

LOTUS un outil pour une conception responsable et durable des technologies dans l'anthropocène

LOTUS a tool for the responsible and sustainable design of technologies in the anthropocene

Jean-Philippe Pierre¹, Guillaume Pérocheau²

¹ Institut Supérieur de l'Électronique et du Numérique Méditerranée Jean-philippe.pierre@yncrea.fr

² Institut Supérieur de l'Électronique et du Numérique Méditerranée, LEST, CNRS, AMU,

Guillaume.perocheau@yncrea.fr

RÉSUMÉ. L'article présente l'outil LOTUS, développé par le laboratoire RASSCAS de l'ISEN Méditerranée, pour évaluer les impacts sociaux et environnementaux des projets technologiques. LOTUS est un atelier de 3 heures qui vise à concevoir des solutions pour réduire ces impacts. L'outil s'appuie sur les travaux de Kate Raworth et du Stockholm Resilience Centre. Les expérimentations ont montré que LOTUS a dépassé les objectifs initiaux, favorisant l'acceptabilité des projets et la prise en compte des limites planétaires et des besoins sociaux. L'outil est polyvalent et adaptable à différents types de projets. Les résultats soulignent l'importance de prendre en compte les impacts sociaux et environnementaux dans les projets technologiques. LOTUS représente une avancée significative dans la conception responsable et durable des technologies, et ouvre des perspectives de développement futur pour une conception plus régénérative.

ABSTRACT. This article presents the LOTUS tool, developed by the RASSCAS laboratory at ISEN Méditerranée, for assessing the social and environmental impacts of technological projects. LOTUS is a 3-hour workshop aimed at devising solutions to reduce these impacts. The tool is based on the work of Kate Raworth and the Stockholm Resilience Centre. Trials have shown that LOTUS has exceeded its initial objectives, making projects more acceptable and taking into account planetary limits and social needs. The tool is versatile and adaptable to different types of project. The results underline the importance of taking social and environmental impacts into account in technology projects. LOTUS represents a significant advance in the responsible and sustainable design of technologies, and opens up future development prospects for more regenerative design.

MOTS-CLÉS. Anthropocène, Innovation responsable, Science du design, Acceptabilité, Architecture projet.

KEYWORDS. Anthropocene, Responsible innovation, Design science, Acceptability, Project architecture.

1. Introduction

« *Nous ne sommes pas sur Terre pour être heureux, nous sommes sur Terre parce que nous sommes liés à la Terre* » [TIM 17] (Timothy Morton, 2017). Pourtant, notre empreinte sur la planète est devenue si profonde que certains scientifiques parlent désormais de l'anthropocène comme d'une nouvelle ère géologique. Cette notion, émergée au début du XXI^e siècle, désigne l'époque actuelle, marquée par les conséquences profondes et durables de l'activité humaine sur les systèmes naturels et les sociétés. Caractérisée par une accélération sans précédent des changements environnementaux - réchauffement climatique, perte de biodiversité, pollution des sols, de l'eau et de l'air - cette ère pose un défi majeur : comment intégrer une approche systémique et responsable dans la conception d'innovations technologiques, en s'appuyant sur des outils comme LOTUS (un atelier collaboratif de conscientisation et d'évaluation des impacts des projets innovants) pour concilier limites planétaires et besoins sociaux ?

Les impacts de l'anthropocène sont souvent disproportionnés et inégalement répartis entre les populations. Selon un rapport de l'ONU (2020), « *les pays les moins développés sont les plus vulnérables aux impacts du changement climatique, alors qu'ils sont les moins responsables de ces changements* ». Les communautés et les territoires, exacerbant les inégalités sociales et économiques existantes, voient leur capacité à faire face aux chocs environnementaux diminuer. Une étude publiée dans la revue Nature (2019) révèle que « *les 10% des personnes les plus riches de la planète sont responsables de 45% des*

émissions de gaz à effet de serre, tandis que les 50% les plus pauvres n'en émettent que 10% ». Cette situation exige une prise de conscience collective et des actions coordonnées pour réduire les émissions, préserver les écosystèmes, et repenser nos modèles de développement.

Comme le souligne le GIEC, « *Les options de gestion des terres et des écosystèmes peuvent contribuer à l'atténuation et à l'adaptation au changement climatique, ainsi qu'à la sécurité alimentaire et à la conservation de la biodiversité* » (2019, p. 25). C'est dans ce contexte d'urgence que le laboratoire RASSCAS (Recherches Appliquées en Sciences Sociales pour Concevoir une Anthropocène Soutenable) a été créé en juin 2023 au sein de l'ISEN Méditerranée. Son objectif est de développer des concepts, méthodes et outils permettant d'inscrire la conception des technologies dans une logique de progrès régénératif, dépassant le simple régime d'innovation pour intégrer pleinement les enjeux sociaux et environnementaux.

Parmi ces outils, LOTUS (*Label pour Orienter les Technologies et les Us vers la Soutenabilité*) se distingue par son approche collaborative. Inspiré des fresques du climat et du numérique, cet atelier de trois heures permet aux équipes projet d'évaluer collectivement les impacts de leurs innovations. S'appuyant sur des cadres théoriques tels que la *Doughnut Economics* de Kate Raworth ou les travaux du Stockholm Resilience Centre, LOTUS vise à rendre les projets plus acceptables socialement tout en réduisant leurs externalités environnementales négatives, voire en explorant leurs capacités régénératives.

Dépassant ses ambitions initiales, LOTUS s'est révélé polyvalent et adaptable à divers types de projets, capable de guider une stratégie sur l'ensemble du cycle de vie d'un produit. Son succès souligne l'urgence d'une approche systémique où la technologie ne se conçoit plus en dehors de ses impacts sur le vivant et les sociétés, répondant ainsi à la problématique fondamentale de concilier innovation technologique et respect des limites planétaires.

Cet article présente d'abord le contexte de l'Anthropocène et les enjeux d'une innovation responsable (1), puis détaille la genèse et les principes de l'outil LOTUS (2). Il décrit ensuite son fonctionnement (3), ses tests et retours d'expérience (4), avant d'ouvrir sur ses perspectives d'évolution et d'appropriation (5).

2. État des lieux et contexte scientifique

Depuis plus de 20 ans, le concept d'Anthropocène a profondément marqué les sciences sociales [HAM 15] (Hamilton, Bonneuil & Gemenne, 2015), le management [WHI 13] [HEI 16] et, plus récemment, la responsabilité de l'innovation technologique [ACQ 20] [AGG 20] [PIE 24]. Il souligne la nécessité d'intégrer les contraintes existentielles de ce paradigme dans les processus de conception, en accord avec la notion d'*Innovation Responsable* définie par l'Union Européenne comme une transition vers des solutions respectant davantage les obligations envers les humains, l'environnement et les générations futures [KOR 19]. Pourtant, malgré cette prise de conscience, les méthodes de conception actuelles peinent à intégrer pleinement ces enjeux.

Parmi les outils existants, l'*Analyse du Cycle de Vie* (ACV) permet d'évaluer les impacts environnementaux, économiques et sociaux d'un produit, mais ses résultats varient selon les variantes du produit et négligent des effets connexes [RIZ 16]. De même, des approches comme le *Design for Environment* (DfE) ou l'écoconception, bien qu'utiles pour réduire les déchets et optimiser les ressources, restent limitées : elles se concentrent sur des critères partiels plutôt qu'une vision systémique [AHM 18]. Même les avancées récentes en *design thinking responsable* [BAL 24], bien qu'elles intègrent des considérations sociales et environnementales, peinent à passer de la théorie à la pratique.

Face à ces limites, la *Doughnut Economics* (DE) de Kate Raworth [RAW 17] émerge comme une piste prometteuse. La DE est une approche critique des théories du développement basée sur la seule croissance au détriment de l'environnement et de la société. Elle repose sur la métaphore du Doughnut, un anneau délimité par une limite extérieure (les limites planétaires) et une limite intérieure (le planchers sociaux). Ce doughnut représente l'espace sûr et juste pour l'humanité, qui doit être préservé et même régénéré par les activités humaine.

Initialement conçue pour guider les politiques publiques, elle a été adaptée à des échelles plus petites [TUR 22], y compris pour des entreprises [SAH 22] ou des modèles économiques [HAU 23]. Son atout majeur réside dans sa capacité à visualiser les limites planétaires et les planchers sociaux, offrant ainsi un cadre conceptuel et graphique pour le design [VIG 22]. Pourtant, malgré son potentiel, aucune méthode ne permet encore d'appliquer systématiquement la DE à la conception d'innovations technologiques.

Notre recherche vise précisément à combler ce manque en proposant une méthodologie de *codesign* intégrant les principes de la DE dès les phases amont de l'innovation. Cette approche, développée selon une démarche de *Design Science*, sera détaillée dans la partie suivante.

2.1. Une approche systémique pour un design responsable.

Nous venons de le voir, malgré les avancées dans les outils et approches existants, des défis subsistent. Les revues de littérature soulignent la nécessité de développer des outils plus matures et exhaustifs, couvrant tous les aspects d'un produit. C'est dans ce contexte que la théorie de la Doughnut Economics de Kate Raworth offre un cadre conceptuel pertinent.

Les recherches du RASSCAS s'inspirent de cette théorie et s'appuient sur les travaux du Stockholm Resilience Centre concernant les limites planétaires. La Doughnut Economics nous invite à repenser l'économie pour répondre aux besoins humains tout en préservant l'environnement. Sa métaphore visuelle est particulièrement éclairante : imaginez un doughnut, ce beignet rond, dont la forme symbolise l'espace sûr et juste pour l'humanité.

La limite extérieure représente les «plafonds environnementaux», correspondant aux neuf limites planétaires définies par le Stockholm Resilience Centre. Ces limites correspondent aux neuf processus biophysiques qui régulent le système terre, chacun possédant des seuils de fonctionnement mesurables. Leurs dépassements altèrent le fonctionnement optimum de l'holocène, nécessaire à l'habitabilité de la terre pour les humains. Ces processus sont : le cycle de l'eau, de l'azote et du phosphore, l'acidification de l'océan, l'effet de serre, la formation de la couche d'ozone, la biodiversité, les nouvelles entités chimiques, et l'utilisation des sols. La limite intérieure incarne les «planchers sociaux», soit les douze besoins fondamentaux pour l'épanouissement humain, inspirés des Objectifs de Développement Durable et de l'Indice de Développement Humain.

Le laboratoire RASSCAS a donc développé un outil de design s'appuyant sur cette métaphore, incitant les concepteurs à respecter ces planchers et plafonds. Cette approche va au-delà de la simple réduction des impacts : elle vise une conception globale préservant l'ensemble du vivant.

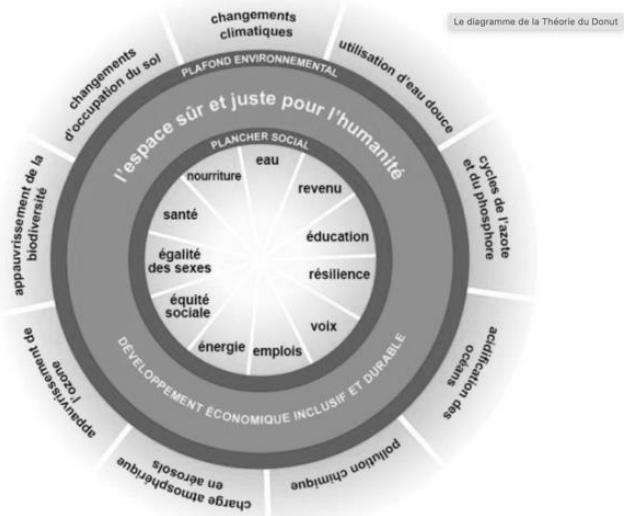
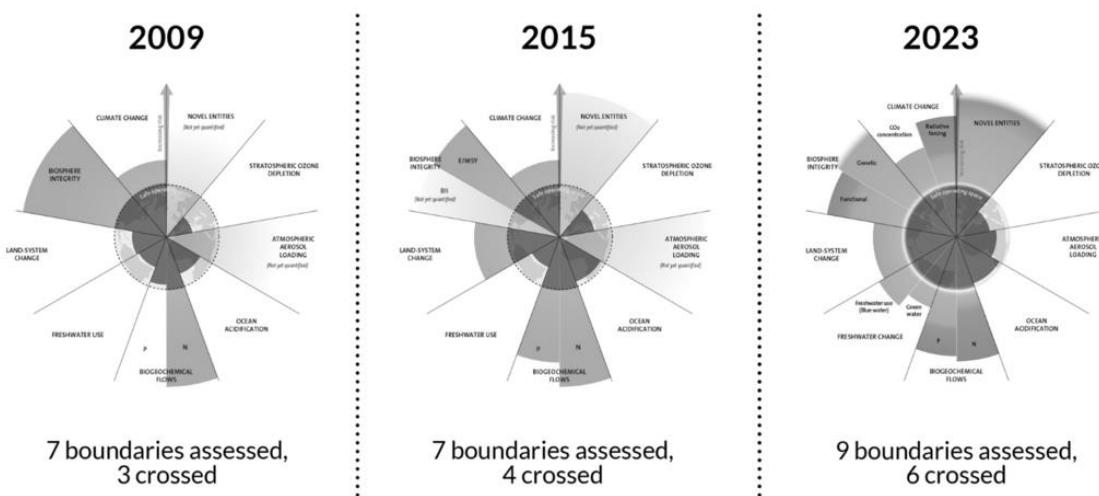


Figure 1 : Le diagramme de la Théorie du doghnut

Source : OXFAM France

Le Stockholm Resilience Centre, à l'initiative de son ancien directeur Johan Rockström, a développé en 2009, le concept de limites planétaires. Elles représentent les neuf processus qui régissent la stabilité et la résilience du système terrestre. Autrement dit, ce sont les limites à ne pas dépasser ou dans lesquelles il faudrait revenir pour que l'Homme puisse continuer à se développer et à prospérer pour les générations à venir.



The evolution of the planetary boundaries framework. Licenced under CC BY-NC-ND 3.0 (Credit: Azote for Stockholm Resilience Centre, Stockholm University. Based on Richardson et al. 2023, Steffen et al. 2015, and Rockström et al. 2009) Click on the image to download.

Figure 2 : Évolution des limites planétaires

Quel que soit le secteur d'activité, les outils et méthodes dont nous disposons actuellement s'inscrivent dans une vision du monde héritée de la révolution industrielle : celle de la production de masse, de la course à l'innovation technologique et de l'exploitation des ressources naturelles sans se soucier de leur épuisement. Le développement des sociétés humaines s'est fait à travers les âges, grâce aux aptitudes qu'elles ont développées pour domestiquer la nature et en exploiter les richesses. Chaque découverte a permis d'améliorer les rendements (charrette, moulin, irrigation, mécanisation...), les transports (force animale, vapeur, moteur à explosion...) ou la communication (télégraphe, téléphone, internet...). Tout cela s'est déroulé comme si les ressources prélevées étaient sans limites et comme si l'activité humaine était sans conséquences pour lui-même ou pour le reste du vivant.

De ce fait, les outils et pratiques du *design* sont donc souvent là pour servir cet idéal de croissance par la compétitivité et par l'innovation. Ceci se déroule avec l'idée implicite que, l'intelligence humaine

apporterait des solutions techniques qui permettraient de satisfaire sans limite les besoins des hommes. Or, cette vision anthropocentrale a atteint ses limites et les tensions qui se font jour autour de certaines ressources nous obligent à changer d'attitude. Ce *technosolutionnisme* est une utopie qui ne contribue qu'à accélérer les impacts de l'activité humaine. Pour sortir de cet anthropocentrisme, Philippe Descola souligne la nécessité d'une prise de conscience de notre relation avec la nature, «*La déconnexion entre l'homme et la nature, exacerbée par des pratiques industrielles et une conception du monde purement utilitaire, nous éloigne de notre responsabilité face à la dégradation écologique.*» C'est dans cet esprit que les chercheurs du laboratoire RASSCAS ont développé et testé des outils de design qui cherchent à inciter les ingénieurs, les techniciens et tous ceux qui conçoivent de nouvelles technologies, à mieux prendre en compte le reste du vivant dans le développement de leurs projets. Dans ce cadre, ils proposent par exemple «*d'utiliser le terme générique de life-centered design (LCD) qui évoque bien ce changement de paradigme dans lequel le souci est de concevoir des artefacts et des usages pour servir les besoins de la vie en général, dont l'homme fait partie intégrante. Le LCD ne s'oppose pas au HCD (human-centered design), il l'inclut.*» Ils ont par ailleurs testé l'usage de persona¹ non humains pour faciliter cette reconnexion au vivant [PER 25].

Enfin, Paul Crutzen, au sujet de l'anthropocène insiste de la nécessité de réagir à cette nouvelle réalité. Pour lui, «*L'ère industrielle a transformé notre planète au point de provoquer des changements qui nécessitent une révision complète de notre manière de penser la nature et nos ressources*» [CRU 02]. Ce que dit l'anthropocène, c'est que désormais l'histoire humaine et l'histoire géologique, climatique et biologique se confondent. Les comportements péjoratifs de l'Homme ont des impacts immédiats sur les équilibres systémiques qui ont favorisé son développement et celui de la vie qui l'entoure. Remettre en cause ces équilibres risque de modifier irrémédiablement les conditions de la vie terrestre.

3. Genèse et principes de l'outil lotus

Dernier né au sein de l'ISEN, le laboratoire RASSCASS (Recherche Appliquée en Sciences Sociales pour Concevoir une Anthropocène Soutenable) réunit une équipe pluridisciplinaire engagée dans l'étude des impacts humains sur les écosystèmes et les sociétés. Ses recherches s'articulent autour de trois axes complémentaires : Imaginaires et anthropocène, qui vise à repenser collectivement des futurs soutenables ; Concevoir des Right Tech, centré sur des technologies respectueuses des équilibres environnementaux et sociaux ; et Life centered design, qui intègre toutes les parties prenantes, y compris les écosystèmes, dans la conception des systèmes techniques. Dans ce cadre, l'outil LOTUS représente à la fois une opportunité de terrain de recherche et une réponse aux préoccupations du laboratoire. D'une part, il offre un cadre expérimental pour tester des approches collaboratives et des technologies alignées sur les principes des Right Tech et du Life centered design, en impliquant divers acteurs dans des processus de co-conception. D'autre part, LOTUS incarne une solution concrète pour matérialiser les visions soutenables explorées dans l'axe Imaginaires et anthropocène, en fournissant un outil adaptable aux défis de l'Anthropocène. Ainsi, le laboratoire y trouve un terrain d'application privilégié pour ses recherches, tout en disposant d'un levier opérationnel pour concrétiser ses ambitions scientifiques et sociétales.

3.1. Implication du laboratoire RASSCAS dans la région

Le laboratoire RASSCASS est attaché à son territoire et particulièrement sensible à la préservation des espaces méditerranéens, véritables laboratoires des effets délétères du changement climatique. Ses chercheurs œuvrent à fédérer, sensibiliser et former les acteurs présents et futurs de ces régions.

C'est dans ce contexte que le laboratoire a été sollicité par ses partenaires, les pôles de compétitivité SAFE et OPTITEC, qui ont lancé une initiative collective intitulée « mission drones », bénéficiant du

¹ Un persona est une façon d'incarner un usager type. Il permet de se glisser dans sa peau et il s'agit de stimuler l'empathie dans la phase d'idéation.

soutien financier de la Région SUD. Cette action s'inscrit dans une démarche plus large visant à développer la mobilité aérienne urbaine, également connue sous le nom d'Advanced Air Mobility (AAM). Dans ce cadre, RASSCAS a été appelé à intervenir en tant que laboratoire expert pour accompagner et renforcer les processus de maturation et de labellisation de projets innovants, en mettant l'accent sur les aspects liés à l'acceptabilité sociale, environnementale et éthique. Plus précisément, son intervention s'est concentrée sur le domaine spécifique de la filière Drone, où les enjeux en matière d'acceptabilité et d'éthique sont particulièrement prégnants. Un projet collaboratif de recherche a donc été construit avec RASSCAS dans le but d'apporter une expertise pointue et un soutien opérationnel aux acteurs de la filière, afin de les aider à mieux cerner et à anticiper les défis et les opportunités liés au développement de cette technologie.

Mission du laboratoire RASSCASS

La mission comprenait deux volets :

Développer un outil opérationnel et de formation pour les chargés de mission des pôles afin qu'ils soient en capacité d'aider les entreprises à conduire une réflexion sur ces questions et à apporter un premier niveau de réponses aux écueils identifiés dans les projets.

Proposer une formation à destination des comités d'experts des pôles pour qu'ils soient en capacité d'évaluer les projets sur ces volets.

Les outils et formations qui allaient être développés devaient être spécifiquement conçus pour répondre aux besoins de la filière Drone, en tenant compte des défis et des enjeux uniques liés à l'Advanced Air Mobility. Il est important de noter que la filière Drone englobe un large éventail d'acteurs, qui vont des fabricants de drones aux prestataires de services, en passant par les développeurs de logiciels et les intégrateurs de systèmes, tous étant partie prenante du « système drone ». L'objectif était donc de créer des outils et des formations qui soient parfaitement adaptés à ce secteur en constante évolution. Les outils devaient être élaborés en s'appuyant sur un projet de type proof of concept (POC) mené par une société, que nous désignerons par la suite sous le nom de X pour des raisons de confidentialité. Cette société avait été sélectionnée à l'issue d'un appel à manifestation d'intérêt (AMI) lancé conjointement par les pôles de compétitivité SAFE et OPTITEC en 2022. Le choix de cette société avait été guidé par sa capacité à proposer une solution innovante et pertinente pour le développement de l'Advanced Air Mobility. L'objectif principal était de créer un socle générique qui puisse servir de base pour le développement d'outils et de formations adaptés à d'autres filières des pôles de compétitivité, notamment dans les domaines de la Défense et de la Sécurité. Pour atteindre cet objectif, il était essentiel de concevoir des outils suffisamment flexibles et modulaires pour s'adapter à des projets hétérogènes, présentant des caractéristiques et des exigences différentes. Ainsi, les outils développés pourraient être facilement déclinés et adaptés à d'autres contextes, maximisant ainsi leur impact et leur valeur ajoutée.

3.2. Développement de l'outil LOTUS

3.2.1. Cadre théorique

Le laboratoire RASSCAS, à l'origine d'une méthode d'analyse innovante en matière de conception de projets plus régénératifs, a proposé d'adapter sa méthode d'analyse et de conception pour la mettre au service de chefs de projets pour concevoir des technologies et leurs usages dans le respect des limites sociales et environnementales de notre temps.

Il ne s'agit donc pas d'une étude ponctuelle ou d'une réponse à un besoin ponctuel, mais plutôt d'une étude qui permettra de concevoir et de valider une méthodologie d'évaluation d'impact, pouvant être mobilisée à diverses étapes d'un projet technologique : au moment de sa conception, de son évaluation ou après sa mise en œuvre par exemple. A terme, cette méthodologie pourrait être embarquée dans un outil numérique accessible en ligne. Elle sera mise à la disposition du pôle SAFE pour accompagner les

entreprises innovantes désireuses de lancer des projets technologiques plus responsables. Elle pourra ultérieurement faire l'objet d'une adaptation à divers secteurs d'activité et être déclinée en outils d'auto-évaluation et de sensibilisation pour amener les entrepreneurs à une conscientisation de ces enjeux.

Une fois validée, cette méthode permettra aux experts des pôles comme aux porteurs de projets d'évaluer les impacts des innovations selon un référentiel commun et reconnu et servira de base à mise en place d'un label des projets désirables, soutenables et réalisables.

De façon pragmatique, la théorie de la Doughnut Economy va nous servir comme métaphore pour représenter les impacts des projets à évaluer.

Toute activité humaine est intimement liée à son environnement, avec lequel elle entretient une relation de réciprocité. En effet, nos actions sont influencées par les caractéristiques de l'espace dans lequel elles s'insèrent, et en retour, elles ont des impacts sur cet espace. C'est pourquoi il est essentiel de prendre en compte les limites et les contraintes qui caractérisent un territoire donné, telles que les risques climatiques ou les vulnérabilités sociales. De même, il est crucial de considérer les externalités potentielles d'un projet, qu'elles soient positives ou négatives, sur les différentes dimensions de l'écosystème, notamment la biodiversité et l'équité sociale. Prendre conscience de cet encastrement est devenu un impératif pour tout projet, ainsi que pour les acteurs qui le portent, le financent et sont concernés par ses impacts. C'est en reconnaissant nos responsabilités que nous pourrons évaluer les conséquences de nos actions et prendre les mesures nécessaires pour minimiser les impacts négatifs et maximiser les bénéfices. Ce n'est qu'en adoptant cette approche que nous pourrons contribuer à la préservation et, le cas échéant, à la régénération d'un espace sûr et juste pour les générations présentes et futures.

Au cours du cycle de vie d'un projet, cette prise de conscience doit-être accompagnée. Au fil du temps, cet accompagnement doit permettre aux porteurs de projets de modifier leurs concepts, pour mieux les inscrire dans la logique de préservation et de restauration de l'espace sûr et juste. L'outil proposé doit aider à répondre aux questions suivantes :

Quelles sont les dimensions à prendre en compte pour définir le "Doughnut" d'un projet désirable, réalisable et soutenable selon les critères d'acceptabilité tels que définis par le pôle SAFE ?

Quelles sont les éléments de mesure pour évaluer l'impact du projet sur ces dimensions ?

Quels sont les éléments de langage qui permettent de définir le référentiel commun pour évaluer l'acceptabilité d'un projet ?

Le cycle - Responsible innovation - Design science - Acceptability - Project architectureCe projet devait être conduit en quatre temps, tels que décrits ci-dessous :

Phase 1 : Audit et conception, entre novembre 2022 et janvier 2023

Il se composait de la réalisation d'un état des lieux des pratiques actuelles d'évaluation d'impact au sein du Pôle Safe, autour d'un projet concret de R&D soutenu par le pôle. La réalisation d'une cartographie hybride, construite à partir d'entretiens et d'observations de terrain devait permettre d'appréhender de manière précise les implications du projet sur les plans social et environnemental. Le but était de replacer le projet dans ses interactions avec ses parties prenantes vivantes (humaines et non humaines), organisationnelles et matérielles. Cet audit a permis de produire un premier jeu de « dimensions » pour dessiner le doughnut d'impact du projet pilote.

Phase 2 : Réalisation, entre janvier et mars 2023

Ces dimensions ont été opérationnalisées grâce à un ensemble de critères de mesures, qui ont permis par la suite de collecter les données auprès des porteurs de projet. Ce travail a été conduit avec les utilisateurs futurs de la méthode (gouvernance du Pôle, évaluateurs, porteurs de projet) pour imaginer une interface automatisée de collecte (la numérisation éventuelle de l'outil est un objectif qui a été pris en compte dès sa conception) et un système de représentation des résultats basé sur la métaphore du

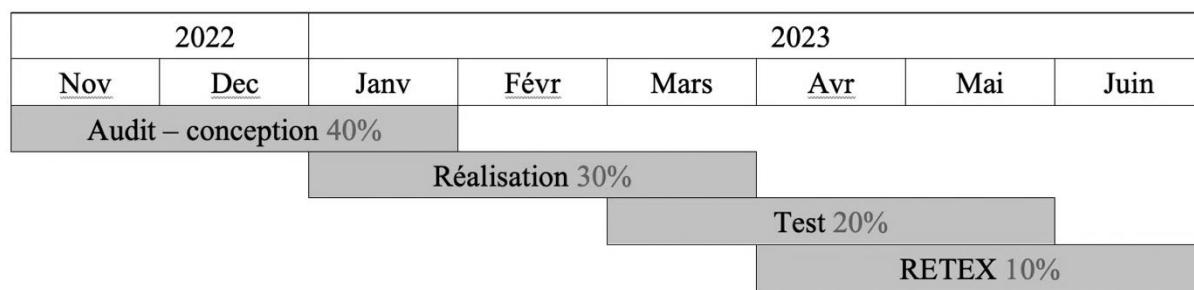
Doughnut. L'objectif était de créer des modalités les plus génériques possibles, pouvant s'adapter à des projets différents.

Phase 3 : Tests, entre mars et mai 2023

Ces tests ont permis de valider l'opérationnalité, l'utilité et l'utilisabilité de la méthode en la soumettant aux différentes parties prenantes d'un projet (experts, créateurs ou utilisateurs potentiels). La période de test était volontairement longue afin de perfectionner ou d'adapter la méthode par itération et en interaction avec les travaux de la phase 2. Le panel de testeurs a été identifié en s'appuyant sur la cartographie hybride du projet réalisée en phase 1 et choisi hors de l'équipe de conception.

Phase 4 : Retour d'expérience (RETEX), entre avril et juin 2023

Le RETEX a permis de valider la méthode éprouvée lors de l'étape précédente. Un guide a été rédigé pour l'application de la méthode, il regroupe les conclusions des différents moments de sa conception et des propositions pour son développement ou son adaptation en vue d'en faire un outil d'évaluation générique.



- Estimation de la charge de travail %

Figure 3 : Chronogramme

3.2.2. L'outil LOTUS (Label pour Orienter les Technologies et les Us vers la Soutenabilité)

L'originalité de cet outil réside dans sa capacité à replacer l'activité économique dans son contexte social et environnemental plus large. Il permet d'évaluer un projet dans toutes ses dimensions en mesurant sa capacité non seulement à respecter, mais également à favoriser les conditions nécessaires à la régénération d'un espace sûr et juste pour l'humanité. Cet espace est représenté de manière symbolique par un diagramme en forme de «donut» (ou «doughnut»). Ce diagramme est structuré autour de deux éléments clés :

- La périphérie du donut représente les « plafonds environnementaux », qui sont définis en s'appuyant sur les travaux du Stockholm Resilience Centre concernant les « limites planétaires ». Ces limites font référence aux seuils environnementaux au-delà desquels les activités humaines risquent de provoquer des changements irréversibles et potentiellement catastrophiques pour l'environnement et, par conséquent, pour l'humanité elle-même. Parmi ces limites, on peut citer le changement climatique, l'érosion de la biodiversité, ou encore la perturbation des cycles de l'azote et du phosphore.
- La base du donut représente les « planchers sociaux », qui sont définis en référence aux Objectifs de Développement Durable (ODD) des Nations Unies. Les ODD constituent un ensemble d'objectifs ambitieux visant à mettre fin à la pauvreté, à lutter contre les inégalités et à stopper le changement climatique d'ici 2030. Ils couvrent un large éventail de domaines, allant de la santé et de l'éducation à l'égalité des sexes et à l'accès à l'eau et à l'énergie.

Afin de rendre la représentation et surtout l'interprétation des différents secteurs du donut plus simple pour les acteurs de l'atelier, il a été représenté sur le plateau de l'Atelier LOTUS sous la forme d'un tableau comme le présente la figure ci-après.

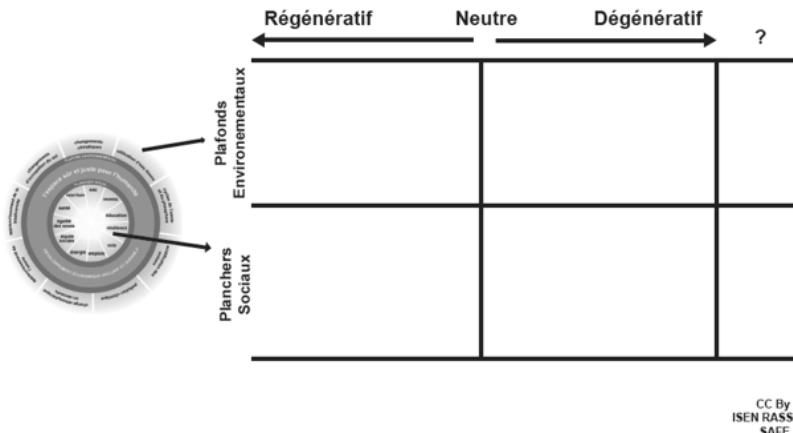


Figure 4 : Représentation du Donut sur le Plateau Atelier LOTUS

L'idée sous-jacente à cet outil est de s'assurer que les projets économiques contribuent à maintenir l'humanité dans un espace sûr et viable, entre les plafonds environnementaux à ne pas dépasser pour éviter les catastrophes écologiques, et les planchers sociaux à atteindre pour garantir une vie digne à tous. Ainsi, cet outil encourage une économie qui œuvre pour le bien-être humain tout en préservant la planète.

Jusqu'à présent, le cadre du Doughnut Economics a principalement été utilisé dans le champ des sciences politiques, pour concevoir, par exemple, des politiques territoriales. Il existe également des cas d'application de ce modèle à des entreprises. En revanche, il n'a pas encore été utilisé de façon systématique pour l'évaluation et le suivi de projets de Recherche et Développement.

Pour rendre cet outil pleinement efficace, les chercheurs du laboratoire RASSCAS se sont appuyés sur quatre principes clés.

Premièrement, l'outil devait permettre de réunir un panel représentatif des acteurs d'un projet, favorisant ainsi la pluridisciplinarité. C'est pourquoi il a été décidé de concevoir un atelier de 3 à 4 heures, destiné à un petit groupe de 6 à 10 personnes. L'objectif est de réunir des profils divers, comprenant des techniciens, des ingénieurs, des communicants, des commerciaux, des spécialistes de l'approvisionnement et des chefs de projet, afin de bénéficier de leur expertise et de prendre en compte les contraintes des différents services ou acteurs.

Deuxièmement, l'atelier devait permettre aux participants de suivre un cheminement réflexif complet pour que l'atelier dépasse la simple prise de conscience. Pour cela, au cours des étapes de l'atelier, les participants sont amenés à répondre aux six types de questions pour stimuler la réflexion de la pratique réflexive² [LAF 04]. L'atelier se découpe en huit étapes formalisées sur un plateau imprimé (Voir figures ci-après).

Troisièmement, la controverse est encouragée tout au long de l'atelier. Les participants sont incités à examiner les aspects positifs et négatifs du projet, à identifier les points de blocage, les opposants et la concurrence, et à évaluer leurs arguments. Ils sont même invités à endosser des personas (un parc naturel,

² La pratique réflexive exige des questions qui stimulent la réflexion afin que les personnes accompagnées en viennent à se questionner elles-mêmes, à s'auto observer et à s'auto évaluer. Elle favorise ainsi des prises de conscience pour plus de cohérence entre pensées et actions. Les six types de question sont : informatif, descriptif, réflexif, métacognitif, affectif et, enfin, conceptuel.

une rivière, une espèce endémique ...) pour défendre leur position et prendre en compte des aspects subjectifs qui pourraient être négligés.

Quatrièmement, les participants doivent faire œuvre de prospective. L'atelier est conçu pour être un point de départ. Au cours du processus, les participants prennent conscience des impacts de leur projet, réfléchissent de manière structurée et recherchent des solutions. Pour concrétiser ce travail, il leur est demandé d'identifier les mesures à prendre à court, moyen et long terme pour rendre leur projet plus acceptable et réduire les externalités négatives. L'objectif est de créer une « feuille de route » pour guider les actions futures.

3.2.3. Description de l'outil *LOTUS* et de ses différents modules

L'atelier s'appuie sur un plateau pré-imprimé (sur matière effaçable et réutilisable) et 5 lots de cartes qui sont distribués au fil de l'exercice. Le plateau se compose de deux planches où figurent les différents outils employés, les numéros d'étape et un rappel des consignes (en gris sous le titre de l'étape). Ces deux planches sont placées sur un îlot de tables de manière à pouvoir circuler autour pour y déposer les cartes ou inscrire les réponses. La rotation se fait dans le sens des aiguilles d'une montre.

Un animateur accompagne l'équipe de projet pendant toute la durée de l'exercice, il veille au respect du temps, il distribue les lots de cartes, donne les consignes au fil des étapes et provoque les questionnements.

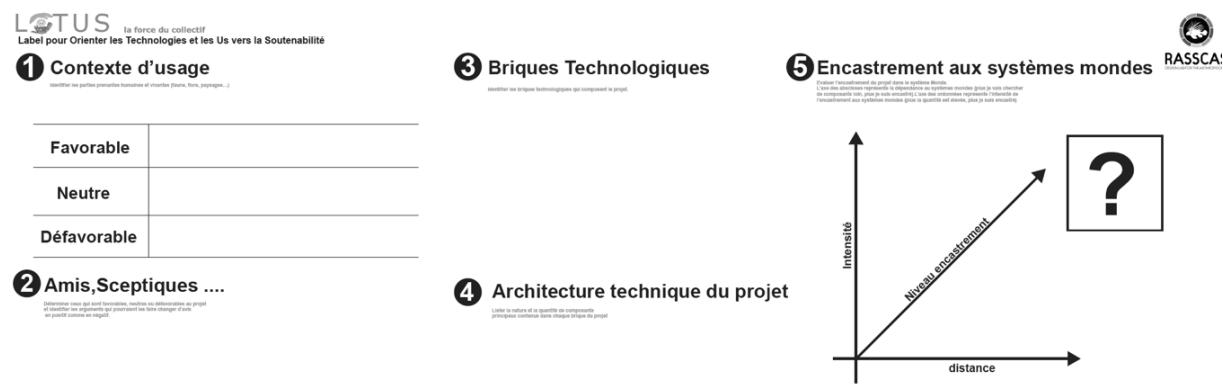


Figure 4 : Plateau Atelier *LOTUS* 1/2

Source : RASSCAS

Etape 1 : Contexte d'usage (30 minutes)

Cette première étape s'appuie sur la cartographie des controverses, développée par Michel Callon et Bruno Latour (1988), est une méthode d'analyse qui vise à représenter visuellement les acteurs, les enjeux et les positions dans un débat scientifique ou sociotechnique. Elle permet de mettre en lumière les réseaux d'acteurs, les arguments en présence et les incertitudes, offrant ainsi une vision dynamique des conflits et des alliances. Cette approche, issue des sciences sociales, s'applique particulièrement aux questions environnementales, technologiques ou politiques où les savoirs et les intérêts sont en tension.

L'animateur distribue le lot de cartes N°1 et demande aux joueurs d'identifier les parties prenantes humaines et vivantes (faune, flore, paysages...) impactées par leur projet.

Les membres de l'équipe placent ces parties prenantes dans le tableau proposé selon qu'ils y sont favorables, neutres ou défavorables.

Cheminement réflexif : « Qu'est-ce que nous considérons comme des parties prenantes importantes pour notre projet et pourquoi ?» (Question de clarification).

Etape 2 : Identification des « facilitateurs » et des « freins » (10 minutes)

Madeleine Akrich (1991) a montré que le succès d'une innovation dépend largement du choix des porte-parole qui la représentent, ces derniers jouant un rôle crucial dans la traduction des besoins et des

attentes des différents acteurs. Cette approche, ancrée dans la sociologie de l'innovation, met en lumière comment les choix de représentation influencent la diffusion. En s'appuyant sur l'étape précédente, ils identifient les motivations de ces parties prenantes. Cette étape donne lieu à des discussions entre les participants afin de déterminer les raisons des oppositions ou les limites à ne pas franchir pour faire basculer dans le camp des opposants ceux qui sont neutres ou favorables. Ils peuvent les inscrire sur le plateau de jeu à côté de la carte correspondante.

Cheminement réflexif : « Quels sont les facteurs qui influencent les motivations de nos parties prenantes et comment pouvons-nous les utiliser pour améliorer notre projet ?» (Question d'analyse)

Etape 3 : Briques technologiques (10 minutes)

Dans le but de mieux appréhender le poids de leur technologie, objet ou concept, l'animateur distribue le lot de cartes N°2 et demande aux participants d'identifier les briques technologiques qui composent leur projet. Les cartes correspondantes sont placées sur le plateau.

Cheminement réflexif : « Quelles sont les briques technologiques qui sont essentielles pour notre projet et comment pouvons-nous les intégrer de manière efficace ?» (Question de planification)

Etape 4 : Architecture technique du projet (20 minutes)

A partir des cartes placées sur le plateau, il est demandé aux participants de lister la nature et la quantité de composants principaux contenus dans leur projet. Par exemple, face à la carte écrans, ils pourraient inscrire 2 écrans LCD 7 pouces ... L'assemblage des briques techniques entre elles est rendu visible par un schéma d'architecture. C'est un moment où l'ensemble des personnes autour de la table partage une vision commune de la façon dont « fonctionne » l'innovation proposée.

Cheminement réflexif : « Comment les différents composants de notre projet interagissent-ils les uns avec les autres et quels sont les risques associés à cette interaction ?» (Question d'évaluation)

Etape 5 : Encastrement aux systèmes mondes (30 minutes)

La notion de système-monde, telle que développée par Michel Serres [SER 00], décrit un réseau complexe d'interdépendances où humains, techniques et environnements s'entrelacent dans une dynamique globale. Contrairement aux approches traditionnelles de l'histoire ou de la géopolitique, Serres y voit un flux continu d'échanges, de conflits et de mutations, où chaque élément influence l'ensemble. Cette vision systémique, marquée par la métaphore du « parasite » ou du « tiers-instruit », révèle comment les innovations, les crises et les savoirs circulent dans un monde devenu un réseau unique et instable.

Cette partie de l'atelier mobilise les connaissances plus spécifiques sur le climat et les systèmes planétaires (IPCC, 2023) et sur les impacts environnementaux de la fabrication des sous-ensembles techniques tels que définis dans la base de données Empreinte© de l'Ademe.

L'animateur distribue le lot de cartes N°3 et demande aux participants d'évaluer l'encastrement dans le système Monde de leur projet. L'axe des abscisses représente la dépendance au systèmes mondes (plus je vais chercher de composants loin, plus je suis encastré). L'axe des ordonnées représente l'intensité de l'encastrement aux systèmes mondes (plus la quantité est élevée, plus je suis encastré). Une case marquée d'un point d'interrogation sert à déposer les cartes pour lesquels aucun participant ne peut apporter de réponse. Elles composeront le paragraphe « recherches à conduire » de la feuille de route finale.

Cheminement réflexif : « Quels sont les impacts de notre projet sur les systèmes mondiaux et comment pouvons-nous minimiser ces impacts ?» (Question de prise de conscience).

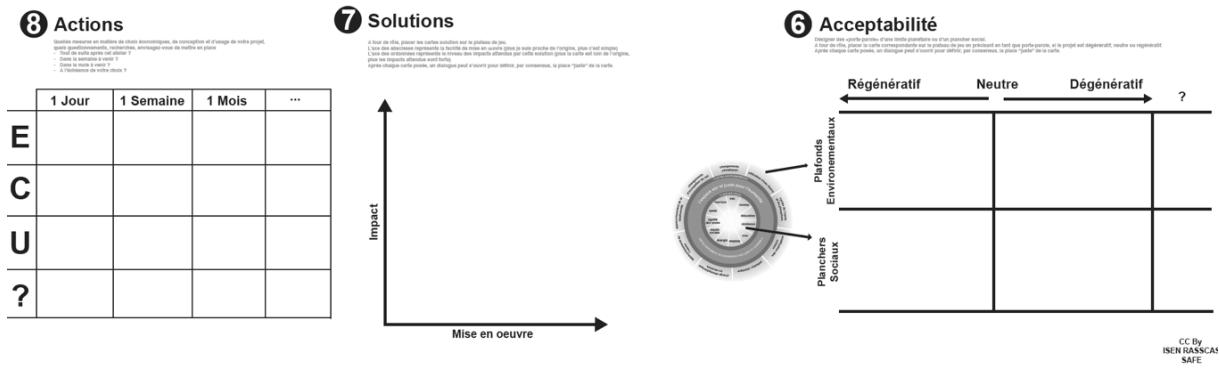


Figure 5 : Plateau Atelier LOTUS 2/2
Source : RASSCAS

Etape 6 : Les Portes paroles pour l'Espace sûr et juste (20 minutes)

L'animateur distribue le lot de cartes N°4 et demande aux participants de se faire “porte-paroles”, d’exprimer leurs “sentiments” et de dire si ce projet est dégénératif, neutre ou régénératif pour eux-mêmes, en tant que porte-parole. chacun se voit attribuer une carte représentant un paysage emblématique d’une limite planétaire (plafond environnemental), le désert d’Atakama pour l’eau, une baie bretonne pour leutrophisation etc... ; et une carte représentant un plancher social (emploi, égalité homme – femme...). Après chaque carte posée, un dialogue peut s’ouvrir pour définir, par consensus, la place “juste” de la carte.

Cette partie du jeu utilise des principes classiques du design responsable [VAN 13] [JEN 20] [STI 20], mais s’appuie également sur des travaux plus récents issus du courant du Life Centered Design [HOF 14] [TOM 21] [TOM 22] [PER 25].

La dernière colonne du tableau est, elle aussi, marquée d’un point d’interrogation. Les questions en suspens viendront également enrichir le paragraphe « recherches à conduire » de la feuille de route finale.

Cheminement réflexif : «Comment notre projet affecte-t-il les limites planétaires et les planchers sociaux, et quels sont les ajustements que nous devons faire pour améliorer notre impact ?» (Question de prise de conscience).

Etape 7 : Solutions (30 minutes)

Afin d’aller au-delà de ce constat et en vue de préparer la feuille de route pour rendre le projet le plus sûre et juste possible, l’animateur distribue le lot de cartes N°5 “Solutions” et demande aux joueurs à tour de rôle, de placer une carte sur le plateau de jeu. L’axe des abscisses représente la facilité de mise en œuvre. L’axe des ordonnées représente le niveau des effets attendus par cette solution. Comme lors de l’étape précédente, après chaque carte posée, un dialogue peut s’ouvrir pour définir, par consensus, la place “juste” de la carte.

Théoriquement, cette étape permet entre autres d’introduire les notions de modèles d’affaires de la fonctionnalité [IOA 16] (Acosta et al., 2014), ou les travaux plus récents sur les modèles régénératifs [IOA 16] (Sempels and Thuillier, 2022). Elle introduit aussi les notions de circularité.

Cheminement réflexif : «Quelles sont les solutions que nous pouvons mettre en œuvre pour réduire les impacts négatifs de notre projet et comment pouvons-nous les prioriser ?» (Question de planification).

Etape 8 : Calendrier des actions (30 minutes)

L’animateur pose la question suivante aux joueurs :

Quelles mesures en matière de choix économiques (E), de conception (C) et d’usage (U) de votre projet, quels questionnements, recherches, envisagez-vous de mettre en place

Tout de suite après cet atelier ?

Dans la semaine à venir ?

Dans le mois à venir ?

A l'échéance de votre choix ?

La dernière ligne servira à rédiger le paragraphe « recherches à conduire » de la feuille de route finale en priorisant les questionnements identifiés lors des étapes 5 et 6.

Cheminement réflexif : «Quelles sont les prochaines actions que nous devons conduire pour mettre en œuvre les solutions que nous avons identifiées et comment pouvons-nous nous assurer que nous sommes sur la bonne voie ?» (Question de suivi).

Les lots de cartes sont constitués de manière à servir de supports thématiques aux questionnements des participants. Chaque carte comprend sur son recto un titre et des informations visuelles, (schémas, photo, dessin). Sur son verso, un court texte permet de préciser le contexte, donner une définition ou expliquer un concept. Cette carte est lue à voix haute par la personne en charge de la disposer sur le plateau.

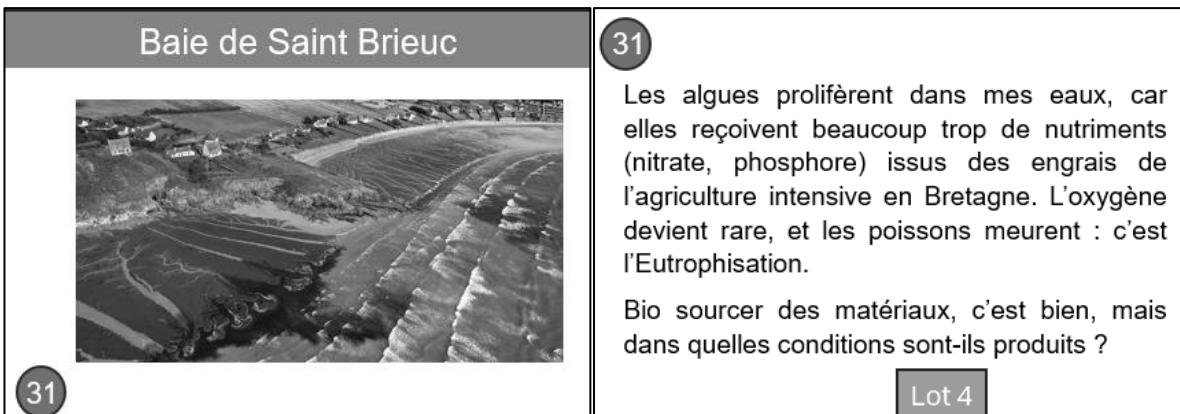
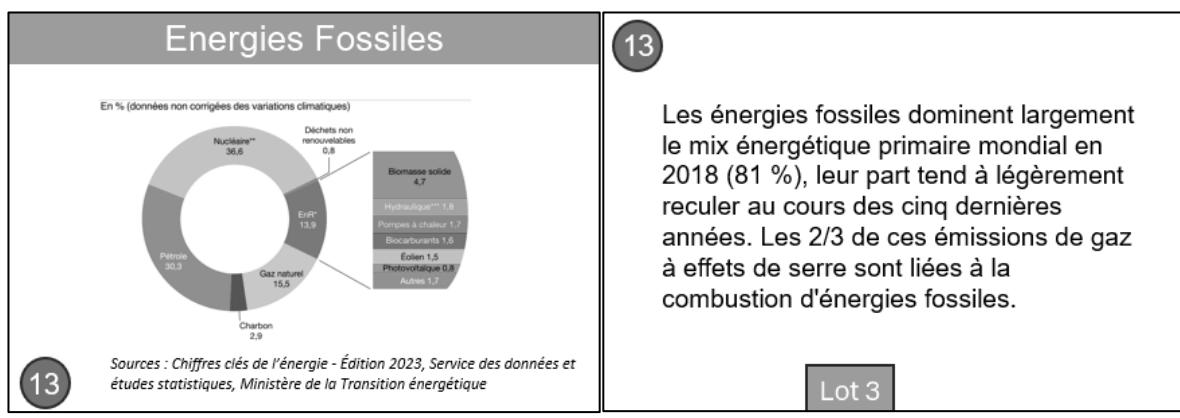


Figure 6 : Modèle de carte de l'atelier LOTUS

Ces lots de cartes ne sont pas figés. En effet, ils sont enrichis au fur et à mesure que des ateliers sont conduits au profit de divers projets, notamment en ce qui concerne le lot N° 2 qui présente les briques technologiques. De plus, dans chaque lot, l'animateur peut proposer une carte vierge pour ajouter une carte que les participants estiment nécessaire ou utile. Ces ajouts de cartes sont recensés et sont sélectionnées lors de la préparation de l'atelier pour répondre au contexte du projet à étudier.

Pour vérifier l'adaptabilité et la flexibilité de l'outil LOTUS dans différents contextes, deux premiers ateliers ont été conduits, entre mars et avril 2023, sur deux types d'entreprises différentes.

Le premier concernait le du projet de *proof of concept* (POC) porté par la société X sélectionnée en réponse à l'appel à manifestation d'intérêt (AMI) lancé par les pôles SAFE et OPTITEC en 2022. Il

s'agissait d'un drone de livraison devant évoluer dans des zones d'accès complexe (Îles) ou isolées (Vallées isolées).

Le second concernait une société Y, partenaire des Pôles de compétitivités SAFE et OPTITEC, spécialisée dans l'accompagnement vers la labellisation des projets.

4. Cas d'étude et résultats

En ce qui concerne l'atelier concernant le POC de la société X, l'atelier a été conduit avec l'ensemble de l'équipe projet, 8 personnes. Ce premier atelier a eu lieu dans les locaux du pôle SAFE en présence du personnel chargé à terme d'animer les ateliers. Il a nécessité en amont, une courte réunion de calage permettant d'identifier les briques technologiques concernées par le projet (préparation du lot de cartes N°2).

L'atelier devant servir de test et en même temps devant permettre de produire des conclusions concrètes au profit de l'entreprise X, qui a bien voulu se soumettre à l'exercice, s'est déroulé en 4 étapes.

Une courte réunion de calage, en présence de tous les participants et observateur, a permis de présenter les objectifs et attendus de l'atelier. Puis, l'atelier a eu lieu conformément au rythme et aux contenus présentés dans les paragraphes précédents. En fin d'atelier, les animateurs ont recueilli séparément (notes et vidéos) les retours d'expérience des participants (personnel de la société X) et des observateurs (futurs animateurs du Pôle SAFE). Enfin, un questionnaire « à froid » a été adressé après 15 jours, à chacun afin qu'il puisse s'exprimer sur ce qu'il a tiré de cet atelier.

Pour confirmer ou infirmer les remarques formulées lors du premier test, le second, au profit de l'entreprise Y, a été conduit de la même manière.

La synthèse des retours est présentée dans le tableau ci-dessous, les numéros et titres des étapes figurent dans l'ordre initialement prévu :

Tableau 1 : Synthèse des retours d'expérience des 2 ateliers Tests

	Remarques formulées par l'équipe de l'entreprise X : Projet technique	Remarques formulées par l'équipe de l'entreprise Y : Entreprise de conseil	Remarques formulées par les futurs animateurs
Amont		Étape indispensable pour identifier les bonnes briques technologiques.	
1. Briques technologiques	Le principe des briques techno parle à tout le monde.	Difficile à appréhender pour les acteurs de services.	
2. Architecture technique du projet	C'est le premier moment où tous les membres de l'équipe ont une vision globale du produit.		Il serait bien de disposer d'un « pense-bête » consultable directement sur le plateau
3. Encastrement aux systèmes mondes		Penser à les considérer sous l'angle des déplacements, de l'utilisation du numérique et de l'éthique (des clients).	
4. Contexte d'usage	Il serait intéressant de débuter l'atelier par cette partie.		
5. Identification des « facilitateurs » et des « freins »	Il serait bien d'avoir un peu plus de temps pour discuter des leviers possibles pour lever les freins.		
6. Acceptabilité	Le rôle de porte-parole est ludique et très pédagogique.		Il est important de former les futurs animateurs sur les limites planétaires et planchers sociaux.
7. Solutions			
8. Actions	Présence de décideurs nécessaire pour cette partie (chef de projet)		
Divers		Une fois la feuille de route tracée, est-ce que d'autres rendez-vous sont programmés ?	Trame de compte-rendu intéressante et bien adaptée aux différents types d'entreprises.

L'exploitation de ces retours d'expérience a conduit l'équipe de concepteurs de cet outil à l'aménager et le compléter.

4.1. Finalisation du plateau de l'outil LOTUS

La remarque concernant l'ordre des étapes, formulée par les deux équipes participantes a contribué à modifier cet ordre. Dans la version définitive du plateau (Figure 4), l'atelier commence par le contexte et l'identification des « facilitateurs » et des « freins ». Cette mesure permet de mieux identifier les parties prenantes. Cet aménagement est également intéressant pour l'animateur qui peut dès le début de l'atelier solliciter l'ensemble de l'équipe. Dans la version initiale, débuter par les briques technologiques donnait plutôt la parole aux techniciens au risque de laisser de côté des participants plus discrets.

Au sujet du « pense-bête », les consignes de chaque étape sont désormais imprimées en gris sous les titres. Elles peuvent donc servir de support à l'animateur et permettre aux participants de relire la consigne pendant les discussions.

Au cours de l'année 2024, les ateliers organisés avec cette version adaptée et améliorée ont permis de valider ces transformations. Désormais le plateau est imprimé sur papier plastifié permettant une plus grande longévité du support et une grande souplesse dans son utilisation. Les différents acteurs peuvent annoter le plateau (description de l'architecture et l'intensité du projet), y ajouter des notes autocollantes (notamment pour symboliser les parties prenantes des étapes 1 et 2).

4.2. Adaptation des jeux de cartes

La plupart des jeux de cartes sont transposables quel que soit le type de projet. Seul le jeu N°2 concernant les briques technologiques doit être adapté. Selon la nature du projet à évaluer, les briques technologiques sont différentes. Les animations effectuées depuis le lancement de l'outil, ont permis de créer une liste d'une trentaine de briques technologiques génériques (Moteurs, châssis, télécommande, écrans...). Dans tous les cas, la réunion de calage avant l'atelier doit permettre d'identifier la ou les briques manquantes.

4.3. Organisation de l'atelier

Les retours d'expérience confirment la nécessité de conduire une réunion avant l'atelier. Il n'est pas nécessaire d'y convier toute l'équipe, si son représentant connaît bien le projet. Cette réunion doit permettre à l'animateur de vérifier qu'il dispose des cartes représentant les différentes briques technologiques, et d'identifier le ou les milieux de déploiement du projet afin d'effectuer quelques recherches personnelles pour guider les questionnements des participants.

Certaines étapes méritent un peu plus de temps pour que les discussions se mettent en place. Cependant, le choix est fait de ne pas revoir le cadencement de l'exercice. En effet, un débordement de 4 à 5 minutes sur une étape n'a pas de conséquences sur l'ensemble de l'atelier. En revanche, octroyer trop de temps à certaines étapes risque de convoquer prématulement des questionnements qui sont sensés arriver plus tard dans le cheminement réflexif. Par exemple, explorer trop longtemps les freins au projet et leurs motivations risquerait de conclure à des solutions partielles alors qu'il est prévu de proposer des solutions plus tard, dans l'avant dernière partie où, il est demandé de réfléchir aux solutions et à leurs impacts de manière plus globale et systémique.

4.4. Feuille de route

La feuille de route est rédigée par l'animateur à partir des conclusions de l'atelier, des notes prises pendant les échanges et surtout en reprenant les échéanciers proposés lors de l'étape N°8 « Actions ». Un modèle type est proposé dans le guide de l'animateur. Ils se compose des conclusions partielles de chaque étape et du calendrier des actions prévues dans les domaines économiques, de la conception, des usages et des questions restées sans réponses lors de l'exercice.

La trame de compte-rendu permet de fixer l'ensemble des notions abordées lors de l'atelier. La sensibilisation sur les problèmes d'acceptabilité du projet ou sur ses impacts touche tous les participants et le fait de la formaliser dans un compte-rendu permet à chacun de s'y référer.

En plus de la feuille de route, le plateau support de l'atelier, comprenant des notes, les cartes et des questionnements peut être mis à la disposition de l'équipe (au moins sur support numérique).

4.5. Analyse des résultats obtenus et des impacts constatés

Étant donné que les projets suivis par les Pôles de compétitivité sont des projets innovants et sensibles, il difficile de décrire avec précision les projets accompagnés. Néanmoins, l'Outil LOTUS a

été utilisé au cours de l'année 2024 dans le cadre de la certification et de la labélisation de projets relativement divers.

Les projets de drone concernaient en particulier des systèmes de livraison de produits sensibles au profit d'hôpitaux ou de services de secours, ou déployés dans des environnements complexes (survols urbains ou de sites naturels protégés...)

Une formation des animateurs a été développée et ouverte à d'autres acteurs partenaires des Pôles de compétitivité. Une convention de partenariat est en cours de rédaction afin d'assurer le développement et la diffusion de l'outil auprès d'autres acteurs économiques qui en feraient la demande.

Dans tous les cas, LOTUS s'est rapidement imposé comme un outil pertinent pour répondre aux exigences des organismes financeurs d'innovation. Depuis quelques années, les programmes de financement de la recherche et de l'innovation Horizon Europe³, BpiFrance⁴ ou de l'ADEME⁵ ont considérablement renforcé leurs exigences en matière d'acceptabilité sociale et environnementale. Les porteurs de projet doivent donc prendre en compte ces aspects le plus tôt possible dans l'élaboration du projet. Cet outil leur permet non seulement de prendre conscience de leurs impacts et des secteurs qu'ils ne maîtrisent pas, mais en plus, il les aide à planifier leurs actions correctives et de recherche d'information pour corriger leurs excès ou leurs défauts.

5. Discussion et perspectives

L'outil LOTUS a été conçu pour répondre aux défis de l'Anthropocène en favorisant une conception responsable et durable des technologies. La métaphore du doughnut proposée par Kate Raworth a permis d'articuler d'autres exercices pour susciter un questionnement objectif et constructif. Les résultats des expérimentations menées dans le cadre de cette recherche et les ateliers conduits au cours du dernier trimestre 2023 et en 2024 montrent que l'outil est pertinent pour évaluer les impacts sociaux et environnementaux des projets technologiques et pour inciter les concepteurs à prendre en compte les limites planétaires et les besoins sociaux. Cet exercice finalement peu contraignant, s'avère particulièrement efficace quand il est conduit dès les premières phases d'un projet.

5.1. Apports de l'outil LOTUS

L'outil LOTUS présente plusieurs apports significatifs pour la conception responsable et durable des technologies. Tout d'abord, il permet de structurer la réflexion des équipes de projet autour des impacts sociaux et environnementaux de leurs projets ce qui est en ligne avec les principes de la Design Science qui vise à «créer des connaissances et des artefacts qui répondent aux besoins des utilisateurs et aux exigences du contexte» [SIM 96]. Les huit étapes de l'atelier guident les participants dans une analyse approfondie de leur projet, depuis l'identification des parties prenantes jusqu'à la conception de solutions pour réduire les impacts négatifs.

Par exemple, alors que les outils d'évaluation environnementale et sociale se multiplient, ils interviennent le plus souvent trop tard, une fois les choix stratégiques et techniques arrêtés. Or, c'est dès la définition des objectifs, des cahiers des charges et des orientations technologiques que se jouent les leviers décisifs de réduction des impacts. Entre évaluations a posteriori (ACV, Bilan Carbone) et cadres

³ Commission européenne - Horizon Europe : https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_fr

⁴ BpiFrance : <https://www.bpifrance.fr/>

⁵ ADEME : <https://www.ademe.fr/>

stratégiques généraux (RSE, ODD) manquant d'opérationnalité en amont, un vide méthodologique persiste.

La méthode LOTUS comble ce vide. Elle propose une lecture systémique des impacts d'un projet futur en le l'observant dans un cadre plus large : celui de son acceptabilité socio-environnementale, de sa capacité à réduire, à préserver ou à régénérer un espace sûr (limites planétaires) et juste (planchers sociaux) pour l'humanité. Ce cadre évite ainsi les approches en silos — focalisées sur un seul indicateur (GES, toxicité, etc.) — et restituant la complexité écologique et sociale des projets, indispensable à l'ère de l'Anthropocène.

Ensuite, l'outil LOTUS favorise la collaboration et la communication entre les membres de l'équipe de projet. Les discussions et les échanges qui ont lieu pendant l'atelier permettent de partager les connaissances et les expertises, et de développer une vision commune du projet. Cela permet à chacun de prendre en compte les contraintes des autres services pour y répondre dans un cadre choisi collectivement. Ici, l'apport majeur de LOTUS par rapport à des démarches d'expertise est procédural. En impliquant, dès l'amont, ingénieurs, designers, responsables RSE, utilisateurs finaux et autres parties prenantes, elle dépasse les cloisonnements disciplinaires et fait émerger une vision partagée des enjeux et des solutions. L'évaluation cesse d'être un exercice de conformité pour devenir un véritable levier d'amélioration des projets très amont.

Enfin, l'outil LOTUS fournit un cadre pour évaluer les impacts sociaux et environnementaux des projets technologiques de manière systématique et rigoureuse. Les résultats de l'atelier LOTUS peuvent être utilisés pour éclairer les décisions de conception et pour prioriser les actions correctives.

5.2. Limites de l'outil LOTUS

Malgré ses apports indéniables, l'outil LOTUS présente certaines limites. Tout d'abord, pour rester générique et être adapté à tout type d'activité, il nécessite des ajustements et des améliorations continues, notamment pour concevoir les cartes des briques technologiques. Les résultats des expérimentations ont également mis en évidence que certaines étapes de l'atelier peuvent être difficiles à mettre en œuvre, si le ou les animateurs n'ont pas une compréhension approfondie des limites planétaires et des besoins sociaux. Ils ont besoin d'être formés pour faciliter les discussions et les échanges pendant l'atelier, et pour aider les participants à comprendre les concepts et les outils utilisés.

Ces deux faits impliquent que soit mis en place une organisation fine qui permette de tenir une « cartothèque des briques technologiques » pertinente et à jour et, de tenir un registre des animateurs habilités à conduire l'atelier, c'est-à-dire formés et informés des évolutions possibles.

Les résultats des expérimentations ont montré que l'outil LOTUS est pertinent pour les projets technologiques. Le degré de pertinence est dépendant du moment auquel est conduit l'atelier, plus il arrive tôt dans le processus de conception, moins les mesures correctives qu'il génère seront perçues comme contraignantes.

Dans ce contexte, à l'instar des pôles SAFE et OPTITEC, l'idée de créer un label issu de l'atelier LOTUS permettrait au plus grand nombre de solliciter cet accompagnement.

Une convention d'exploitation de l'outil LOTUS est en cours de rédaction.

5.3. Perspectives pour le développement futur de l'outil LOTUS

Les résultats des expérimentations et les limites identifiées ci-dessus fournissent des pistes pour le développement futur de l'outil LOTUS. La poursuite des ajustements et les améliorations de l'outil pour répondre aux besoins des utilisateurs ne relève plus que de l'adaptation aux nouveaux secteurs d'activité

des entités sollicitant un accompagnement. Cela concerne essentiellement la mise à jour des ressources, et la formation continue des animateurs.

En ce qui concerne la diffusion plus large de l'outil LOTUS dans les communautés de conception et de développement de technologies s'appuie sur deux axes pour 2025.

Tout d'abord, la rédaction de la convention qui vise à permettre l'exploitation et la diffusion de l'outil conçu par les experts du laboratoire RASSCAS de l'ISEN à la demande du pôle de compétitivité SAFE. Elle fixe les responsabilités de chacune des parties et organise cette exploitation de LOTUS de manière permanente. Il y est aussi prévu d'associer les initiatives et les moyens des deux parties pour favoriser sa diffusion au profit des membres du Pôle SAFE en particulier et du tissu économique régional en général.

Une version numérique de l'outil est en cours de développement. Cette version pourrait selon l'option choisie :

Servir de préparation à l'atelier physique ;

Être un outil d'accompagnement (servi par une IA) pour répondre aux questions des équipes projet pendant la mise en œuvre de la feuille de route (donc après un atelier).

Proposer un outil d'auto-évaluation.

Pour finir, l'outil LOTUS a largement dépassé les objectifs initiaux qui lui avaient été assignés, révélant ainsi son potentiel pour devenir une référence dans le domaine de la conception et du développement de technologies. Les retours d'expérience issus de plus d'un an et demi d'exploitation dans divers contextes, ont montré qu'il présentait de nombreux avantages supplémentaires par rapport à d'autres outils similaires. Par exemple, des outils tels que le «Design Thinking» ou la «Méthode Agile⁶» sont couramment utilisés pour améliorer la conception et la mise en œuvre de projets, mais ils se concentrent souvent sur des aspects spécifiques du processus. En revanche, l'outil LOTUS se distingue par sa capacité à prendre en compte l'ensemble des dimensions d'un projet, de la conception à la mise en œuvre, en passant par l'acceptabilité sociale et environnementale tant sur le plan de la conception que sur ceux des usages ou du démantèlement.

De plus, LOTUS peut être comparé à d'autres outils de gestion de projet tels que le «Project Management Body of Knowledge (PMBOK)⁷ » ou la «Méthode PRINCE2⁸ », qui fournissent des cadres pour la gestion de projet. Cependant, bien qu'ils permettent de gérer un projet de bout en bout, ces outils se concentrent souvent sur les aspects techniques et financiers du projet. L'outil LOTUS, est plus limité dans le temps puisqu'il apporte une aide surtout en amont du projet, mais il intègre tous les besoins et limites de l'ensemble de l'écosystème au sein duquel le projet est conçu, produit, utilisé et recyclé.

6. Conclusion

«La terre n'est pas un héritage de nos parents, mais un emprunt à nos enfants» (Antoine de Saint-Exupéry). Cette citation nous rappelle l'importance de prendre en compte les impacts de nos actions sur l'environnement et les générations futures. L'outil LOTUS, développé par le laboratoire RASSCAS, représente une avancée significative dans la conception responsable et durable des technologies.

Les résultats des expérimentations et les retours d'expérience ont démontré son efficacité pour évaluer les impacts sociaux et environnementaux des projets technologiques et inciter les concepteurs à

⁶ La méthode agile est une méthode de gestion de projet. L'idée, lorsque l'on utilise cette approche, est d'apporter souplesse et performance à la gestion de projet. Centrée sur l'humain et la communication, elle permet aux clients de participer au développement d'un produit tout au long de l'avancement du projet.

⁷ Le Project Management Body of Knowledge (PMBOK), est le guide du Project Management Institute définissant les champs de connaissance couvrant la gestion de projet, et recensant les bonnes pratiques professionnelles en la matière.

⁸ Le Project Management Body of Knowledge (PMBOK), est le guide du Project Management Institute définissant les champs de connaissance couvrant la gestion de projet, et recensant les bonnes pratiques professionnelles en la matière.

prendre en compte les limites planétaires et les besoins sociaux. L'outil LOTUS se distingue des autres outils de gestion de projet par sa capacité à prendre en compte l'ensemble des dimensions d'un projet, de la conception en passant par sa mise en œuvre et jusqu'à sa neutralisation.

Les perspectives de développement futur de l'outil LOTUS sont prometteuses, avec des plans pour développer une version numérique et élargir son utilisation dans les communautés de conception et de développement de technologies. Cela permettra de poursuivre l'objectif de créer des technologies plus durables et responsables, et de contribuer à une transition vers une économie circulaire et régénérative.

L'outil LOTUS peut être utilisé dans divers contextes, tels que la conception de produits, la gestion de projet et la planification stratégique. Il peut aider les entreprises et les organisations à identifier les opportunités et les défis liés à la durabilité, et à développer des stratégies pour les relever.

La diffusion de l'outil LOTUS dans les communautés de conception et de développement de technologies est un enjeu crucial pour son succès. Les efforts pour promouvoir l'outil et former les utilisateurs sont essentiels pour garantir son adoption et son utilisation efficace.

En conclusion, l'outil LOTUS représente une contribution significative à la conception responsable et durable des technologies. Son développement et sa diffusion sont essentiels pour créer un avenir plus durable et régénératif. Les perspectives de développement futur de l'outil sont prometteuses, et il est susceptible de jouer un rôle important dans la transition vers une économie plus circulaire et régénérative.

Contrairement aux approches usuelles — ACV et Bilans Carbone majoritairement *a posteriori* et centrés sur quelques indicateurs, audits RSE/compliance surtout déclaratifs, matrices de risques peu opératoires en conception — la méthode LOTUS se distingue par quatre apports complémentaires et spécifiques: (1) une intervention *ex ante*, au moment où les choix sont encore réversibles, qui outille la conception plutôt que de mesurer *a posteriori*; (2) une lecture véritablement systémique croisant limites planétaires et planchers sociaux, évitant les optimisations en silo (réduction de GES qui agrave la toxicité, gains d'écoconception qui dégradent les conditions sociales, etc.); (3) un dispositif participatif et cadré (atelier en huit étapes) qui met en co-construction les parties prenantes, transforme l'évaluation en arbitrages de design documentés et priorisés, et assure la traçabilité des décisions; (4) une articulation fine entre qualitatif et quantitatif: LOTUS ne remplace pas l'ACV ou les métriques ESG mais les mobilise au bon moment pour éclairer des scénarios, établir des critères d'acceptabilité et construire une feuille de route d'actions correctives. Au total, LOTUS passe d'une logique de contrôle à une logique de gouvernance, reliant directement l'analyse des impacts à la stratégie de conception, à la négociation des compromis et à l'apprentissage collectif des équipes.

Enfin, l'outil LOTUS peut être considéré comme un exemple de la manière dont les sciences sociales et les sciences de l'ingénieur peuvent travailler ensemble pour créer des solutions innovantes et durables. La collaboration entre les disciplines est essentielle pour relever les défis complexes de la durabilité, et l'outil LOTUS représente un modèle pour cette collaboration.

Bibliographie

- [ACO 10] Acosta, G.G. and Romeva, C.R. (2010), From anthropocentric design to ecospheric design: questioning design epicentre', *ds 60: proceedings of design 2010, the 11th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia*, pp. 29–38.
- [ACQ 20] Acquier, A. (2020), L'innovation technologique à l'épreuve de l'anthropocène', *Cahiers français*, (n° 414).
- [AGG 20] Aggeri, F. (2020), Vers l'innovation responsable', *Revue Esprit*, (n° 462), pp. 40–51.

[AHM 18] Ahmad, S., Wong, K. Y., Tseng, M. L., & Wong, W. P. (2018), Sustainable product design and development: A review of tools, applications and research prospects. *Resources, Conservation and Recycling*. 132, 49-61.

[AKR 91] Akrich, M. (1991), L Analyse Socio-Technique, pp. 1–12.

[AKR 88] Akrich, M., Callon, M. and Latour, B. (1988), A quoi tient le succès des innovations? 2 : Le choix des porte-parole, *Gérer et comprendre. Annales des Mines*, 12.

[BAL 24] Baldassarre, B., Calabretta, G., Oswald Karpen, I., Bocken, N., Hultink, E. (2024), Responsible Design Thinking for Sustainable Development: Critical Literature Review, New Conceptual Framework, and Research Agenda, *Journal of Business Ethics*.

[BUC 92] Buchanan, R. (1992), Wicked Problems in Design Thinking. *Design Issues*, 8(2), 5-21.

[CON 20] Conceição, P (sous la direction de). (2020), Rapport sur le développement humain 2020. La prochaine frontière - Le développement humain et l'Anthropocène. *Programme des Nations Unies pour le développement*, New York.

[CRU 02] Crutzen, P.J. (2002), Geology of Mankind. *Nature*, 415(686), 23.

[DES 13] Descola, P. (2013), Par-delà nature et Culture. *Éditions Gallimard*.

[HAM 15] Hamilton, Clive., Bonneuil, Christophe. and Gemenne, F. (2015), The anthropocene and the global environmental crisis. *Routledge*.

[HAU 23] Hausdorf, M. and Timm, J.M. (2023), Business research for sustainable development: How does sustainable business model research reflect doughnut economics?, *Business Strategy and the Environment*, 32(6), pp. 3398–3416.

[HOF 14] Hofstra, N. and Huisingsh, D. (2014), Eco-innovations characterized: A taxonomic classification of relationships between humans and nature, *Journal of Cleaner Production*, 66.

[KOR 19] Kormelink, J.G. (2019), Responsible Innovation-Ethics, Safety and Technology, *open Textbook*.

[LAF 04] Lafourture, L. avec la collaboration de S. Cyr et B. Massé et la participation de G. Milot et K. Benoît. (2004), Travailler en équipe-cycle. Entre collègues d'une école, *Presses de l'Université du Québec*.

[MOR 17] Morton, T. (2017), Humankind: Solidarity with Nonhuman People. *Verso Books*.

[PER 25] Pérocheau, G. Pierre, JP. (2025), Dans la peau du vivant. Le persona non humain (PNH) : un outil pour un design centré vivant, *Nature Sciences et Sociétés*.

[PIE 24] Pierre, J.-P. and Perocheau, G. (2024), Designing Technical Systems in The Anthropocene: Manifesto for a New Paradigm, *Journal of Biosensors and Bioelectronics Research*, pp. 1–4.

[RAW 17] Raworth, K., (2017), Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist, *Random House Business*.

[RIZ 16] Aziz, R., Chevakidagarn, P., & Danteravanich, S. (2016), Life cycle sustainability assessment of community composting of agricultural and agro industrial wastes. *Journal of Sustainability Science and Management*, Vol. 11 No 2, pp 57- 69

[ROC 09] Rockström, J., Steffen, W., Noone, K. et al. (2009), A safe operating space for humanity. *Nature* 461. 472–475.

[SAH 22] Sahan, E. et al. (2022), What Doughnut Economics means for business: creating enterprises that are regenerative and distributive by design'.

[SCH 25] Schöngart, S., Nicholls, Z., Hoffmann, R. et al. (2025), High-income groups disproportionately contribute to climate extremes worldwide. *Nat. Clim. Chang.*

[SEM 22] Sempels, C. and Thuillier, B. (2022), Qu'est-ce qu'une entreprise régénérative ? Introduction et mise en contexte', *Lumia* [Preprint].

[SER 00] Serres, M. (2000), Le nouvel objet-monde', *Retour au Contrat naturel*, pp. 12–15.

[SHU 19] Shukla, J., Skea, E., Calvo Buendia, V., (2019), Changement climatique et terres : un rapport spécial du GIEC sur le changement climatique, la désertification, la dégradation des terres, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire et les flux de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres. *GIEC*. P25.

[SIM 96] Simon, H. A. (1996), The Sciences of the Artificial. *MIT Press*.

[STI 20] Stilgoe, J., Owen, R. and Macnaghten, P. (2020), Developing a framework for responsible innovation, *The Ethics of Nanotechnology, Geoengineering and Clean Energy*, pp. 347–359..

[TOM 21] Tomlinson, B. *et al.* (2021), Ecosystemas: Representing Ecosystem Impacts in Design, *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings* [Preprint].

[TUR 22] Turner, R.A. and Wills, J. (2022), Downscaling doughnut economics for sustainability governance, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 56, p. 101180.

[VAN 13] Van den Hoven, J. (2013), Value Sensitive Design and Responsible Innovation', *Responsible Innovation: Managing the Responsible Emergence of Science and Innovation in Society*, pp. 75–83. Available at: <https://doi.org/10.1002/9781118551424.CH4>.

[VIG 22] Vignoli, M. *et al.* (2022) 'Evolving the "How Might We?" Tool to Include Planetary Boundaries, *Proceedings of the Design Society*, 2, pp. 1159–1168.

[WHI 13] Whiteman, G., Walker, B. and Perego, P. (2013), Planetary Boundaries: Ecological Foundations for Corporate Sustainability, *Journal of Management Studies*, 50(2).