la fiction radiophonique a été co-écrit avec Anthony Masure. Ce podcast fait état d'une recherche effectuée dans les archives de Vilém Flusser à l'*Université des arts de Berlin*, nous vous livrons une fiction philosophique du théoricien des médias Vilém Flusser et de l'artiste para-naturaliste Louis Bec : *Le Vampyroteuthis Infernalis*. Ce projet n'aurait pas été possible sans la précieuse aide d'Anita Jori, chercheuse superviseuse de la Vilém Flusser archive.

4 Élise Rigot, 2019, « Bio Is the New Black #1 - Design spéculatif, biotech et algorithme prédictif avec David Benqué », radio FMR, CPU, [en ligne] Disponibilité : <http://cpu.pm/114>

5 Élise Rigot, 2020, « Bio Is the New Black #2 - Un regard sur le vivant, entretien avec Marie-Sarah Adenis », radio FMR, CPU. [en ligne] Disponibilité : <http://cpu.pm/126>

6 Élise Rigot, 2020. « Bio Is the New Black #3 - dialogue entre Anthony Masure & Xavier Guchet - des designers passeur.se. s », radio FMR, CPU. [en ligne] Disponibilité : <http://cpu.pm/132>

7 Élise Rigot, 2020, « Bio Is the New Black #4 - Vampyroteuthis infernalis & épistémologie fabulatoire », radio FMR, CPU. [en ligne] Disponibilité : <http://cpu.pm/153>
Version anglaise de la fiction radiophonique : Élise Rigot, 2020, « BONUS - Bio Is the New Black#4 - Vampyroteuthis as a bioluminescent lighthouse to think under the livings », radio FMR, CPU. [en ligne] Disponibilité : <https://cpu.dascritch.net/post/2020/06/09/Mini-release-%3A-Our-vampyroteuthian-world>

ÉPISODE 5⁸ (EN DEUX PARTIES)

Au-delà de la biomédialité (Hauser) explorée par les artistes à la fin des années 1990 dans le mouvement du bioart, les designers interrogent aujourd'hui les laboratoires de biologie comme terrain fertile de collaborations. En tant que projecteurs, il y aurait tout lieu de croire que ces derniers auraient pour rôle l'anticipation ou la mise sur le marché des découvertes scientifiques. Rien n'est moins sûr ! Dans la friction entre vivant et artificiel, les designers veulent soulever les questions éthiques, souhaitent s'emparer de l'histoire des vivants avec la même légitimité que les scientifiques, et ainsi, participer eux aussi à la construction du savoir. Nous aborderons ces thèmes sous la forme de plusieurs dialogues entre les designers Lisa Dehove, Arthur-Donald Bouillé & Xavier Montoy.

ÉPISODE 6⁹

Cet épisode de *Bio Is The New Black* a été enregistré en ligne le 20 novembre 2020. Nous y interviewons Anne-Lyse Renon, maître de conférences en design graphique au laboratoire Pratiques et Théories de l'Art Contemporain à l'Université de Rennes 2. Nous explorons à travers la vision, l'objectivité et l'investigation, l'apport du design graphique aux pratiques scientifiques. Nous voyons dans les images de la science des héritières que l'on doit interroger et qui font partie de l'histoire du design graphique.

ÉPISODE 7¹⁰

Qu'est-ce qu'un laboratoire de biologie ? Un tout petit laboratoire sur papier peut-il être considéré comme un laboratoire ? Une communauté peut-elle « faire laboratoire » ? Marguerite Benony nous invite au cœur de ces questions entre design et ethnographie de sa thèse de doctorat en design.

8 Élise Rigot, 2020, « Bio Is the New Black #5 - dialogues entre Arthur-Donald Bouillé, Lisa Dehove & Xavier Montoy, Partie 1 : Le concours iGEM vu et vécu par les designers », radio FMR, CPU. [en ligne] Disponibilité : <http://cpu.pm/153>

Élise Rigot, 2020, « Bio Is the New Black #5 - dialogues entre Arthur-Donald Bouillé, Lisa Dehove & Xavier Montoy, Partie 2 : entre vivant et artificiel », radio FMR, CPU. [en ligne] Disponibilité : <http://cpu.pm/154>

9 Élise Rigot, 2020, « Bio Is the New Black #6 - Entretien avec Anne-Lyse Renon, Design graphique dans les pratiques de la science », radio FMR, CPU. [en ligne] Disponibilité : <http://cpu.pm/166>

10 Élise Rigot, 2020, « Bio Is the New Black #7 - Entretien avec Marguerite Benony, Design embarqué en laboratoire de biologie », radio FMR, CPU. [en ligne] Disponibilité : <http://cpu.pm/167>

Annexe 2

Publications non-reproduites dans la thèse :

Publication dans un journal scientifique :

Élise Rigot et Jonathan Justin Strayer, 2020, « Retour vers 1972 : rouvrir les possibles pour le design et l'économie face aux effondrements », *Sciences du Design*, vol. n° 11, no 1, p. 32-41.

Élise Rigot, 2019, « Le design pour le(s) vivant(s) : appréhender sans optimiser », *Sciences du Design*, vol. n° 10, no 2, p. 42-50.

Publications destinées au grand public :

Élise Rigot et Christophe Vieu (relecture), 2022, transcription écrite d'après « Le tournant 3D de la biologie, interview de Laurent Malaquin Directeur de la Plate-forme de Bio-Impression du LAAS-CNRS », *Codex de la bio-impression 3D*.

Élise Rigot, 2021, « Fragments of corals », *Ocean Archive*.

Élise Rigot avec Guillaume Barbareau, 2021, « Fragment(s) : Mémoire des architectures coralliennes », « Architectures animales », *Billebaude 19*.

Élise Rigot, 2020, transcription écrite d'après « Bio Is The New Black #4 - Vampyroteuthis Infernalis & épistémologie fabulatoire », radio FMR, CPU.

Élise Rigot, 2020, transcription écrite d'après « Bio Is The New Black #3 - dialogue entre Anthony Masure & Xavier Guchet - des designers passeur.se.s », radio FMR, CPU.

Thèse de doctorat en design
achevée d'imprimer en juin 2022 au service édition du LAAS-CNRS
sur papier recyclé 80 gr.
@eliserigot // rigot.elise [at] gmail [.] com