



HAL
open science

Démonstrateurs pour l'analyse d'alternatives socio-techniques

Léa Vienot

► **To cite this version:**

Léa Vienot. Démonstrateurs pour l'analyse d'alternatives socio-techniques. Modélisation et simulation. 2022. hal-03867864

HAL Id: hal-03867864

<https://inria.hal.science/hal-03867864v1>

Submitted on 23 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.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE
PROMOTION X 2019
Master : Sciences pour les Défis de l'Environnement

VIENOT Léa



RAPPORT DE STAGE DE RECHERCHE

DEMONSTRATEURS POUR L'ANALYSE D'ALTERNATIVES SOCIO-TECHNIQUES

RAPPORT NON CONFIDENTIEL

Option : Département d'Humanités et de Sciences Sociales

Champ : Systèmes économiques et développement durable

Enseignant référent : Arthur JATTEAU

Tuteur de stage dans l'organisme : Mathilde BOISSIER

Dates du stage : 28 mars au 22 juillet 2022

Soutenance : 1er septembre 2022

Organisme :

Equipe STEEP

INRIA Grenoble Rhône-Alpes

655 avenue de l'Europe

38334 Montbonnot St Martin

FRANCE



DECLARATION D'INTEGRITE RELATIVE AU PLAGIAT

Je soussignée VIENOT Léa certifie sur l'honneur :

1. Que les résultats décrits dans ce rapport sont l'aboutissement de mon travail.
2. Que je suis l'auteure de ce rapport.
3. Que je n'ai pas utilisé des sources ou résultats tiers sans clairement les citer et les référencer selon les règles bibliographiques préconisées.

Je déclare que ce travail ne peut être suspecté de plagiat.

15 juillet 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Léa Viénot', is written over a light blue rectangular background.

RESUME

Alors que les politiques font de plus en plus appel aux experts pour trancher des questions de société, la crise démocratique que traverse la France se traduit aujourd'hui par une méfiance des citoyens à l'égard des scientifiques. Dans un contexte d'urgence environnementale absolue, où plusieurs limites planétaires ont déjà été franchies par la société occidentale moderne, il est fondamental de retisser le lien entre citoyens, scientifiques et politiques.

L'ensemble de la société doit en effet participer aux décisions sociétales profondes qui nous attendent : repenser nos modes de production et de consommation et imaginer des alternatives désirables au fonctionnement actuel de la société occidentale.

Dans cette perspective, la recherche scientifique se mobilise pour développer des outils à même de modéliser des organisations socio-techniques, grâce auxquels des vulnérabilités de ces systèmes sont mises en évidence. L'objectif de ce stage est d'œuvrer à traduire ces phénomènes et risques d'un langage scientifique vers une forme accessible à tous. Ce stage investigate une méthode possible, qui combine trois dimensions : la ludicité, le caractère haptique et la minimalité.

Pour cela, ce rapport s'intéresse à des courants de pratique de la participation, pour situer le questionnement de la passation des savoirs. Le jeu sérieux est étudié comme une forme pertinente pour répondre à ce besoin de transposition. Le concept de ludicité et les représentations dans des jeux de société de plusieurs notions sont mis à profit.

Ce travail aboutit à la conception de deux démonstrateurs, qui s'appuient sur les travaux scientifiques de l'équipe STEEP de l'INRIA Grenoble Rhône-Alpes. La méthodologie du processus de création, le contenu des dispositifs ludiques, ainsi que le suivi et évaluation de ces démonstrateurs sont présentés.

ABSTRACT

At a time when politicians increasingly call on experts to decide on social issues, the French democratic crisis reflects in the citizens' mistrust of scientists. In a context of absolute environmental emergency, several planetary boundaries already being overstepped by the Western world, it seems necessary to rebuild confidence between the people, scientists and politicians.

To rethink our consumption and production patterns and to design desirable alternatives to our current way of life, the society as a whole must take part in the profound societal decisions that await us.

With this in mind, scientific research develops new tools capable of modelling socio-technical organizations, thanks to which vulnerabilities of these systems are highlighted. The aim of this internship is to work on translating these phenomena and risks from a scientific language to a form accessible to all. This internship investigates a possible method, which combines three dimensions: playfulness, materiality and minimality.

To do so, this report studies how knowledge transfer is explored in the practice of stakeholder participation. Serious games are studied as a relevant form to answer this need of transposition. Concept of lucidity and the way in which the ideas are represented in board games are used.

This work leads to the design of two demonstrators based on the scientific work of STEEP's team located in INRIA, Grenoble Rhône-Alpes. The methodology of the creation process, the content of the game as well as the follow-up and evaluation of these demonstrators are presented.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier très chaleureusement toute l'équipe STEEP, cette entité si exceptionnellement accueillante, bienveillante et stimulante.

Un immense merci à ma tutrice, Mathilde Boissier, pour sa disponibilité de chaque instant, pour ses conseils de lecture et pour ses avis critiques toujours pertinents. Ce travail a véritablement été une co-construction sur de nombreux aspects, et elle a mené toute l'organisation des sessions de jeu d'une main de maître. Merci d'avoir été une bêta-testeuse des plus enthousiastes lorsque mes démonstrateurs n'étaient encore que des prototypes en construction !

Je remercie sincèrement Jean-Yves Courtonne d'avoir répondu à toutes mes interrogations existentielles sur la définition des enjeux, et pour l'inspiration de chaque instant que constitue sa thèse. Merci infiniment à Yazid Charkani de m'avoir fourni tant de données quantitatives grâce à ses talents d'expert sur OpenLCA, sans lesquelles je n'aurais pu donner vie à ce cher poulet rôti ! J'admire sa patience face à mes questions quelque peu déboussolantes.

Un remerciement très particulier à Vincent Jost, d'avoir tenu sa promesse de ne pas (trop) m'assaillir de ses innombrables idées et projets. Nos échanges m'ont beaucoup apporté, que ce soit ses opinions argumentées ou ses regards neufs et intrigants sur tous les sujets. Je me souviendrai longtemps de la joyeuse préparation à l'animation de FishBanks à Anthropocene Facts.

Merci à Ariane et Enzo pour leurs débats métaphysiques et politiques qui ont indéniablement aiguisé mon esprit critique. Merci à tous les deux d'avoir relevé haut la main le défi d'animer une session de jeu lors du Kids Day, je leur dois une fière chandelle.

Je remercie mes chers voisins de bureau, Alex et Léon, d'avoir toujours répondu présents pour une pause en milieu d'après-midi, et pour leurs digressions revigorantes pour retrouver ensuite la motivation de travailler. Merci à Baptiste pour sa bonne humeur et sa posture toujours positive et attentive aux autres. Merci à Grégoire pour ses irruptions imprévues que j'ai beaucoup appréciées, et pour ses pensées pleines de sens et de perspectives.

Un merci infini à toutes les fourmis pour la mise en application de mes connaissances théoriques sur les jeux de société. Et plus que tout, je remercie, Louis, Mathilde JdP, Antonin, François-Rémi et tous les autres, pour le concept et l'organisation de la fourmilière. Toutes les structures devraient adopter ce modèle, et dégager du temps pour prendre du recul sur la vie des équipes, pour analyser ce qui fonctionne et voir ce qu'il faudrait améliorer. La bienveillance qui a baigné cette journée m'a fait énormément de bien.

Je remercie sincèrement toute l'équipe permanente, Guillaume, Mathieu, Peter, Pierre-Yves pour leur accueil irréprochable, et pour le dynamisme très horizontal qu'ils créent au sein de l'équipe. La richesse que chacun a en retirer est infinie. Un immense merci à Marie-Anne pour sa gentillesse à toute épreuve.

Enfin, un ultime remerciement à toutes les personnes qui m'ont apporté leurs conseils dans la rédaction et la relecture de ce rapport.

Table des matières

Déclaration d'intégrité relative au plagiat	2
Résumé	3
Abstract	3
Remerciements	4
Table des matières	5
I. Introduction et motivations	6
a) La fracture démocratique	6
b) Des démonstrateurs pour la conception d'alternatives socio-techniques	7
c) Les enjeux soulevés par la comptabilité biophysique du territoire	9
II. Bibliographie et positionnement	15
a) Les courants d'influence de la participation	15
b) L'expertise sous forme de jeu sérieux	20
c) Les mécaniques de jeu et critères de ludicité	25
III. Méthodologie et résultats	32
a) La méthodologie de création de démonstrateurs	32
b) L'évaluation du changement	37
c) Les démonstrateurs ludiques	42
d) L'analyse des sessions de jeu	48
Conclusion	51
Annexes	53
Annexe A : Cartes industries (Transfert géographique de pression)	53
Annexe B : Quantification des pressions environnementales (Transfert géographique de pression)	56
Annexe C : Observation du Transfert géographique entre ressources	57
Annexe D : Observation de Concurrence entre Ressources	59
Bibliographie	61

I. INTRODUCTION ET MOTIVATIONS

a) La fracture démocratique

Les politiques publiques et les débats de société font de plus en plus souvent appel aux scientifiques, qu'on appelle dans le paysage médiatique des « experts », pour trancher par des chiffres des sujets délicats et techniques (Dobiasova, 2008). Les prises de décisions politiques mettent en valeur le fait qu'elles sont appuyées par des arguments scientifiques. La multiplication à partir des années 2000 des « hauts conseils », ces structures indépendantes et consultatives censées aider les ministères en évaluant des plans ou en émettant des recommandations, en témoigne (France Stratégie, 2018). De même, le GIEC a vocation à produire un résumé à l'intention des décideurs, comme si le cœur de la démocratie résidait en des conseillers scientifiques éclairant la décision des organes politiques.

Or la défiance du public envers la politique est aujourd'hui manifeste, et la France traverse une crise démocratique marquée par une fatigue électorale et par une baisse du nombre d'adhérents aux partis politiques historiques (Bernasconi, 2016). D'après le baromètre de la confiance politique (Sciences Po CEVIPOF, 2022), développé depuis dix ans par le Cevipof, seulement 20 à 40 % des Français auraient confiance dans les institutions politiques nationales. La majorité des sondés (70 % entre 2013 et 2018) estiment que la démocratie ne fonctionne pas bien, et leur première sensation à l'évocation de la politique est la méfiance (40 % des sondés), puis le dégoût.

Cette crise démocratique se traduit notamment par une défiance envers le phénomène d'expertisation de la politique décrit au paragraphe précédent : les citoyens ont l'impression d'être écartés des sujets politiques, et que les experts sont les seules personnes écoutées par les institutions. Un rapport de France Stratégie publié en décembre 2018 (France Stratégie, 2018) met en évidence cette tendance à mettre en concurrence scientifiques et citoyens, au travers de la prolifération de sondages demandant si « on a tort de s'en remettre trop aux soi-disant experts et [s']il vaut mieux s'en remettre aux simples citoyens ». Ce rapport fait référence à une étude de Cevipof selon laquelle 57 % des sondés ne sont pas d'accord avec l'idée que la politique consiste en des « choses compliquées et [qu'il faudrait] être un spécialiste pour les comprendre ».

La technicisation de la politique conjuguée à la crise démocratique semble avoir eu comme conséquence une baisse de la confiance des citoyens envers les scientifiques. Une enquête réalisée par Ipsos-Sopra-Steria pour *Le Monde* et *La Recherche* (Dusseaux, 2016) met ainsi en lumière le fait que, alors que la confiance des Français à l'égard de la science en général est très nette, le personnage du scientifique est quant à lui de plus en plus controversé. « La défiance à l'égard des scientifiques [...] atteint des niveaux très importants lorsque le travail des scientifiques porte sur des sujets polémiques à forts enjeux politiques, industriels et financiers. [...] Seulement 34 % des Français (-14 points depuis 2011) ont confiance dans les scientifiques pour dire la vérité sur les résultats et les conséquences de leurs travaux dans le domaine du réchauffement climatique, 28 % (-7) dans le domaine de l'énergie nucléaire et 16 % dans le domaine des OGM (-17 points). »

Face à cette crise tripartite entre citoyens, scientifiques et politiques, plusieurs questions intriquées se posent. Comment recréer du lien entre citoyens et débat public ? Comment relégitimer et redonner du pouvoir aux citoyens, en n'éclipsant pas pour autant les savoirs scientifiques ?

Comment retisser la confiance des citoyens envers l'utilisation des sciences sur des sujets de société ?

Il est plus qu'urgent de travailler aujourd'hui à ces problématiques, non pas uniquement pour recréer une démocratie saine et basée sur la confiance, mais parce qu'elles s'inscrivent dans un contexte où tout le fonctionnement de la société occidentale moderne est remis en cause. Face au dérèglement climatique qu'elle a elle-même causé (Masson-Delmotte et al., 2021), face à la sixième extinction de masse qu'elle a provoquée, face à toutes les limites planétaires franchies ou en passe d'être dépassées (Rockström et al., 2009), cette société occidentale moderne (dont la France fait partie) doit se réinventer et changer de cap pour éviter l'effondrement (Meadows et al., 2004).

A la lumière des résultats mitigés des politiques nationales pour limiter les émissions de gaz à effet de serre (IPCC, 2022, point B.6 du résumé pour décideur), il est illusoire de croire que la société contemporaine répondra à ces défis systémiques en confiant le pouvoir de décision à ses représentants ou gouvernements et en laissant au soin des scientifiques de trouver des solutions technologiques. (Latour, 2004 et Haberl et al., 2020)

Les derniers rapports du GIEC évoquent de plus en plus la nécessité d'une transformation sociétale profonde : « [the Sixth Assessment Report] has a particular focus on transformational adaptation, which changes the fundamental attributes of a socio-economic system in anticipation of climate change and its impacts. » (Pörtner et al., 2022) Il s'agit, non pas de perpétuer tant bien que mal un système défaillant, mais d'imaginer de nouveaux modes de société (Latour, 2004), de remettre en question nos besoins (Georgescu-Roegen, 2020), de redéfinir nos réseaux de valeurs, de repenser le souhaitable et le désirable... Un chantier démentiel qui doit être l'affaire de tous, parce qu'il nous concerne tous et parce qu'il ne peut advenir que si l'on inclut toute la population dans sa réalisation.

b) Des démonstrateurs pour la conception d'alternatives socio-techniques

La participation comme solution

Une manière de rebâtir la confiance entre citoyens, élus et scientifiques consiste à mettre en place, à l'échelle des territoires, des processus participatifs. Le principe est simple : mettre sur un pied d'égalité tous les acteurs concernés ou impactés par une problématique de ce territoire, et les réunir pour réfléchir et décider ensemble (Chlouz et al., 2017).

Pour reprendre les niveaux de participation théorisés par la sociologue Sherry Arnstein (Arnstein, 2019) (voir Figure 1), les processus que l'on considère ici sont résolument plus ambitieux qu'une transmission d'informations, qu'une consultation citoyenne ou même qu'une concertation : les citoyens sont bien associés de manière active à la prise de décision, et leur voix est écoutée et prise en compte au même titre que celle d'élus locaux ou d'experts du territoire par exemple (Slocum, 2006 et Rodet, 2008).

Les enjeux de la participation sont multiples : ces processus permettent de partager différentes visions du territoire, d'ouvrir le champ des possibles, de prospecter (c'est-à-dire d'envisager de multiples changements sans s'interroger sur la probabilité de concrétisation de chacun), de définir des objectifs et des valeurs prioritaires, de débattre, de définir des plans d'action... A des échelles et

sur des thèmes divers, la participation vise donc à faire émerger des alternatives désirables par tous et à les mettre en place.



Figure 1 : Echelle de la participation d'Arnstein (Carayol, 2020)

C'est exactement à la croisée entre ce mode d'action, la participation, et le constat liminaire de défiance des citoyens envers l'expertisation de la politique, que se situe mon stage. Les scientifiques peuvent en effet jouer un rôle précieux dans la participation, en aiguillant par leurs outils ou méthodes des questions épineuses. Par exemple, comment évaluer les solutions qui se dégagent lors d'un processus participatif, pour savoir qu'elles ne vont pas déplacer le problème, ailleurs ou sous une autre forme, au lieu d'aider à le résoudre ? Comment estimer si une alternative n'est pas matériellement impossible ? Comment anticiper les effets non-intuitifs ou immédiats d'une alternative ?

L'objet de mon stage est de développer, à partir de travaux scientifiques, des démonstrateurs pour mettre en évidence certains de ces mécanismes cachés ou de ces écueils potentiels. Ceux-ci se basent sur les résultats de l'équipe STEEP sur la comptabilité biophysique d'un territoire, c'est-à-dire la description de ses modes de production et de consommation, que je présenterai dans la section suivante (I.c). Avant cela, il me paraît important de préciser les objectifs de ces démonstrateurs ainsi que la posture que j'ai adoptée pour les construire, qui seraient applicables à d'autres enjeux ou thèmes.

Objectifs de mon stage

Deux types d'objectifs ont rythmé mon stage : une visée sociétale et un but de recherche.

Dans la perspective de participation, les démonstrateurs visent à inviter les acteurs à questionner la manière dont ils analysent et évaluent une alternative socio-technique, et à la compléter par la compréhension et l'appropriation de différents enjeux. L'idée est ici de permettre à tous les acteurs de se construire un avis éclairé sur une problématique, pour être outillés en vue de concevoir des alternatives en prenant en compte ces phénomènes non-intuitifs.

Par ailleurs, la question de recherche associée à cette démarche est double. A l'échelle micro, la finalité est d'étudier comment traduire et désagréger des effets qui sont observés initialement, au travers d'outils scientifiques, de manière combinée et agglomérée. Je reviendrai sur ce point dans la section suivante (I.c). Au niveau plus macro, ce travail s'intègre dans un projet de l'équipe où j'ai effectué mon stage : étudier l'adéquation entre les visions des scientifiques de l'équipe et celles des citoyens sur un territoire, un secteur ou une alternative.

Hypothèses de la démarche

Trois choix de direction ont sous-tendu toute ma démarche de recherche. Le premier est une hypothèse de départ sur le format ludique des démonstrateurs : nous pensons que développer des activités ludiques permet une meilleure appropriation des phénomènes par les acteurs, en comparaison à un apprentissage vertical (au sens de descendant, ou top-down) et passif. Le deuxième concerne la nécessité de scinder les enjeux : chaque dispositif a donc vocation à mettre en évidence un seul mécanisme, en essayant de limiter l'intrusion d'autres aspects (voir le Tableau 1 en I.c). A cette volonté de parcimonie et de minimalité s'ajoute une dernière contrainte choisie comme point de départ : les démonstrateurs n'utilisent aucun outil numérique, et s'appuient entièrement sur la manipulation d'objets matériels, pour les rendre les plus concrets et appréhendables.

Ce positionnement très particulier de transmission d'outils scientifiques à des citoyens se veut donc pluridisciplinaire, et se place à l'intersection entre plusieurs domaines de recherche : la comptabilité biophysique, l'ingénierie de la participation et les sciences de l'éducation.

Dans la deuxième partie, nous reviendrons en profondeur sur l'étude bibliographique menée au sein de ces différents champs disciplinaires, qui a été à la fois une source d'outils méthodologiques, d'analyses critiques sur le rôle et la place de l'expertise et d'inspirations dans la conception des démonstrateurs. Mais avant cela, il convient de définir et caractériser plus en détails les enjeux que j'ai cherché à traduire en démonstrateurs et donc les outils scientifiques dont ils sont tirés.

c) Les enjeux soulevés par la comptabilité biophysique du territoire

Tout le cas d'étude de ce stage s'appuie sur les recherches menées par l'équipe STEEP, de l'INRIA Grenoble Rhône-Alpes, centrées sur la description biophysique de filières de production dans et entre les territoires. Le terme « biophysique » renvoie ici à l'étude de la « base matérielle [et énergétique] de l'économie » (STEER, s. d.), par opposition à une représentation monétaire, sociale ou politique. Leurs travaux ont mis en évidence une liste de conséquences directes et indirectes sur les flux de matière et d'énergie que peuvent induire des décisions socio-techniques, qui amènent inéluctablement à des compromis : ce sont ces phénomènes que mes démonstrateurs visent à éclairer. Dans toute la suite, je les désignerai indifféremment sous les termes « mécanisme », « enjeu », « phénomène » ou « compromis ».

Il est donc important de donner les éléments essentiels de la posture de l'équipe STEEP et de l'outil mathématique associé qu'elle développe, à savoir l'Analyse de Flux de Matières (AFM) par filière.

Pour commencer, une conviction très forte de l'équipe STEEP est que la description d'une organisation socio-technique (un territoire, une filière industrielle...) ne peut se passer d'une analyse

des flux et stocks de matière et d'énergie qui la traversent. STEEP soutient que cette étude doit également être complétée par d'autres approches (sociale, humaine, institutionnelle...). En cela, sa position tranche avec celle adoptée dans de nombreux modèles qui mettent l'économie au centre, réduisant les flux biophysiques à une représentation au travers des flux économiques. Cette dernière approche a été nommée « soutenabilité faible » (Goodland, 1995).

Le choix de paradigme d'une « soutenabilité forte » par l'équipe STEEP peut être mis en perspective avec la description de l'option de stage auprès de l'École polytechnique, « Systèmes économiques et développement durable », dans laquelle les limites des raisonnements purement économiques sont soulevées : « L'intérêt de cette recherche est de montrer comment les phénomènes économiques contemporains ne sont compréhensibles que s'ils sont restitués dans la durée historique et dans un contexte large, les facteurs non-économiques étant toujours indispensables au fonctionnement des systèmes économiques » (Grenier & Jatteau, 2022). Dans la lignée de l'économie écologique, l'ambition de STEEP va donc plus loin plaçant au cœur de l'analyse des interactions production-consommation non plus des raisonnements économiques, mais biophysiques (Debref et al., 2016).

Dans la pratique, les métabolismes, c'est-à-dire l'ensemble des transformations et conversions de matières et d'énergie en flux et stocks, sont modélisés par un outil mathématique et informatique, l'Analyse de Flux de Matières (AFM) (Baccini & Brunner, 2012). L'équipe STEEP a établi la comptabilité biophysique de plusieurs filières industrielles, en la déclinant à plusieurs échelles territoriales (Courtonne et al., 2015 et Krieger, 2022). La représentation graphique choisie pour représenter les résultats de ces AFM est le diagramme de Sankey.

Pour exemple, la filière céréale est décrite sur la Figure 2. La chaîne de transformation industrielle s'y lit de gauche à droite, tous les flux horizontaux représentant les échanges de matière céréalière au sein du territoire considéré. Les flux verticaux incarnent par opposition l'import (partie supérieure du graphique) et export (partie inférieure) de matières céréalières. La taille des flux indique leur relative importance en débit massique par an.

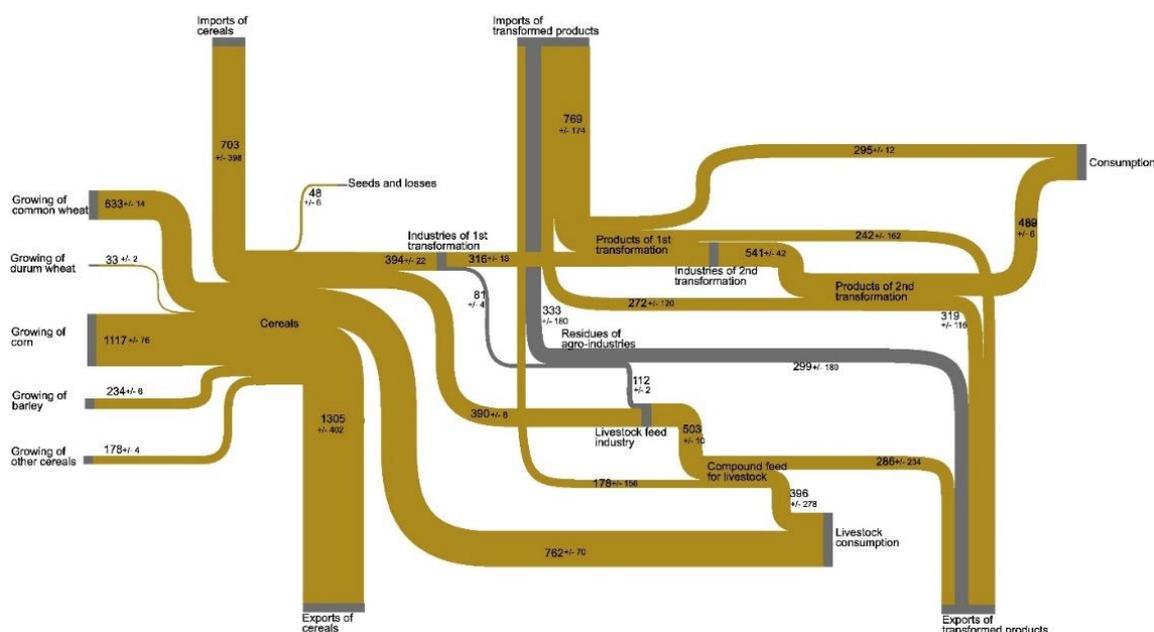


Figure 2 : Analyse de flux de matière de la filière céréale pour la région Rhône-Alpes (résultats agrégés en kilotonnes pour une année moyenne couvrant la période 2001-2009) (Courtonne et al., 2015)

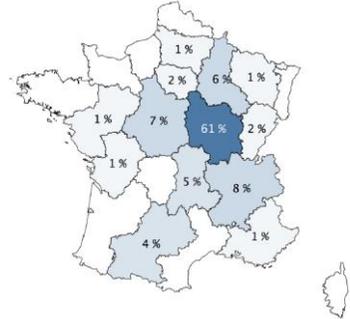
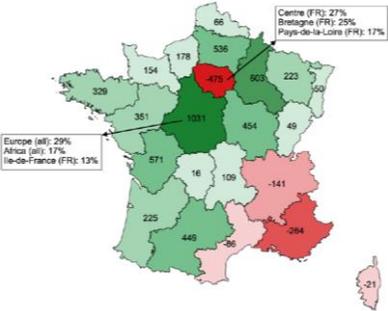
En couplant ces modèles avec des outils d'évaluation des pressions environnementales, on peut alors obtenir, pour une filière et un territoire donné, de nombreuses informations biophysiques et environnementales sur une situation.

Ainsi, l'équipe STEEP développe des outils précieux pour la conception et l'évaluation d'alternatives dites « socio-techniques », c'est-à-dire d'alternatives visant à modifier les modes de production et de consommation d'un territoire. Les problématiques auxquelles ces alternatives doivent répondre sont multiples : limiter leur vulnérabilité, améliorer leur résilience, respecter les limites planétaires, diminuer les pressions qu'elles induisent sur l'environnement. Or, en construisant leurs modèles et en interprétant les résultats obtenus, les scientifiques de l'équipe STEEP ont mis au jour, clarifié ou explicité divers enjeux derrière ces notions de vulnérabilité, de résilience, de pressions et d'impact.

Ce sont ces mécanismes que j'ai étudiés tout au long de mon stage, pour les mettre en évidence sous la forme de démonstrateurs. Mais le degré de formalisation et l'effort de définition de ces enjeux étaient, au départ, hétérogènes. J'ai donc tenté de caractériser ces différents mécanismes grâce à plusieurs critères. Le tableau 1 ci-dessous résume ce qui s'est dégagé des discussions que j'ai pu avoir sur ce sujet avec les membres de l'équipe ainsi que d'analyses personnelles.

Cette analyse peut également être représentée de manière synthétique sous la forme d'une cartographie (voir Figure 3). En particulier, elle permet de comprendre les liens de dépendance entre les notions, et notamment le fait que la compréhension de certaines est nécessaire à l'appréhension d'autres. Par contrainte de temps, je n'ai approfondi que deux enjeux, successivement, dans ce stage. Le choix de ces mécanismes, à savoir le transfert géographique de pression et la concurrence entre ressources, se fonde sur plusieurs critères :

- La simplicité de ces notions : elles nécessitent peu de briques élémentaires, elles sont donc propices à l'élaboration d'un dispositif minimaliste
- L'inspiration des AFM : ces deux notions sont visibles de manières assez nettes sur les AFM, et ont été étudiées de manière plus ou moins directe par des membres de l'équipe
- La différence de caractéristiques : presque tout oppose les deux enjeux étudiés, que ce soit l'aspect statique/dynamique ou bien la notion de vulnérabilité interne ou externe. Ces deux notions n'ont par ailleurs pas de lien de dépendance.

Enjeu	Définition	Difficulté*	Formalisé à partir d'AFM	Exemple	Statique /dynamique**	Vulnérabilité	Interdépendances
Transferts géographiques de pression	Un territoire internalise (resp. externalise) des pressions lorsque la production locale (resp. extérieure) induit des pressions mais que la consommation est extérieure (resp. locale)	Faible	Oui, voir Courtonne et al., 2016 sur le cas de la filière céréale en France (transfert de pression inter-régional)	 <p>Origine de la farine utilisée dans le pain consommé en PACA</p>	Statique	Vis-à-vis de l'extérieur	
Transferts de pression vers pression	Une alternative de production déplace la pression sur l'environnement d'un type vers un autre, sans la réduire	Faible		Passage de la voiture thermique (pression sur le pétrole) à la voiture électrique (pression sur le lithium)	Dynamique / comparatif	Pas de notion de territoire	Lien avec la concurrence entre ressources et avec environnement local vs soutenabilité globale
Concurrence des sols	Conflit entre plusieurs usages d'une même surface au sol	Facile		Agriculture et logement	Comparatif	Interne	Cas particulier de concurrence entre ressources
Dépendance aux imports-exports		Facile	Oui, voir Courtonne et al., 2016 sur le cas de la filière céréale en France (exemple de Midi-Pyrénées vis-à-vis de l'Espagne pour le maïs)	 <p>Export net de terre par région</p>	Statique	Vis-à-vis de l'extérieur	Conséquence de transferts géographiques de pression

Enjeu	Définition	Difficulté*	Formalisé à partir d'AFM	Exemple	Statique /dynamique**	Vulnérabilité	Interdépendances
Concurrence entre ressources	Conflit entre plusieurs usages d'une même ressource	Faible		Biocarburants	Dynamique / comparatif	Interne	Lien avec transfert de pression vers pression et avec environnement local vs soutenabilité globale
Environnement local vs soutenabilité globale		Moyenne	Travail en cours au sein de l'équipe STEEP sur le couplage avec des analyses de cycle de vie			Vis-à-vis de l'extérieur	
Cohérence biophysique des alternatives	Respect de la conservation de la masse comme contrainte, découle du fait que la quantité de ressource est finie	Moyenne	Principe même de la méthodologie des AFM		Statique	Interne	Présumé de tous les autres enjeux
Effet rebond	Augmentation non prévue de la consommation comme conséquence d'une décision	Elevée		Télétravail, BlaBlaCar	Dynamique	Pas de notion de territoire	
Vulnérabilité aux chocs extérieurs		Elevée		Perturbation, guerre en Ukraine	Statique	Vis-à-vis de l'extérieur	Conséquence de dépendance aux imports-exports
Vulnérabilité au stress tendanciel		Elevée		Vieillesse de la population	Statique	Interne	
Compromis d'échelle de localisation de la production		Elevée	Travail en cours au sein de l'équipe STEEP		Dynamique	Interne	

* difficulté : effort que j'ai estimé nécessaire à la compréhension de la notion. Cette appréciation reste purement intuitive et nécessiterait une étude plus approfondie

**statique/dynamique : la notion se comprend par analyse d'une situation statique, ou nécessite au moins la comparaison de 2 situations (voire une analyse évolutive et dynamique)

Tableau 1 : Caractérisation des enjeux identifiés par l'équipe STEEP

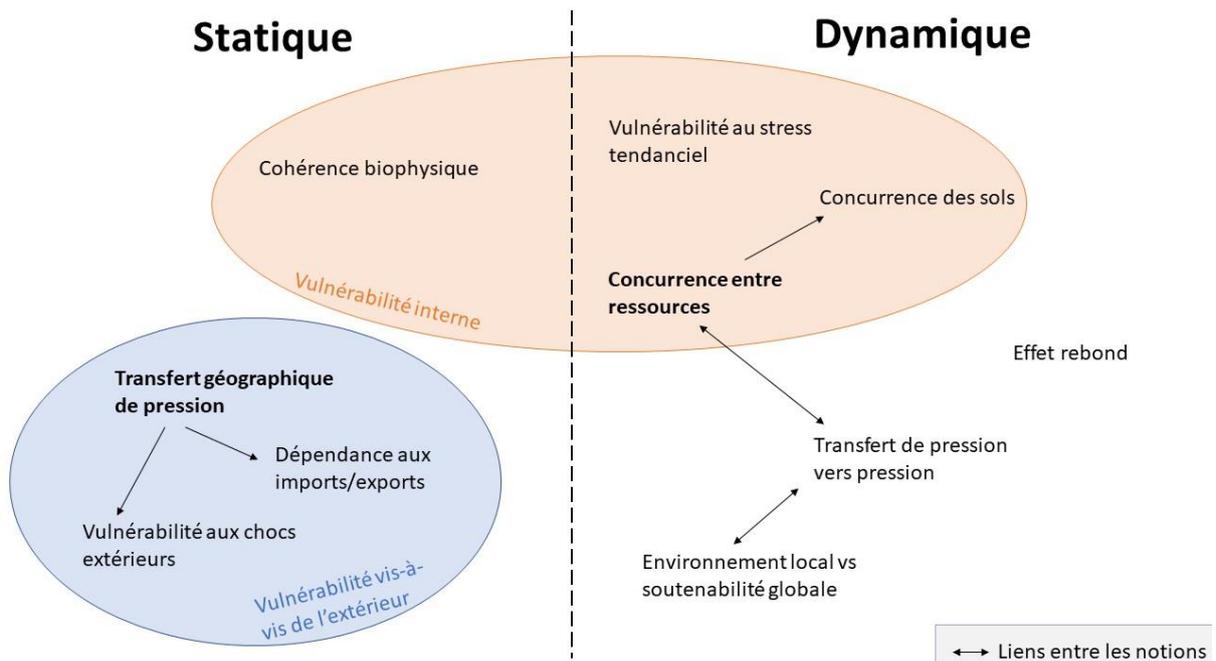


Figure 3 : Cartographie des enjeux identifiés par STEEP

La conception des deux démonstrateurs a suivi deux parcours volontairement très différents. Cependant, le cheminement qui m’a menée à les construire de cette façon a été imprégné de lectures bibliographiques communes. La partie suivante est donc consacrée à les analyser, à les mettre en regard et à situer ma recherche par rapport à ces connaissances et résultats pré-existants. Les champs disciplinaires de la participation, des jeux sérieux et des sciences de l’éducation seront tour à tour présentés.

La troisième partie de ce rapport sera ensuite consacrée à la présentation de mes résultats, c’est-à-dire la méthodologie que j’ai suivie, les activités ludiques construites ainsi que l’évaluation de ces dispositifs grâce à l’analyse de sessions de jeu.

II. BIBLIOGRAPHIE ET POSITIONNEMENT

Comment insérer des connaissances scientifiques dans un processus participatif ? Cette question a guidé toute ma recherche bibliographique. Elle s'est peu à peu structurée en trois champs d'étude.

Tout d'abord, quelles formes de participation ont été développées et mises en pratique dans des expériences de terrain, et quelle place ont-elles donné chacune à l'expertise scientifique ? Le terme « participation » (et plus encore, l'adjectif « participatif ») étant particulièrement ambigu et utilisé dans des expressions très similaires mais aux signifiés diamétralement opposés, il m'est apparu intéressant de clarifier différentes méthodes participatives en les comparant.

Au sein de ces processus participatifs, comment l'expert peut-il apporter au mieux ses connaissances, pour qu'elles soient appropriées par les acteurs sans être déformées ? J'analyse deux positionnements extrêmes que peuvent prendre les scientifiques, qui permettent de poser certaines limites. Les pratiques participatives que j'ai étudiées ne présentent cependant pas les avantages et inconvénients des méthodes intermédiaires à ces deux écueils.

Par conséquent, je me suis penchée plus en détail sur un type de dispositifs, parce qu'il était plus étayé que d'autres par la littérature et parce qu'il correspondait aux postulats de mon travail : le jeu sérieux. Cette forme de transfert de connaissances vers des participants regroupe des outils assez hétéroclites, et je proposerai ici une analyse transverse à partir de plusieurs exemples. Ces jeux sérieux m'ont permis de relever certains points d'attention et de préciser ma méthodologie.

Les mécanismes de jeu, les choix des règles et des éléments matériels notamment, ne sont pas toujours expliqués par les concepteurs des jeux sérieux. J'ai trouvé des sources d'inspiration sur ces points dans un champ disciplinaire dissocié des enjeux de participation : les sciences de l'éducation. Parallèlement à la compréhension théorique des leviers ludiques à mobiliser dans mes démonstrateurs, une exploration de différents jeux de société a également permis de brosser un portrait des différentes matérialisations des notions de territoire et de ressource.

a) Les courants d'influence de la participation

Avant tout, j'ai cherché à cerner dans quel champ disciplinaire ma recherche s'inscrivait et à comprendre la terminologie des processus participatifs. Ce travail m'a permis d'identifier, pour chaque méthodologie de participation, la place et le rôle des experts, c'est-à-dire des chercheurs scientifiques, académiques, qui apporteraient des connaissances sur le fonctionnement d'un territoire, d'une situation ou d'un métabolisme.

Reprécisons ici que nous n'avons étudié que les processus participatifs « actifs » dans lesquels les citoyens sont de véritables acteurs de la décision. Or le terme « participation » renvoie, en France, en grande majorité à des démarches institutionnelles de concertation ou de consultation citoyenne (voir Figure 1), parfois réunies sous l'appellation ambiguë de « démarche participative » (voir le nombre de dispositifs institutionnels par rapport aux autres formes de participation dans *Dispositifs / DicoPart*, s. d.). Dès lors, il n'est parfois pas si aisé de distinguer le sens réel de la participation dans certaines locutions comprenant ou non l'adjectif « participatif ».

Recherche-action participative, démocratie participative, modélisation participative, modélisation d'accompagnement, simulation participative... Tous ces dispositifs mettent en place une forme active de participation. Mais comme Voinov et Bousquet (Voinov & Bousquet, 2011) le formulent très justement, « different groups of researchers have advanced in parallel, developing and applying specific methodologies, which are based on the same principles but focus on different parts of the process ». Afin de dessiner les contours et différences entre ces communautés de pratique, je propose de structurer en cinq familles les processus participatifs que j'ai rencontrés pendant mes lectures :

- Les sciences participatives
- La modélisation participative
- La démocratie participative
- La « Participatory Decision Analysis »
- La recherche-action participative.

Cette classification s'appuie sur les étapes d'un processus participatif. Presque tous les dispositifs de participation active se déroulent autour de sept étapes successives : récolter les données, établir un diagnostic, explorer des scénarios, définir les objectifs et contraintes, identifier des actions ou des plans, choisir, mettre en œuvre, et enfin suivre et évaluer (Etienne, 2010). Cependant, chaque communauté de pratique met l'accent sur une ou plusieurs de ces phases, en créant des outils ou des méthodes spécifiques. C'est de cette manière que j'ai dégagé les cinq familles présentées dans le Tableau 2, en y indiquant l'étape fondamentale, centrale, de chaque communauté de pratique (même si elles mettent en œuvre des démarches participatives qui s'étendent souvent de la récolte de données à la décision, voire à l'évaluation de la mise en œuvre des solutions choisies).

Je précise toutefois que certaines pratiques, même si elles existent dans la participation active, sont aussi fréquemment utilisées de manière indépendante, en tant que telles, sans que cela soit tourné vers l'action : c'est le cas de la recherche participative et de la participation publique.

Pour ce travail, je me suis basée à la fois sur des revues de littérature sur les pratiques de la participation, notamment un article sur la modélisation participative (Voinov & Bousquet, 2011) et un autre sur les sciences participatives (Chlous et al., 2017), et sur des manuels (Etienne, 2010). D'autres analyses ont simplement émergé à la lecture de papiers variés sur une même pratique.

Cette structuration des pratiques participatives m'a été utile pour positionner ma recherche et pour dégager les diverses utilisations des modèles dans la participation, comme je le présente à la fin de cette section.

Les cinq familles de participation

Les sciences participatives

La première famille regroupe les sciences participatives (Houllier & Merilhou-Goudard, 2016), aussi désignées comme de la « recherche participative » (Chlous et al., 2017). La posture consiste à intégrer les savoirs détenus par les populations locales, ayant l'expérience de leur territoire, et à les juger comme des données à part entière, ayant une validité et un intérêt incontestable. Les méthodes concrètes sont variées, elles peuvent aller de la collecte citoyenne de données (campagnes de relevés de terrain) aux enquêtes de recueil de récits de vie ou d'expériences personnelles (méthode MARP, acronyme de « Méthode Accélérée de Recherche et de Planification ») (Groupe URD, s. d.).

Récolter des données	Etablir un diagnostic	Explorer des scénarios	Définir des objectifs et contraintes	Identifier des plans ou des actions	Choisir, prioriser, voter	Mettre en œuvre	Suivre et évaluer
<p>Sciences participatives, recherche participative, participation citoyenne</p> <p>MARP*</p>	<p>Modélisation participative</p> <p>Modélisation d'accompagnement</p> <p>Jeux de rôle</p> <p>Système multi-agents</p> <p>Group Model Building, Mediated Modelling, Participatory Simulation</p> <p>System Dynamics</p> <p>Simulation participative</p>			<p>Démocratie participative, participation publique</p> <p>Budget participatif</p> <p>Participatory Decision Analysis</p> <p>Analyse multicritère</p> <p>Réseau bayésien</p>		<p>Recherche-action participative</p>	

* MARP : Méthode Accélérée de Recherche et de Planification, Méthode Active de Recherche de Planification participative, ou encore Méthodes d'Apprentissage Rapide et de Planification

Légende :

- Lorsque les concepts sont séparés par des virgules, c'est qu'ils peuvent être considérés comme synonymes
- Un encadré représente une famille
- Les cadres orangés font référence à des outils techniques

Tableau 2 : Etapes centrales dans les processus participatifs de chaque courant de pratique

La modélisation participative

La deuxième catégorie est celle de la modélisation participative, dans laquelle les parties prenantes partagent leur représentation de la situation dès la construction du modèle (van Bruggen et al., 2019). Ce type de processus intéresse particulièrement l'équipe STEEP et peut être séparé en deux catégories : la modélisation d'accompagnement d'une part, et ce que j'appelle la « modélisation formelle » de l'autre.

La première catégorie s'est véritablement structurée comme un courant de pratiques, avec la parution d'un ouvrage collectif (Etienne, 2010), l'organisation de sessions de formation et l'apparition d'un nom institué comme marque de fabrique, ComMod (pour *Companion Modelling*). Les outils de la modélisation d'accompagnement se situent au niveau des étapes de « diagnostic » et d'« exploration des scénarios ». La raison d'être de la modélisation d'accompagnement est de permettre aux différents acteurs d'un territoire de construire une représentation partagée, au-delà de leurs intérêts divergents, des tensions pré-existantes et des asymétries de pouvoir : l'objectif est de créer un artefact commun à tous les acteurs, par de la négociation et de la délibération. Cet artefact est ensuite simulé, pour tester plusieurs alternatives et configurations : cela peut se faire via des techniques de systèmes multi-agents ou par des jeux de rôle.

Je réunis dans la catégorie « modélisation formelle » plusieurs communautés de chercheurs dont les pratiques participatives sont centrées sur la dynamique des systèmes complexes (Voinov & Bousquet, 2011) : *Group Model Building* et *Mediated Modelling* notamment. Le concept de boucles de rétroactions et les langages informatiques de dynamiques des systèmes (DYNAMO, Stella) sont les points communs de ces processus participatifs. La participation se situe ici aussi au niveau de la modélisation : les différentes parties prenantes (citoyens, élus...) expriment leur point de vue individuel, et parviennent peu à peu à le traduire dans un langage commun. Les outils de simulation de la modélisation d'accompagnement et de la « modélisation formelle » sont donc différents, même si les objectifs de ces deux pratiques sont similaires.

J'ai jugé utile d'ajouter dans le Tableau 2 un outil, la simulation participative, qui est souvent associée à la modélisation participative dans l'étape d'exploration des scénarios. Ce courant propose en effet une approche intéressante du rôle d'une simulation (Becu, 2020).

Cet outil ne relève pas à proprement parler d'une participation active, puisqu'il peut être employé à bien d'autres fins (concertation, apprentissage), mais il constitue une clé de lecture commune dans la plupart des démarches de modélisation participative. Le modèle, une fois construit par les participants, est utilisé lors d'une phase de simulation. Pour cela, on fait tourner le modèle sous la forme d'un jeu de rôle, où les parties prenantes sont invitées à effectuer des choix, à étudier l'impact de leurs actions, ou d'un système multi-agent dans lequel les acteurs discutent des paramètres et des modifications à apporter. Le but est à la fois de tester des configurations, et de mieux comprendre le système réel, complexe, dont le modèle est une représentation. L'originalité de la simulation participative est de mettre en avant l'apprentissage par le ressenti, par l'expérience vécu, des joueurs.

Les troisième et quatrième catégories se focalisent davantage sur l'identification d'actions possibles ainsi que sur leur adoption et priorisation. Mais les communautés de praticiens sont

distinctes (institutions pour l'un, chercheurs pour l'autre), et la sémantique de ces deux courants ne partage pas autant de similarités que les deux modes de modélisation participative.

La démocratie participative

La démocratie participative, aussi appelée participation publique, est la forme la plus institutionnalisée de participation (Rodet, 2008). L'ambition est de permettre aux citoyens d'exprimer leur opinion lors d'une décision qui concerne leur territoire : ils peuvent donner leur avis sur des actions déjà établies par l'autorité administrative, ou bien proposer leurs propres idées. On compte parmi ces dernières le budget participatif, les conseils de quartier, le débat public ou encore les conférences de citoyens (vie-publique.fr, s. d.).

Parce que ces processus peuvent être régionaux voire nationaux, les institutions ont souvent recours à des votes ou questionnaires en ligne. Les participants peuvent ne jamais s'être rencontrés. En revanche, ces dispositifs sont souvent consultatifs, même si certaines démarches sont parvenues à réellement compter dans la décision finale. Blondiaux explique ainsi que la démocratie participative a pour « ambition politique de faire participer à la prise de décision l'ensemble de ceux qu'elle est susceptible d'affecter » (Rodet, 2008).

La « Participatory Decision Analysis »

De manière similaire à la démocratie participative, la quatrième catégorie ne nécessite pas forcément de phase de modélisation ou d'apprentissages en amont de l'étape de choix. Cependant, la « Participatory Decision Analysis » implique un degré de participation important (des sessions de travail de plusieurs demi-journées...), à la différence de la démocratie participative, et développe des techniques plus avancées que le vote (Voinov & Bousquet, 2011). Ces démarches sont souvent initiées par des communautés de chercheurs, ce qui les distingue de la démocratie participative. L'objectif est de permettre aux différentes parties prenantes d'exposer leurs préférences vis-à-vis de différentes options. Les techniques servent alors à classer, en fonction de ces valeurs, les plans d'actions, pour faciliter la prise de décision.

La recherche-action participative

Enfin, la recherche-action participative met l'accent sur l'action concrète, sur la mise en œuvre collective d'une solution estimée comme potentiellement intéressante (Gonzalez-Laporte, 2014). Elle consiste à effectuer des allers-retours entre terrain et réflexion : on teste une première solution, si elle n'est pas satisfaisante, on la modifie puis on la teste à nouveau. Ce processus itératif fonctionne par tentatives, par exploration, en progressant à chaque étape par suivi et évaluation. Il s'ancre par ailleurs dans une démarche bottom-up, émanant souvent de la communauté locale plutôt que d'une instance scientifique ou institutionnelle. Se détachant de l'utilisation généralisée de modèles pour explorer des scénarios, la recherche-action participative choisit de tester directement des actions dans le monde réel. Là encore, le terme « recherche-action » n'est pas uniquement utilisé pour faire référence à la démarche que je viens de décrire, des processus de sciences participatives y font aussi allusion.

Sciences post-normales et utilisation des modèles

Nous pouvons retirer des descriptions de ces familles deux remarques importantes pour la suite.

Tout d'abord, les familles que j'ai présentées renvoient pour la plupart à une même stratégie de résolution de problèmes : celle de sciences post-normales (Allain et al., 2018; Postone & Gopal, 2012).

Des sciences participatives à la recherche-action participative, en passant par la modélisation participative, le rôle du scientifique est questionné : ce n'est pas lui qui propose un modèle « expert » élaboré dans un laboratoire, il devient un acteur parmi d'autres dans la participation. Le diagnostic et les contraintes du territoire se construisent au contraire à partir des représentations qu'ont les différentes parties prenantes de son fonctionnement, des interactions entre ses éléments et de ses enjeux. Ainsi, « les scientifiques étant, dans cette perspective, considérés comme des acteurs parmi d'autres, ce type de démarche suppose que leurs analyses initiales peuvent, elles aussi, être interrogées au vu de la concertation engagée » (Etienne, 2010). Dans certaines démarches, les résultats scientifiques sont même « volontairement et directement soumis à réfutation ». Cela questionne sur ce que le scientifique peut apporter dans un processus participatif, sur son rôle et sa place, sur la nécessité même de sa présence.

De plus, on voit que, dans chaque courant, les objectifs de la création et de l'utilisation des modèles, scientifiques ou participatifs, sont multiples. Il peut s'agir de construire une représentation partagée, de mettre en évidence le caractère systémique d'une situation¹, ou encore de chercher à anticiper les conséquences d'une action. Les modèles apparaissent donc comme essentiels dans la plupart des dispositifs participatifs, parce qu'ils peuvent aider à instaurer de la facilitation entre les acteurs, à travailler sur les relations de pouvoir entre citoyens et représentants pour que l'avis de chacun soit entendu, ou encore à apaiser les conflits et tensions entre les parties prenantes.

Mais ces questions se situent principalement au niveau de la rencontre et du dialogue entre élus locaux et citoyens, et très peu sur la posture de l'expert, du scientifique, vis-à-vis des autres parties prenantes. Des enjeux importants se cachent pourtant dans cette interaction.

b) L'expertise sous forme de jeu sérieux

A partir des analyses précédentes, j'ai identifié deux positionnements extrêmes dans lesquels pourraient être placés les scientifiques au sein des processus participatifs, qui représentent selon moi deux écueils potentiels : le relativisme total auquel pourrait aboutir une posture de sciences post-normales, et le maintien d'une boîte noire empêchant sa compréhension par les acteurs. Après les avoir détaillées, je me pencherai sur un positionnement intermédiaire que peuvent avoir les scientifiques, le jeu sérieux. C'est cette forme de transfert de connaissance entre scientifiques et citoyens que j'ai décidé d'utiliser dans mon stage.

Le relativisme total

D'une part, la posture de sciences post-normales (cf. II.a) a tendance à relativiser la nature particulière des savoirs émanant des scientifiques. Le scientifique est un humain, et la science n'est jamais totalement objective et neutre. Des garde-fous doivent donc être posés pour éviter que l'explication d'un scientifique ne relève que d'un témoignage ou d'une opinion. Mais il ne faut pas tomber non plus dans un relativisme complet, dans lequel les savoirs scientifiques pourraient être remis en question, jugés comme inutiles ou faux.

¹ Ce que Duke appelle le « gestalt », c'est-à-dire une « structure ou configuration de phénomènes physiques, biologiques ou psychologiques tellement intriqués qu'elle constitue une unité fonctionnelle dont les propriétés ne sont pas déductibles de la somme de ses parties » (Becu, 2020),

Il est important que la problématique s'appuie sur un diagnostic scientifiquement rigoureux du territoire, et que les modèles proposés incluent des phénomènes biophysiques. Cela permet de compléter les représentations que chacun se fait du monde par un ancrage dans le réel, évitant ainsi que les solutions proposées ne soient incompatibles avec les lois de la thermodynamique ou induisent des effets biophysiques indésirables. Ainsi, « as modeller, the scientist makes sure that the scientific components of the model adhere to standard scientific practice and objectivity. » En modélisation participative, « the structure of the model must be scientifically sound and defensible » (Voinov & Bousquet, 2011). Et lorsque des compromis doivent être faits pour respecter la prise en compte des représentations de chacun, cela doit être clairement mentionné dans le processus.

L'importance de cette problématique de la posture de l'expert a été relevée en modélisation d'accompagnement : « La principale question [de la publication de la charte ComMod dans la revue *Natures, Sciences et Sociétés*] concerne le statut de la connaissance du scientifique dans le dialogue engagé. Si la mise en débat de ce point de vue est cohérente avec les fondements édictés, cette connaissance scientifique doit-elle être mise au même plan que la connaissance des autres acteurs ou doit-elle être débattue de façon différente ? » (Etienne, 2010) Et même si la méthodologie de plusieurs courants de pratique s'inscrit dans cette posture de sciences post-normales, tous les dispositifs expérimentaux font appel d'une manière ou d'une autre aux savoirs scientifiques « normaux », en particulier pour inclure des mécanismes biophysiques d'hydrologie ou de dynamique de biodiversité.

La pratique de la participation s'écarte donc bien de cet écueil du relativisme, et la nécessité d'un apport de connaissances scientifiques semble établie. Mais alors, comment intégrer ces savoirs scientifiques de manière claire ?

La boîte noire

D'autre part, en plus de détenir des savoirs de nature différente à celle des autres parties prenantes, le scientifique n'a pas un langage similaire à celui de ses interlocuteurs. A un problème de différence de fond s'ajoute donc une difficulté de forme. Comme mentionné plus haut (II.a), beaucoup de praticiens se sont penchés sur la manière de faire dialoguer les parties prenantes directement concernées par la problématique. Par contraste, « scientific knowledge is typically understood to be explicit, systematised, decontextualised and hence widely transferable (Norgaard, 1984; Ingram, 2008) » (Reed, 2008).

Néanmoins, le formalisme scientifique ne s'inscrit pas dans le langage courant, il a ses définitions, ses formes de raisonnement, ses méthodologies... Les sous-modèles utilisés dans les pratiques participatives, représentant le fonctionnement biophysique d'un système, sont-ils des boîtes noires dont les autres parties prenantes ne comprennent pas les tenants et aboutissants ? Lorsqu'une technique de systèmes multi-agents est utilisée, la transcription informatique des interactions identifiées entre les acteurs et leur environnement est-elle claire pour les participants ? Autrement dit, le modèle et la simulation restent-ils en partie des boîtes noires, un objet mystérieux dont les acteurs croiraient simplement le résultat ? A l'inverse de l'écueil relativiste, comment dépasser également l'argument d'autorité de la vérité scientifique ? Comment, en pratique, garantir une certaine transparence vis-à-vis des parties prenantes ?

En somme, « the need for scientific information and analysis to inform stakeholder deliberation has been identified by many authors as an essential ingredient in any participatory process [...]. However, there is also a danger that unless carefully balanced, such information may bias decisions. » (Reed, 2008)

Il y a donc un réel point de vigilance à avoir au cours d'un processus participatif sur la manière dont les scientifiques se positionnent, présentent leurs connaissances et mènent en transparence les phases de modélisation. Face à ce diagnostic documenté par de nombreux papiers (voir les références données par Reed, 2008), j'ai été surprise que peu d'articles s'attardent, à ma connaissance, sur la façon de traduire des connaissances expertes (Bommel et al., 2014), notamment sur la comparaison de différentes méthodes.

Comment garantir la neutralité de ce processus de transmission ? Comment, dans le même temps, intéresser les parties prenantes pour que le transfert soit effectif ? Comment dépasser le format descendant d'un cours ?

Ces questionnements sont au cœur du processus de création de mes démonstrateurs. Comme dans la plupart des processus participatifs vus ci-dessus, la transmission des connaissances se ferait lors de la phase de diagnostic, au moment où les participants construisent leur représentation du système étudié. En effet, ces démonstrateurs ont vocation à compléter la grille d'analyse que les acteurs vont mobiliser lors de toute la suite du dispositif participatif. Ces démonstrateurs ne sont pas des simulateurs ou des modèles susceptibles de servir à explorer des scénarios : leur atout se trouve plutôt dans le décryptage de la « boîte noire » que pourrait être un modèle associé à la participation (une analyse de flux de matière par exemple). En filigrane, il est possible que ces démonstrateurs aient des conséquences sur la phase de définition des objectifs et contraintes, et cela serait un signe positif de leur utilité auprès des participants.

Une méthode possible : les jeux sérieux

Malgré ce manque de littérature sur les avantages et inconvénients de différents outils de transmission de connaissances scientifiques, une forme assez répandue se détache nettement dans la pratique de la participation active : le jeu sérieux. Dans ce rapport, je désigne par « jeu sérieux » tout jeu ou dispositif ludique, à plusieurs joueurs, dont la mission principale n'est pas le divertissement. Cette définition diffère de celle qu'on peut trouver dans la littérature parce qu'elle ne se limite pas aux outils incluant une part de simulation ou d'interface numérique (Becu, 2020). Cette dernière caractéristique apparaît davantage comme un continuum qu'une modalité binaire entre jeu « informatique » ou « manuel ».

Le jeu sérieux n'est pas un format utilisé uniquement dans le cadre de processus participatifs. Les applications des jeux sérieux sont très larges, mais ils ont très souvent une visée pédagogique. J'utilise ici cette notion parce que c'est un outil dont l'intérêt éducatif a largement été étudié (Meera et al., 2016; Wouters et al., 2013), avec notamment le développement de méthodes pour évaluer l'apprentissage (Becu, 2020).

J'ai ainsi étudié une petite dizaine de jeux sérieux, ayant des vocations, usages et formats assez variés. Parce qu'ils tranchaient avec les hypothèses de travail de mon stage, ou bien parce qu'ils

m'ont inspirée pour la création des démonstrateurs, je présente ici les aspects qui ont retenu mon attention dans trois jeux sérieux : le jeu FishBanks, le jeu minimal Ourou et le Playbook de Meadows.

FishBanks

Dans le jeu FishBanks (Meadows, 1986), inventé par Dennis Meadows, les joueurs incarnent des pêcheurs qui doivent retirer le plus d'argent possible de leur activité. Le jeu comporte une part de simulation numérique, qui est entièrement à la main du maître du jeu. L'interface des joueurs est quant à elle en support papier. Le jeu vise à faire réfléchir sur la gestion des biens communs (ici, les poissons), en mettant tout en œuvre pour que les joueurs surexploitent la zone de pêche et que la population de poissons s'effondre. Ce dispositif est donc intéressant parce qu'il constitue un démonstrateur d'un phénomène particulier (l'effondrement soudain suite à une croissance exponentielle), basé sur un exemple contextualisé (la pêche).

La formulation de l'objectif du jeu est volontairement ambiguë : il s'agit d'avoir « gagné le plus d'argent possible » à la fin des 10 tours de la partie, mais cela ne précise pas si chaque joueur doit maximiser ses gains (de manière indépendante et absolue), ou s'il s'agit de gagner plus que les autres joueurs (donc de manière compétitive et relative). Il m'a paru intéressant de réutiliser cette imprécision consciente dans le démonstrateur sur la concurrence entre ressources, pour entretenir la liberté des joueurs entre attitude collaborative ou compétitive. J'ai également repris la notion de nombre de tours de jeu fixé, qui va de pair avec cet objectif de gain maximal : cela permet aux joueurs de développer des stratégies en anticipant la fin de la partie.

L'immersion dans une situation contextualisée est à la fois forte et faible dans FishBanks. D'une part, les pêcheurs ont un compte en banque avec des mécanismes financiers d'intérêts qui ne semblent pas fondamentaux pour la compréhension du phénomène, la zone de pêche est divisée en deux secteurs avec des caractéristiques très précises (population, taux de renouvellement, probabilité de pêche etc). Mais, d'autre part, le plateau de jeu est minimaliste et le graphisme des pions est très peu développé (voir Figure 4). De même, la fiche de suivi n'est pas particulièrement attrayante. Ce jeu m'a permis d'éveiller un point d'attention pour les démonstrateurs que je construis : même s'il peut être tentant d'ajouter des mécanismes au jeu pour le rendre plus réaliste, cela peut obscurcir le message principal.



Figure 4 : plateau du jeu FishBanks (Meadows, 1986)



Figure 5 : Jeu « Avalanche » du System Thinking Playbook (Sweeney et al., 2018)

Ourou

Par contraste, d'autres jeux sérieux ne contextualisent que très peu la situation et se veulent abstraits. C'est le cas de Ourou (de Waard, 2017), un jeu minimal et abstrait créé par Sander de

Waard en 2017, dans le cadre d'un mémoire de master à l'université de Twente. Dans ce jeu, un sac contenant un certain nombre de billes circule entre les joueurs, qui peuvent chacun à leur tour piocher ce qu'ils souhaitent dedans, sans l'indiquer aux autres. Les contraintes sont que le sac doit encore contenir 5 billes à la fin du tour de circulation parmi les joueurs. Si ce n'est pas le cas, les joueurs rendent les billes qu'ils ont prises à ce tour-ci. Plusieurs tours sont effectués, avec des variations sur l'information donnée aux joueurs ou sur la possibilité laissée aux participants de communiquer entre eux. Le but est, comme dans FishBanks, de gagner le plus de billes possibles. Il peut se jouer en 30 min environ.

Ourou est un jeu de prise de décisions individuelles répétées, et il permet de mettre en évidence des mécanismes informationnels et de confiance entre les joueurs, sur fond de partage de ressources. L'aspect minimal de ce jeu se voit de deux manières : matérielle, puisqu'il ne nécessite qu'un contenant et des « billes » (qui peuvent être n'importe quel petit objet en nombre suffisant) ; et de mécanisme de jeu, dans la mesure où il ne nécessite que quelques règles et un temps très court. Cette approche a guidé ma méthodologie, dans laquelle j'ai cherché à identifier les mécaniques ludiques et les éléments de jeu minimaux à intégrer pour que l'enjeu à mettre en lumière soit présent.

La décision répétée n'est en revanche pas totalement adaptée pour mon travail, qui se focalise davantage sur des mécanismes biophysiques que des dynamiques de confiance et de partage d'informations. Mais, comme on le verra dans la partie suivante, des stratégies de pouvoir et d'influence entre les joueurs ont émergé dans les sessions de test des démonstrateurs, ce que j'avais peu anticipé. Certaines font écho à ce qu'il se passe dans Ourou, comme l'utilisation de la position de premier ou de dernier joueur.

System Thinking Playbook

L'aspect matériel d'Ourou est intéressant : des éléments très simples suffisent pour construire un démonstrateur puissant d'un phénomène. Les jeux décrits dans le System Thinking Playbook (Sweeney et al., 2018) s'appuient également sur l'efficacité de métaphores matérielles. Ce kit d'outils a été développé par Linda Booth Sweeney et Dennis Meadows en 1995 et réédité en 2011, et revendique une posture d'« understanding by doing ». Chaque jeu met en place une métaphore entre une dynamique systémique, par essence abstraite et théorique, et un objet ou une situation du quotidien, afin de rendre ces phénomènes haptiques, c'est-à-dire appréhendable par le toucher, par le faire.

J'ai trouvé cette approche particulièrement riche et originale. Pour donner un exemple, dans le jeu « Avalanche », le niveau de CO₂ mondial est représenté par un hula-hoop, porté par le bout des doigts des différents participants placés en cercle (voir Figure 5). La consigne est donnée aux joueurs de chercher à baisser ce niveau de CO₂, mais, presque inévitablement, le hula-hoop se met à monter malgré les bonnes intentions de chaque participant pour maintenir l'équilibre du cerceau. Cet atelier ludique illustre un phénomène très singulier et isolé : « the rules of the system are producing outcomes different from what many people claim they want ». Dans mes démonstrateurs, j'ai retenu de ces dispositifs l'importance de rendre les acteurs actifs dans le jeu, pour que la surprise soit véritablement expérimentée et l'apprentissage soit ainsi intériorisé plus facilement.

En outre, ces 20 exemples de démonstrateurs illustrent bien le fait que le debrief est un temps essentiel du dispositif. Il n'est pas rare que le debrief soit plus long que le jeu en lui-même. Dans tous les cas, le déroulé total dure environ 30 min, ce que je me suis fixée au départ comme objectif idéal de temps de jeu (dans la pratique, les démonstrateurs que j'ai construits nécessitent plutôt 1 h 30 de jeu).

La rédaction du manuel est également inspirante : pour chaque jeu, une page de motivation explique le lien entre le phénomène et le climat et l'objectif du jeu, elle est suivie par une page d'informations techniques (durée, format, équipement), à laquelle succèdent des instructions très claires et précises (avec une attention intéressante portée sur l'inclusivité des jeux), et enfin le debrief est guidé sans être imposé.

FishBanks, Ourou et le playbook de Meadows sont donc trois jeux sérieux qui ont motivé mes choix quant au format des démonstrateurs : scinder les enjeux pour construire des dispositifs parcimonieux et minimaux, les plus simples et percutants possible ; expérimenter ce que la contrainte de l'abstraction permet de développer ; ne pas avoir recours à des outils de simulation numérique.

Tandis que l'analyse de jeux sérieux m'a aidée à mieux définir mes objectifs et ma méthodologie pour mettre en évidence des enjeux, l'étude de la pratique du jeu, et du jeu de société en particulier, m'a donné un éclairage intéressant sur les mécaniques et éléments de jeu à intégrer concrètement dans mes démonstrateurs.

c) Les mécaniques de jeu et critères de ludicité

J'ai intégré trois approches complémentaires sur la pratique du jeu. D'une part, les sciences de l'éducation ont proposé une définition du jeu qui m'a été utile au moment de caractériser mes dispositifs en termes de ludicité. D'autre part, Miguel Rotenberg a développé une cartographie des mécaniques de jeux de société, dont je présente ici certains extraits. Enfin, je complète cette approche théorique par une analyse d'une dizaine de jeux de société qui représentent des notions de territoires, de ressources et de métabolisme.

La définition de la ludicité

Comme l'explique Nicolas Becu (Becu, 2020), les théoriciens du jeu ont toujours cherché à ne pas cloisonner cette pratique dans une définition unique et éternelle. En particulier, Gilles Brougère a développé dans les années 2000 une caractérisation multicritère d'un jeu, grille d'analyse qu'il nomme « pentagone de ludicité ». « Le pentagone ludique présente cinq dimensions qui participent à caractériser ce qu'est un jeu », les deux premières étant jugées nécessaires. Mais un dispositif peut selon cette grille être un jeu sans satisfaire chacun de ces cinq critères :

- le second degré : lorsqu'on joue, on « fait semblant »
- la décision : chaque joueur est amené à faire des choix, à prendre des décisions, et celles-ci sont performatives, elles ont une conséquence immédiate sur le jeu
- les mécanismes de décision : les joueurs doivent être d'accord sur la manière dont on peut prendre une décision (même si ces règles ne sont pas celles étiquetées par le jeu), la limite de la triche est claire pour tous
- l'incertitude : on ne joue pas si on sait comment le jeu va finir

- et la frivolité : les actions faites dans un jeu n’ont pas de conséquence dans le monde réel, « perdre » n’a aucune matérialité, ce n’est qu’une déception psychologique de quelques instants.

A partir du concept de pentagone ludique, Eric Lardinois a développé un « indice de ludicité » (voir Figure 6), un outil d’évaluation du caractère ludique d’un dispositif. Pour cela, il décline chaque dimension du pentagone ludique en plusieurs critères (Lardinois, 2000). Cet outil m’a été utile pour caractériser le degré de ludicité de mes dispositifs, et en particulier pour identifier des leviers d’amélioration de ces démonstrateurs.

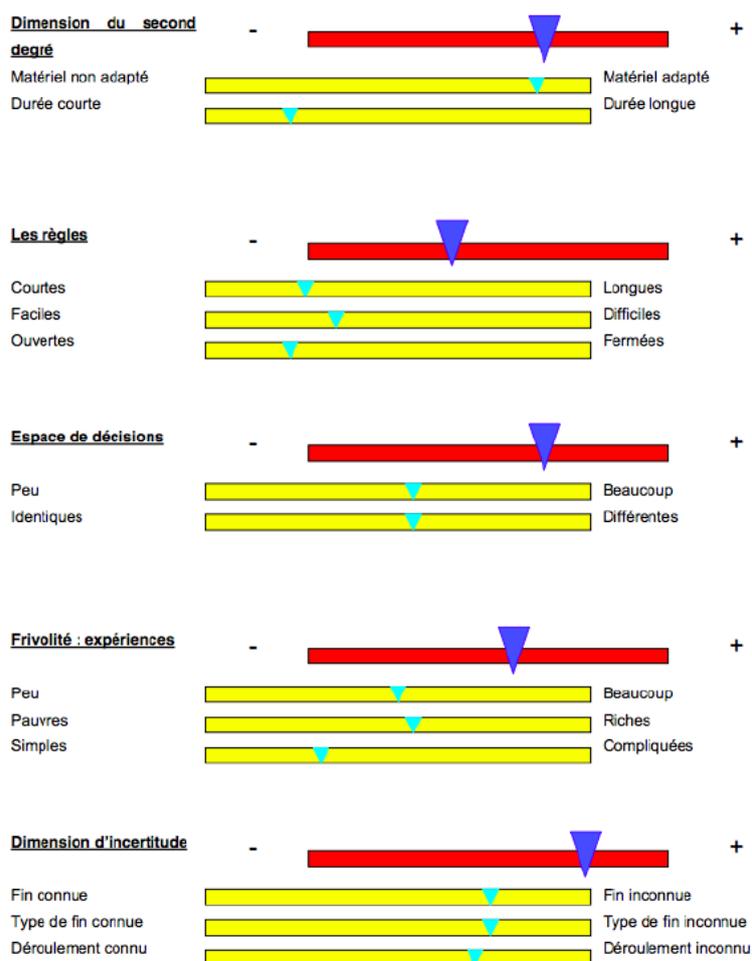


Figure 6 : Indice de ludicité d'Eric Lardinois (Becu, 2020)

Il est intéressant de regarder comment le « jeu sérieux » s’inscrit dans cette caractérisation du jeu. En premier lieu, on peut remarquer que le caractère « sérieux » du jeu sérieux n’entre en conflit avec aucune des dimensions du pentagone ludique. On pourrait croire que le jeu sérieux rapproche les joueurs du premier degré, mais on a vu plus haut (cf. II.b) que des métaphores, des contextualisations éloignées de l’environnement des participants, et le choix de ne pas viser au réalisme permettent, le temps du jeu, de s’extraire de la réalité. Dans un processus participatif, l’aspect de frivolité garantit aux joueurs qu’ils puissent expérimenter différents scénarios, justement

sans avoir à subir les conséquences réelles de certaines décisions (banqueroute, famine, effondrement, conflits...).

En revanche, dans la création d'un jeu sérieux, le dosage de l'incertitude est assez subtil. En effet, l'objectif du jeu est de mettre en évidence certains phénomènes (donc de guider fortement le résultat), tout en donnant une certaine liberté aux joueurs sur le déroulement de la partie. Dans FishBanks ou Ourou par exemple, le sentiment de frustration d'avoir perdu est essentiel à l'apprentissage, et cela est permis notamment par des choix de mécaniques ou de paramètres qui induisent, sans le faire explicitement, la perte des joueurs.

Les mécaniques des jeux de société

Un autre travail mené dans le champ des sciences de l'éducation a apporté un éclairage intéressant sur mes démonstrateurs. Il n'existe pas de théorie méthodologique sur la création d'un jeu, sur les éléments ou mécaniques de jeu à intégrer pour produire tel ou tel effet sur les joueurs.

Eric Lardinois, le concepteur de l'indice de ludicité, a en effet constaté l'absence de littérature scientifique sur la conception des jeux (et des jeux de société en particulier). Il justifie ce vide théorique par le type de créateurs de jeux commerciaux : il s'agit soit de concepteurs indépendants, ne suivant pas de méthodologie claire, soit de fabricants de jeu de société, dont le « secret de fabrique » est protégé.

Partant de ce bilan, Miguel Rotenberg (Rotenberg, 2015) propose en 2015 une nouvelle démarche, consistant à établir une liste exhaustive des mécaniques présentes dans des jeux de société, et à les classifier. J'ai donc relevé, parmi ces mécaniques, celles qui avaient un lien avec les phénomènes que je souhaitais mettre en lumière dans des démonstrateurs (voir Figure 7).

Facette n°1 : Matériel de jeu	Plateau	Structure et déplacements	Déplacement sur grille Déplacement en zones Déplacement point à point Parcours
		Transformations	Plateaux modulaires Placement de tuiles Exploration
		But du jeu	Contrôle ou influence de zones Encerclement de zones Connexions
	Gestion de ressources	Accès	Enchères Draft Pool Building Pari
		Spéculation	Transmutation de ressources Pousse ta chance
		Arrangement	Collection / Famille Combinaisons Construction de patron

Figure 7 : extrait de la classification des mécaniques (Becu, 2020)

Comme nous l'avons vu dans la section I.c, tous les enjeux identifiés par l'équipe STEEP gravitent autour des notions de territoires, de ressources et de métabolisme. Dans la classification de Rotenberg, je m'intéresse donc dans la suite à trois catégories de mécanique qui y font écho : le plateau de jeu (pour les territoires), la gestion des ressources et la transmutation de ressources (pour le métabolisme).

Le plateau de jeu

Comme le présente Rotenberg, le plateau de jeu combine souvent une fonction informationnelle et une fonction esthétique. Le but informationnel se décline en trois objectifs :

- délimiter des zones d'actions (notamment des possibilités de déplacement)
- stocker des denrées
- conserver des valeurs en mémoire (par des indicateurs ou compteurs par exemple).

Les deux premiers points illustrent en quoi un plateau de jeu peut être lu comme un ensemble de territoires, puisqu'ils renvoient chacun à une vision de cette notion. D'une part, le territoire est un « espace considéré comme un ensemble formant une unité cohérente » (Larousse, s. d.), c'est-à-dire une zone délimitée, au sens géographique : se déplacer sur un plateau de jeu peut revenir à évoluer entre plusieurs territoires. D'autre part, le territoire est une « étendue dont un individu ou une famille d'animaux se réserve l'usage » (Larousse, s. d.), il s'agit donc d'un espace approprié, d'un espace exploité. Un territoire regorge de ressources que des êtres vivants utilisent à leurs fins : c'est exactement l'intérêt du plateau de jeu comme stockage de ressources.

La gestion des ressources

La classification de Rotenberg est particulièrement intéressante en ce qui concerne les ressources, puisqu'une catégorie entière est consacrée à la « gestion de ressources ». La définition de ressource que donne Rotenberg est assez large : « La ressource correspond aux moyens mis en œuvre pour atteindre un but. [...] La ressource permet d'obtenir la victoire, ou renvoie aux objectifs établis par le jeu ou nous-mêmes. [...] Tous les éléments de jeu que nous contrôlons et qui constituent des leviers d'action peuvent devenir des ressources. » (Rotenberg, 2015) Plusieurs mécanismes sont recensés pour y avoir accès : l'enchère, le draft (c'est-à-dire le choix d'une ressource parmi plusieurs) ou encore le placement d'ouvriers (« sur des cases d'action afin d'obtenir des ressources »).

Par ailleurs, la ressource fait également référence chez Rotenberg à un élément matériel du jeu, qu'on appelle également « denrée » ou « matière première » : elle peut prendre la forme « de billets, de cartes, de jetons ou d'éléments en bois représentant de la pierre, de l'or, du bois, etc. » Ces objets servent « trois fonctions : c'est une unité de compte, ou du moins elle participe à l'établissement d'une échelle de valeurs ; c'est un moyen d'échange ; et c'est une réserve de valeur, autrement dit, elle a vocation à être stockée pour être ensuite dépensée ou vendue. »

La transmutation et la combinaison de ressources

Enfin, dans les travaux de l'équipe STEEP, les ressources (qu'on appelle plutôt « matières ») sont transformées, échangées, converties au fil de la chaîne de production. Le concept de métabolisme regroupe tous les flux et stocks de la ressource étudiée (Baccini & Brunner, 2012), et est proche de deux mécaniques décrites par Rotenberg : la transmutation de ressource et la combinaison.

La combinaison amène les joueurs à « combiner des ressources, de façon à démultiplier leur utilité individuelle ». Ces combinaisons peuvent être libres ou imposées. Dans le cas d'une analyse de flux de matière, une étape de transformation nécessite des ressources et leur produit a une valeur ajoutée par rapport à la somme des valeurs individuelles des ressources.

La transmutation est une mécanique de pari, de choix stratégique, qui consiste à « investir et employer des ressources pour en acquérir de nouvelles ». Cette mécanique donne donc « aux joueurs la possibilité de spéculer sur la rentabilité de ressources acquises via d'autres ressources. Cette mécanique implique l'inclusion dans le jeu de ressources de différentes natures, et dont l'estimation de la rentabilité représente souvent une difficulté. » Cette mécanique de jeu est donc intéressante pour rendre ludique l'aspect de combinaisons : toutes les ressources ne sont pas

équivalentes, certaines peuvent apparaître comme plus propices à un joueur à un moment donné de la partie.

Ainsi, la classification de Rotenberg donne un éclairage théorique sur les jeux de société, et sur la manière de matérialiser des ressources, des territoires et des métabolismes.

Etudes de jeux de société sur la représentation des notions de territoires et de ressources

Pour davantage concrétiser ces éléments de jeu, j'ai analysé une vingtaine de jeux de société qui incluent des représentations de ces trois notions. J'en ai sélectionné huit qui m'ont semblé pertinents pour illustrer la variété des représentations utilisées par les jeux de société : les Colons de Catane, Terristories, Everdell, Mini Divercity, Klimato, Pandémic, 7 Wonders et Tzolk'in. Dans ce choix, j'ai veillé à diversifier les caractéristiques des jeux : jeux compétitifs ou coopératives, jeux courts ou longs, jeux avec ou sans vocation de sensibilisation, jeux modernes ou classiques...

Ma grille d'analyse (voir Tableau 4) est structurée en quatre dimensions : la représentation de la notion de territoire, de celle de ressource et de celle de métabolisme, ainsi qu'à celle de vulnérabilités des joueurs ou des territoires à certains risques. En ce qui concerne les ressources, je précise si elles sont limitées en stock (quantité disponible au cours de la partie) ou en flux (quantité exploitable lors d'un tour de jeu). Pour des raisons de lisibilité, je scinde le tableau comparatif en deux parties : le tableau 3 regroupe les jeux de société sur lesquels la notion de territoire est incarnée par le plateau de jeu, tandis que le tableau 4 présente des jeux pour lesquels chaque joueur développe son propre territoire.

On retrouve bien les trois formes décrites par Rotenberg pour représenter des ressources : les denrées (c'est-à-dire les petits cubes ou formes stylisées), les jetons (découpes plates de carton) et les cartes. Le choix parmi les trois représentations matérielles des ressources est justifiée à la fois pour des raisons esthétiques (dans le cas d'Everdell par exemple) et pour des raisons de mécanismes de jeu (pour homogénéiser les ressources et les métabolismes, comme dans 7 Wonders, ou au contraire les différencier en nature, à l'instar de Terristories).

Dans la plupart des jeux, le stock et/ou le flux de ressources est limité, ce qui signifie que les ressources sont modélisées comme des objets rares : les joueurs doivent dépenser des efforts pour en obtenir, et cet accès est concurrentiel.

L'originalité des jeux de société que j'ai étudiés réside dans la manière dont ils représentent le métabolisme des ressources. Celui-ci est souvent incarné dans des cartes indiquant le coût (en ressources) et le bénéfice retiré de cette transformation. Ces derniers peuvent être, entre autres, des points de victoire ou de nouvelles ressources. C'est la déclinaison de cette forme standard qui est au cœur de la spécificité de chaque jeu.

Analyser ces jeux de société existants a été une source d'inspiration dans la création de mes démonstrateurs, en illustrant plusieurs voies possibles pour représenter les notions importantes que sont les ressources, les territoires et les métabolismes. En combinant cette approche par les jeux de société à celle des jeux sérieux, j'ai élaboré deux démonstrateurs qui visent à traduire des enjeux formalisés par des scientifiques en dispositifs appréhendables dans le cadre d'un processus participatif.

Jeu de société	Colons de Catane (Teuber, 1995)	Terristories (d'Aquino, 2016)	Mini Divercity (Tardif, 2017)	Pandémic (Leacock, 2009)
Objectif	Compétitif	Coopératif et compétitif	Coopératif	Coopératif
Territoire	Deux représentations : - des tuiles terrains hexagonales, correspondant à un type de ressource - les colonies et routes de chaque joueur	Des tuiles terrains hexagonales, de plusieurs types	6 îles sous forme de carte simple recto-verso	Mappemonde divisée en 4 territoires de virus (une couleur par territoire)
Ressources	Cartes simples, 4 types de ressources	Une unique ressource = des cubes en bois	Cartes simples d'espèces marines	Cartes simples des villes
Stock	Quantité illimitée	- Stock maximum par type de terrain - Taux de renouvellement des ressources rend leur stock épuisable	Quantité illimitée	Un exemplaire de carte de chaque ville
Flux	3 colonies maximum peuvent exploiter une tuile terrain Aléa des dés	Nombre de zones d'activité limité par terrain		
Echange de ressources	Troc	Ressources mises en commun pour développer des projets	Echange d'information	Don entre joueurs
Métabolisme	4 formules de transformation 	Cartes « projet » : en utilisant des ressources, on modifie les 3 types d'indicateurs de développement 	Mouvement ascendant et descendant pour chaque espèce, sur une carte avec 3 niveaux de « survie » 	5 cartes de la même couleur détenue par un joueur donne accès à un remède contre le virus 
Vulnérabilités	- concurrence d'usage des sols - dépendance au hasard - stock des joueurs limité par le voleur	- les indicateurs incarnent les objectifs environnementaux à atteindre (proche de la notion de limite planétaire) - les ressources renouvelables sont épuisables	Extinction d'espèces marines	- interdépendance des villes voisines à la propagation du virus - mise en évidence de points de bascule (situation maîtrisée ou non)

Tableau 3 : Représentation des notions de territoire, de ressources et de métabolisme – première partie

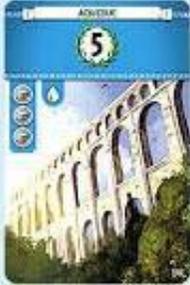
Jeu de société	Everdell (Wilson, 2022)	Klimato (Brogol, 2020)	7 Wonders (Bauza, 2010)	Tzolk'in (Luciani & Tascini, 2012)
Objectif	Compétitif	Coopératif	Compétitif	Compétitif
Territoire	- environnement représenté sur le plateau (arbre, forêt, prairie etc) - ville des joueurs	La ville de chaque joueur	La cité de chaque joueur	
Ressources	4 ressources sous forme de denrées	Cartes simples, 3 combustibles	- monnaie - cartes d'exploitation de matières premières	- jetons pour les ressources agricoles - denrées pour les autres
Stock	Quantité illimitée	Stock limité, mais les cartes d'énergie renouvelable sont remplacées sous le paquet	Matières premières en quantité illimitée, une fois le bâtiment installé il produira toujours	Quantité limitée, matérialisée par les tuiles récoltes (on enlève une tuile à chaque récolte de ressources agricoles)
Flux	Indiqué sur les différentes places du plateau			
Echange de ressources	Non	Peut exploiter les bâtiments voisins	Peut exploiter les bâtiments matière première de ses voisins	
Métabolisme	Cartes « bâtiment » avec des coûts et des avantages 	Cartes « bâtiment » avec un coût en énergie (en haut à gauche), des points de victoire (en haut à droite) et des bénéfices (en bas) 	Les autres cartes « bâtiment », avec le coût à gauche, et le bénéfice en haut 	Avec le temps, les rendements et bénéfices augmentent grâce à un système d'engrenage 
Vulnérabilités	Aucune vulnérabilité de l'environnement	- épuisement des énergies non renouvelables - dépendance à des aléas météorologiques pour les énergies renouvelables		- épuisement des ressources renouvelables

Tableau 4 : Représentation des notions de territoire, de ressources et de métabolisme – deuxième partie

III. METHODOLOGIE ET RESULTATS

Au cours de ce stage, j'ai construit deux démonstrateurs, qui visent à mettre en évidence un enjeu particulier chacun :

- le transfert géographique de pressions, c'est-à-dire le fait qu'un territoire internalise (resp. externalise) des pressions lorsque la production locale (resp. extérieure) induit des pressions mais que la consommation est extérieure
- la concurrence entre ressources de l'autre, autrement dit les compromis à trouver dans les usages multiples d'une même ressource.

Pour chacun de deux démonstrateurs, je présente la méthodologie que j'ai suivie dans le processus de création. Dans un premier temps, je décris les différentes priorités que j'ai eues dans chaque jeu, et comment je les ai ordonnées en étapes du processus de création. Je préfère revenir en détails sur chacune de ces phases de création, dans les deux premières sections de cette partie, avant de développer le déroulé de chaque jeu (cf. Encadrés 3 et 4).

La première partie explique les spécificités de déroulé de conception de chaque démonstrateur, tandis que je reprécise dans la deuxième la phase de définition des objectifs et hypothèses de chaque démonstrateur, en mettant à profit plusieurs grilles d'analyse développées dans la méthode de participation décisionnelle CoOPLAaGE.

Une fois le cadre de chaque jeu délimité, je précise le déroulé de chaque jeu : les éléments, les règles et le debrief. Une dernière section est consacrée aux sessions de jeu que j'ai pu mener, et décrit quelques exemples d'améliorations concrètes.

a) La méthodologie de création de démonstrateurs

Pour élaborer une méthodologie de conception, je suis partie des trois hypothèses de travail (cf. section I.b) : construire des activités ludiques (afin de faciliter un apprentissage actif et horizontal), viser la parcimonie et la minimalité, et développer des dispositifs haptiques, matériels, dénués d'informatique. J'ai peu à peu agencé ces points de départ de manière chronologique :

- pour le « transfert géographique de pression », je me suis focalisée sur l'aspect minimaliste, puis sur l'approche haptique et enfin sur la dimension ludique
- en ce qui concerne la « concurrence entre ressources », j'ai préféré travailler sur la dynamique ludique et l'aspect matériel en premier lieu, puis sur la minimalité.

Se sont ajoutés à ces axes principaux d'autres éléments structurants de la création des démonstrateurs, liés à des spécificités de chaque mécanisme ou bien à d'autres choix de contraintes que je me suis fixées, notamment pour l'activité autour de la « concurrence entre ressources ».

J'ai donc priorisé ces multiples angles d'approche en une méthodologie de création, volontairement assez différente entre les deux démonstrateurs. L'objectif n'était pas de converger vers une méthode optimale, mais plutôt d'explorer plusieurs pistes de conception et de voir à quelles différences de contenu et de forme cela pouvait mener.

Avant de revenir sur chacune des étapes qui m'ont été nécessaires pour construire chaque démonstrateur, je les énumère dans le tableau 5.

1 - Transfert géographique de pression	2 - Concurrence entre ressources
Définition du mécanisme et identification des notions minimales	Contrainte du format « jeu de société »
Choix des éléments matériels de ludicité	Contrainte de l'abstraction
Travail de formulation et de narration	Définition formelle du mécanisme et identification des notions minimales
Choix et quantification des pressions	Conception des règles du jeu
Formalisation des hypothèses et des objectifs	Formalisation des hypothèses et des objectifs
Fabrication du matériel	Calibration des formules
Explicitation des prolongements possibles	Construction du debrief
Ludification de l'activité	Sessions de test
Construction du debrief	Arbitrage sur la nécessité de certaines règles
Sessions de test	

En couleur : les étapes communes aux deux processus

Tableau 5 : Etapes méthodologiques de la conception des démonstrateurs

Démonstrateur 1 – Transfert géographique de pression

Pour construire le démonstrateur sur le transfert géographique de pression, je suis partie du concept en lui-même, en formalisant sa définition et en explorant les contours de cette notion. Dans cet exercice, je me suis appuyée très largement sur les travaux de Jean-Yves Courtonne, en particulier sur son article de 2015 sur la filière céréale (Courtonne et al., 2016). Dans la section I.c, j'ai donné une définition à l'enjeu du transfert géographique de pression : « Un territoire internalise (resp. externalise) des pressions lorsque la production locale (resp. extérieure) induit des pressions mais que la consommation est extérieure (resp. locale) ».

Définition du mécanisme et identification des notions minimales

Le transfert géographique de pressions implique donc nécessairement :

- plusieurs zones géographiques, que j'appelle « territoires »
- des fonctions de production localisées dans ces territoires, que j'appelle « usines »
- de différencier le point de vue d'un producteur de celui d'un consommateur
- des formules de conversion par les usines, les pressions étant créées au moment de ces transformations.

En revanche, pour respecter le principe de minimalité de représentation de la notion, on choisit de ne pas introduire :

- la distance entre les territoires, qui importe peu : c'est le fait que plusieurs territoires, certains perçus comme propres et d'autres comme étrangers, cohabitent qui est ici crucial
- le concept d'impact, qui se distingue de celui de pression : la pression qu'une activité induit sur l'environnement est quantifiable (litres d'eau utilisés par unité de production, par exemple), tandis que l'impact de cette pression sur l'environnement est une notion relative, qui dépend de conditions locales (un litre d'eau pour des usages domestiques en ville n'est pas équivalent à un litre d'eau pour des usages agricoles, de même qu'un litre d'eau dans une zone humide ou dans une zone aride ne signifie pas la même chose)

- le fait que les formules de conversion dépendent du territoire, en fonction de la technologie utilisée et des ressources disponibles
- la différence entre pression en amont (consommation de ressources comme de l'eau ou de l'énergie) et en aval (pollution, émission de gaz à effet de serre).

Choix des éléments matériels de ludicité

A la fin de cette première étape, je suis arrivée à la conclusion qu'il faudrait pouvoir matérialiser le transfert géographique d'un produit, qui induirait des pressions tout au long de sa chaîne de fabrication. La notion de métabolisme est donc apparue dès cette phase de définition comme cruciale : pour la rendre haptique (c'est-à-dire tangible, appréhendable par le toucher), il était nécessaire de construire un objet qui pourrait se transformer à chaque passage dans une industrie. Remplacer un objet par un autre rendrait mal à cet effet, cela romprait la continuité de la chaîne de production.

J'ai alors repris des arts du pliage l'idée d'une carte magique (voir Figure 8), un objet en papier qui permet de faire apparaître successivement quatre faces différentes (<https://www.youtube.com/watch?v=hVfQPUL7SDI>). Cet élément apporte non seulement de la clarté au propos (en explicitant le métabolisme de la production) mais également une dimension ludique, puisque les participants découvrent comment manipuler cet objet insolite.

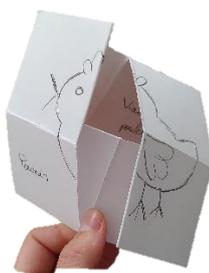


Figure 8 : carte « infinie » aux quatre faces

Travail de formulation et de narration

Le reste du matériel a découlé de ce choix initial de modélisation ainsi que de la volonté de construire un dispositif narré, raconté. Cela a pris la forme d'un jeu de rôle : une personne incarne un consommateur, tandis que les autres participants jouent un territoire composé de plusieurs usines. Le descriptif détaillé du jeu de rôle est présenté dans l'encadré 3 (section III.c).

Un travail de formulation a été nécessaire pour que l'activité soit la plus accessible possible. De même, le produit au cœur de dispositif, à savoir un poulet rôti, a été désigné parce qu'il s'agit d'un objet du quotidien, qu'on peut acheter régulièrement. De plus, cet exemple était également intéressant parce que les dernières étapes de sa production ne sont pas les plus émettrices : cela permet de mettre en exergue le transfert de pression depuis le début la chaîne jusqu'à la consommation finale.

Choix et quantification des pressions

Une fois les grandes lignes du dispositif ludique mises au clair, il restait à choisir les pressions qu'il inclurait. Je me suis limitée à des pressions environnementales, parce qu'elles sont quantifiables grâce aux outils mathématiques d'AFM ou d'analyses de cycle de vie (ACV). J'ai choisi quatre

pressions, de nature différente : l'eau, l'énergie, les gaz à effet de serre et la surface au sol. J'ai en effet estimé qu'elles étaient :

- suffisamment variées pour ne pas toutes peser sur une unique étape de la chaîne
- suffisamment peu nombreuses pour être représentables dans un jeu
- simples et connues du grand public : l'objectif de ce dispositif n'est pas d'introduire une nouvelle notion, comme le cycle de l'azote ou l'écotoxicité.

Comme mentionné dans l'étape de définition du mécanisme, je ne représente pas les pressions dues au transport entre deux étapes : ce serait un aspect qui pourrait obstruer le reste, et c'est la pression à laquelle les participants penseront spontanément. Ce point sera naturellement discuté dans le debrief (cf. Encadré 3, section III.c).

Pour le travail de quantification des pressions, j'ai utilisé des bases de données d'ACV (analyse de cycle de vie). Cette méthode systémique et exhaustive évalue les pressions environnementales causées par un système, en prenant en compte l'ensemble des étapes de son cycle de vie. Classiquement, ce sont plutôt les pressions agglomérées d'une base ACV qui sont utiles. Mais ce ne sont pas ces données qui m'intéressent ici : au contraire, ce sont les pressions étape par étape dont j'ai besoin. J'ai donc enlevé des calculs de pression toutes les étapes non prises en compte dans le dispositif ludique. Ainsi, la pression des engrais comme celle des produits chimiques auxiliaires ne sont pas considérées. Les pressions restantes correspondent donc à l'usage d'eau, d'énergie, de sol nécessaires à l'étape de transformation, ainsi que les émissions directes de gaz à effet de serre qu'elle rejette.

En outre, une fois sélectionnées les pressions quantifiées utiles, le passage de la modélisation à la matérialisation dans le jeu a demandé un peu de temps. Deux aspects devaient être combinés :

- maintenir des ratios parlants d'eux-mêmes : induire dix fois plus de pression à une étape qu'à une autre doit être conservé dans la modélisation
- choisir une échelle (autrement dit une unité) arbitraire permettant de matérialiser (en jetons ou denrées) les chiffres obtenus.

Pour cela, j'ai dû supprimer certaines valeurs jugées négligeables en ordre de grandeur devant d'autres. Enfin, j'ai ajouté des industries fictives et non-utiles au déroulé du jeu pour le rendre plus ludique, en permettant aux participants incarnant des territoires de disposer de plusieurs fonctions de production. Ainsi, le territoire Rhône-Alpes comprend un supermarché, utile dans le jeu, ainsi qu'une papeterie et une menuiserie qui ne serviront pas. Les cartes représentant les industries de chaque territoire sont en annexe A, et les calculs intermédiaires et valeurs finales retenues pour la quantification des pressions sont présentées dans l'annexe B.

Je ne développe pas ici toutes les étapes suivantes du processus, soit parce qu'elles ne nécessitent pas de commentaires particuliers, soit parce qu'elles seront étudiées dans la section suivante de manière commune avec le démonstrateur sur la Concurrence entre ressources. Néanmoins, je précise quelques éléments sur la phase de ludification de l'activité.

Ludification de l'activité

Après avoir construit un premier prototype de l'atelier sur le Transfert géographique de pression, le tester lors d'une session a permis d'identifier le fait que la plupart des participants sont passifs, sans véritable rôle à interpréter ou marge de manœuvre dans la narration.

J'ai donc travaillé à rendre l'activité plus ludique pour tous, notamment en développant la prise de décision de tous les participants. Cela a abouti à l'idée d'une cartographie des territoires et des

pressions (Girard et al., 2015) : pendant que le participant jouant le rôle d'un consommateur remonte la chaîne de production, les autres joueurs interprètent et imaginent ce qui est en train de se dérouler, sous la forme d'un dessin.

Un retour à la phase d'objectifs a alors été nécessaire, pour compléter les attentes possibles vis-à-vis de cette cartographie.

Démonstrateur 2 – Concurrence entre ressources

Cette première session de test du Transfert géographique de pression a également permis de mettre en évidence deux nouvelles directions d'exploration possibles : le format « jeu de société » et l'abstraction. Je les ai incluses dans la conception du deuxième démonstrateur sur la Concurrence entre ressources, qui s'intéresse aux compromis à trouver dans les usages multiples d'une même ressource.

Contrainte du format « jeu de société »

D'une part, comme nous l'avons vu, ce premier démonstrateur n'a pas été initialement conçu pour être un jeu. Au sens du pentagone ludique, le jeu de rôle garantit le second degré du dispositif, et l'incertitude est bien présente, mais les décisions des participants n'ont pas d'impact significatif sur la suite du déroulé.

Pour le deuxième démonstrateur, j'ai donc pris le contre-pied de ce constat, en travaillant à concevoir un « jeu de société » respectant la plupart des critères de l'indice de ludicité de Lardinois (voir Figure 6, section II.c). L'analyse des mécaniques de jeu de Rotenberg ainsi que la revue de plusieurs jeux de société m'ont largement aiguillée pour concevoir ce jeu de société. Je me suis ainsi largement inspirée des Colons de Catane, à la fois dans la représentation des territoires et des métabolismes, et dans la formulation des règles du jeu.

Contrainte de l'abstraction

D'autre part, le premier démonstrateur est centré sur un exemple concret, et tout l'atelier est contextualisé autour d'industries réelles, de pressions environnementales quantifiées et réalistes. Pour le deuxième démonstrateur, la piste de l'abstraction a donc semblé intéressante, parce qu'elle évite de lier l'exemple au phénomène et donc de limiter cet enjeu aux produits alimentaires par exemple. De plus, l'abstraction permet de se libérer de l'affect attaché au produit, et évite donc un éventuel sentiment de culpabilité d'en acheter.

Définition formelle du mécanisme et identification des notions minimales

En ayant à l'esprit ces deux nouvelles contraintes dans la création du démonstrateur, j'ai défini le cadre nécessaire à la compréhension de la notion de concurrence entre ressources (voir Figure 9). Ce phénomène nécessite :

- un produit P qui peut être créé de deux manières différentes, A et B
- une ressource R qui possède plusieurs utilisations, dont l'alternative B de P
- une incitation à passer de la manière A à la manière B de produire P
- une limite d'accès à la ressource, soit en stock (réserve totale) soit en flux (quantité disponible par unité de temps)
- un conflit d'usage de R entre l'alternative B de P et les applications « traditionnelles » de R.

Ce schéma central peut facilement être contaminé et alourdi par des aspects secondaires, qui viennent de l’envie de rendre l’ensemble réaliste. Conserver l’objectif de créer un jeu minimal, mettant en jeu la concurrence entre ressources uniquement, a nécessité d’ajouter une phase ultérieure d’arbitrage. Celle-ci a permis de supprimer certaines règles qui parasitaient le message (voir Encadré 4 où les alternatives aux règles sont présentées, section III.c).

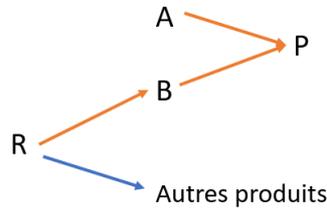


Figure 9 : Eléments nécessaires à la concurrence entre ressources

La suite du processus de création rejoint celui du premier démonstrateur : je présente les étapes de définition des hypothèses et des objectifs, de construction du debrief et d’observation des sessions de jeu dans la section suivante.

b) L’évaluation du changement

Pour ces trois étapes, je me suis appuyée sur plusieurs outils développés par la méthode de modélisation d’accompagnement CoOPLAaGE (acronyme de « Coupler des outils ouverts et participatifs pour laisser les acteurs s’adapter pour la gestion de l’environnement ») (FERRAND et al., 2021).

Définition des hypothèses et des objectifs

Pour formaliser les objectifs de chaque démonstrateur, la notion de changement souhaité chez les participants est intéressante. Se poser la question « le dispositif a été un succès si... » m’a été très utile, elle peut se structurer autour des réponses formulées par le schéma de gauche la figure 10.

Dans le même ordre d’idées, le cadre ENCORE (à droite sur la figure 10) permet de théoriser l’ordre du changement souhaité ou réalisé lors d’un processus participatif.

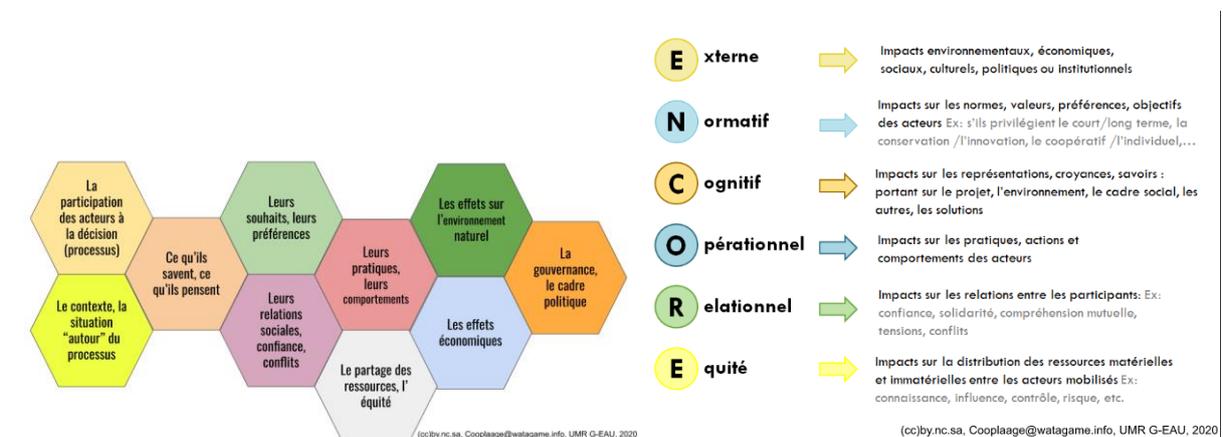


Figure 10 : Schémas du changement proposé par la méthode CoOPLAGE

A l'aide de ces deux outils, j'ai pu expliciter plus facilement les objectifs de chaque démonstrateur. Parce que cette étape a été couplée avec l'énoncé des hypothèses du modèle sous-jacent aux dispositifs ludiques, les deux notions allant de pair, je présente ci-dessous le résultat abouti sur cette phase préparatoire au contenu des ateliers (voir Encadrés 1 et 2).

ENCADRE 1 : HYPOTHESES ET OBJECTIFS

DEMONSTRATEUR 1 – TRANSFERT GEOGRAPHIQUE DE PRESSION

HYPOTHESES SIMPLIFICATRICES DES FLUX BIOPHYSIQUES

- un seul produit final (un poulet rôti ou une miche de pain)
- choix d'un trajet « dominant » (c'est-à-dire représentatif). Pour chaque étape de la chaîne de production, on a donc :
 - des équations de conversion avec très peu de ressources différentes et un produit (l'exemple du numérique a été écarté pour cette raison, car un téléphone ou un ordinateur contient trop d'éléments disparates)
 - pour chaque ressource, un seul producteur parmi les fournisseurs
- une industrie ne produit qu'un seul produit

OBJECTIFS DU JEU

Interroger la notion de territoire

- réalisation d'une cartographie spatialisée
- définir le territoire, c'est-à-dire ce que l'on considère comme intérieur et extérieur, proche et lointain
- à la fin de l'atelier, les participants se sont interrogés sur l'échelle du territoire qu'ils considèrent être « le leur », auquel ils s'identifient (ex : la ville, la région, la France, l'Europe)

Acquérir - sans la nommer nécessairement - la notion de métabolisme

- savoir que tout produit vient d'un sous-produit qui a été transformé/métabolisé avec conservation de la matière $A+B \rightarrow C$ avec $\text{masse}(A)+\text{masse}(B)=\text{masse}(C)$
- être autonome et curieux pour remonter une chaîne de production jusqu'aux matières premières/brutes, ou la descendre jusqu'aux produits finis

Comprendre la nécessité d'une approche multi-critère :

- on ne peut pas s'intéresser uniquement à un type de pression environnementale
- se rendre compte que les pressions sur l'environnement ne sont pas de même nature en fonction de l'étape de production
- gagner en ouverture d'esprit, *id est* acquérir le réflexe de se demander si on ne plaque pas uniquement ce qu'on connaît à une nouvelle situation (ex : ne pas penser que la culture du blé demande de l'espace, parce qu'on pense uniquement sous le prisme CO₂ qui est l'aspect dominant dans une boulangerie)
- se rappeler qu'on étudie difficilement une situation de manière exhaustive (évoquer le transport par exemple, non pris en compte dans le jeu)

Savoir comparer des pressions

- ne pas se contenter de regarder si telle pression existe, mais comparer les ordres de

grandeur et les ratio entre cette même pression pour deux étapes de la chaîne

- aiguïser son esprit critique pour relativiser les enjeux

Comprendre les approches production/consommation

- toujours ancrer une industrie ou une consommation dans un territoire, le localiser pour en étudier la pression sur l'environnement local
- savoir appliquer la méthodologie production ou consommation sur un exemple simple
- pouvoir expliciter le problème de l'approche production, par exemple « d'autres territoires paient à notre place » ou « un territoire qui ne consomme que des produits importés et qui ne produit rien lui-même ne devrait pas être considéré comme soutenable »
- sans le formaliser ainsi, comprendre des phrases telles que « on importe des pressions, on impose des pressions à l'autre bout du monde, on invisibilise les conséquences de nos actions » ou en tout cas les lier au jeu
- réfléchir à si et comment combiner les deux

INTENTIONS DANS LA CREATION DU JEU

- ordre cognitif : sur la représentation d'un territoire et le choix de l'échelle à laquelle on se positionne, de ses impacts (nature et ampleur)
- ordre normatif : les souhaits/préférences des participants sur la manière d'évaluer une alternative socio-technique. « Quels problèmes pose la situation actuelle (s'il y en a) ? » (répartition inégale des pressions, responsabilité délocalisée) « Comment savoir si une situation imaginée est meilleure, quels critères utiliser ? » (résilience, autonomie) « Qu'est-ce qu'une situation juste ? »
- ordre relationnel : mieux connaître les priorités ou points de vue des autres joueurs quand ils envisagent l'avenir de leur territoire. Ce jeu peut servir de brise-glace.

ATTENTES POSSIBLES DE LA CARTOGRAPHIE

- la spatialisation des zones : le placement géographique des territoires, le sens de leur taille et leur remplissage
- la représentation des pressions : leur taille relative, leur emplacement sur la feuille
- la présence éventuelle de flèches : symbole de responsabilité ?

ENCADRE 2 : HYPOTHESES ET OBJECTIFS

DEMONSTRATEUR 2 – CONCURRENCE ENTRE RESSOURCES

CHOIX DE MODELISATION

Modélisation de la société

- des besoins imposés
- un très petit nombre de besoins

Modélisation de l'environnement

- évolution dans un monde
 - fini
 - non rempli
- un territoire produit une unique ressource (sorte de « monoculture »)
 - nombre faible de ressources différentes

- au rendement « normal » fixé
- la surexploitation est possible, avec des conséquences négatives à moyen terme
- présence de ressources non renouvelables
 - stock total non connu mais fini
 - épuisement/déplétion de ces ressources

Modélisation de la production

- flux biophysiques abstraits
- une étape de production pour satisfaire un besoin
- deux alternatives de production par besoin
 - l'alternative avec des ressources renouvelables nécessite plus de ressources
 - les « formules » de production sont fixées
 - pas de recherche *id est* de découverte de nouvelles alternatives
 - pas de progrès *id est* d'efficacité énergétique

OBJECTIFS DU JEU

Les objectifs globaux

- ordre cognitif :
 - apprentissage pour la compréhension
 - transfert de l'abstraction du jeu au réel
 - apprentissage pour la modification des représentations d'une alternative émergente
- ordre normatif :
 - faire critiquer le jeu et ses règles, questionner le cadre du jeu
 - remettre en question le « cadre » de la société réelle
- ordre relationnel :
 - partager l'expérience d'un jeu de société
 - créer une relation de confiance et de coopération

Sur la session de jeu : vérifier la ludicité

- Dimension de second degré
 - par l'abstraction
 - matériel ludique caractéristique d'un jeu de société
 - durée plutôt longue, 1 h 30
- Règles du jeu
 - raisonnables
 - plutôt difficiles, mais minimisation des valeurs chiffrées pour simplifier les manipulations et les calculs
 - fermées
- L'espace des décisions
 - important : (dé)placement des pions, choix de la ressource à exploiter, choix d'une stratégie collective, prise de risque sur les ressources non renouvelables, impact d'une action sur les autres joueurs
 - identiques
- Frivolité
 - un peu : droit à l'erreur collective
 - expériences : changement de stratégie en cours de partie, ou d'une partie à l'autre
- Dimension d'incertitude
 - fin inconnue : une partie n'est pas déterministe

- type de fin connue : contrainte d'un nombre de tours de survie
- déroulement inconnu : dépend des choix de chaque joueur et du degré de coopération

Construction du debrief

Pour construire le debriefing ainsi que l'observation des sessions de jeu, j'ai mis à profit le manuel d'observation des jeux sérieux du collectif ComMod (Hassenforder et al., 2020). Il reprend de manière claire les cinq étapes clé que doit contenir un debrief de jeu sérieux (voir Figure 11) : le processus d'apprentissage nécessite de compléter le jeu par une deuxième phase, tout aussi importante, de réflexivité sur ce qu'il vient de se passer.

Chacun des démonstrateurs reprend donc cette méthodologie de debriefing, une attention particulière étant mise sur la phase d'émotions (voir Encadrés 3 et 4). En effet, il est important que les joueurs puissent exprimer leur frustration, colère, étonnement : les extérioriser permet de se détacher peu à peu du second degré incarné dans le jeu, et de prendre ensuite du recul par rapport à la partie.

Le *debriefing* se structure généralement en cinq phases :

 **Émotions** : partage des émotions ressenties par chacun des participants. Cette première phase est essentielle pour permettre aux *joueurs* d'évacuer éventuellement des ressentis négatifs (rancœur, colère, incompréhension, échec...) qui pourraient limiter leurs apprentissages et leurs capacités à réfléchir sur l'expérience vécue.

 **Événements** : partage entre tous les *joueurs* du déroulement de l'ensemble de la session : les tâches et les actions réalisées par les *joueurs*, les routines de jeu, les faits marquants (courbe/suivi d'*indicateurs*), les changements de rythme dus à des événements apparus dans le jeu

 **Explications** : Un même fait peut avoir plusieurs explications. Il s'agit ici de les mettre en perspective par les comportements des *joueurs* et par les stratégies individuelles et collectives qui ont amené à ces résultats.

 **Lien à la réalité** : Il s'agit de revenir sur les liens entre le jeu et la situation réelle à l'origine de l'organisation de la session (convergences, divergences).

 **Projection vers le futur** : Comment les résultats de la session de jeu seront utilisés à l'avenir.

Figure 11 : Etapes d'un debrief

Observation des sessions de jeu

Enfin, une fois le contenu du jeu stabilisé, j'avais besoin d'outils pour évaluer si les objectifs des dispositifs étaient bien réalisés au cours d'une session de jeu. Pour cela, le manuel fournit de nombreuses grilles de lecture pour analyser les actions, dires et signes des participants. De plus, il permet d'effectuer des choix en partant d'une liste d'alternatives : par exemple, il précise les différentes manières matérielles pour collecter des données sur une sessions (vidéo, audio, notes manuscrites etc).

J'ai identifié quatre objectifs principaux au fait d'observer les sessions de jeu :

- Qualifier le transfert de connaissances et l'apprentissage
- Etudier l'expression de valeurs par les participants
- Observer les relations entre les joueurs facilitées par le jeu
- Tester, valider et améliorer le jeu.

Pour chacun de ces objectifs, le manuel propose des méthodes concrètes pour l'observation. J'ai construit une fiche de suivi qui permet de relever les actions des joueurs (éléments non verbaux) et de suivre plusieurs indicateurs (cf. annexes C et D). Pour le démonstrateur sur la Concurrence entre ressources, la prise de note de verbatims a également été préparée (cf. annexe D), car elle permet de construire le debrief à l'aide de ce qui a été dit pendant la partie.

Lors des premières sessions de test des démonstrateurs, il a été jugé prudent de séparer le rôle d'animateur de celui d'observateur : le premier « présente les règles du jeu, l'organisation de la session, favorise le dialogue, entretient l'atmosphère ludique », tandis que le second, que l'on peut nommer « observateur participant », « est en charge de la collecte de données sur la session de jeu et il fournit les éléments observés pour enrichir le débriefing ». J'ai choisi que le debrief soit mené préférentiellement par l'animateur plutôt que par l'observateur, pour ne pas rompre la continuité du processus.

c) Les démonstrateurs ludiques

Au fur et à mesure de l'avancée dans les étapes de conception du jeu, les règles, éléments matériels et calibrations se sont ajustés. J'ai rédigé le déroulé des démonstrateurs à la manière d'un jeu de société, pour qu'il puisse être utilisé tel quel par des animateurs. Les résultats sont présentés dans les encadrés 3 et 4.

ENCADRE 3 : DEROULE DU JEU

DEMONSTRATEUR 1 – TRANSFERT GEOGRAPHIQUE DE PRESSION

LES ELEMENTS DU JEU

- des cartes "ressource" qui se déplient en se transformant : depuis la matière première jusqu'au produit fini en passant par chaque "forme intermédiaire" (voir Figure 8)
 - une carte par chaîne de production (limitée à 4 faces donc si besoin, scinder la chaîne de production en plusieurs cartes)
 - une carte d'entraînement
- des cartes "industries", avec la provenance des ressources utilisées et la destination du produit réalisé, ainsi que les principales pressions sur l'environnement induites par la transformation dans l'industrie (voir Annexe A)
- des billes/pions de 4 couleurs différentes, en 30 exemplaires chacun, pour représenter les pressions environnementales
- (*facultatif*) une carte de France et une carte du Brésil
- des feuilles A4 vierges et des stylos
- un sachet opaque

INFORMATIONS SUR LE JEU

- durée de jeu : environ 1 h 30 (10 min de brief, 45 min de jeu, 45 min de debrief)
- nombre de joueurs : entre 5 et 8 (< 10 faire des équipes, > 10 scinder en deux groupes)

DEROULE DU JEU

Mise en place

- Chaque participant (sauf un) représente un territoire et reçoit les cartes industries de son territoire ainsi qu'une feuille blanche avec un stylo. Les fonctions de production ne seront pas toutes utiles au cours de la partie.
- Le dernier participant joue le rôle d'un consommateur d'un des territoires. On lui remet au participant "consommateur" une carte ressource d'entraînement : on lui apprend comment la manipuler.
- On va travailler sur la filière poulet en remontant l'histoire d'un poulet rôti.

Consignes pour la cartographie

- En même temps que nous allons reconstruire l'histoire du poulet rôti, je vais vous inviter à dessiner ce chemin sur la feuille blanche qu'on vous a remise, et de représenter dessus les pressions environnementales associées.
- Les pressions que l'on va considérer ici sont : l'eau, la surface au sol, l'énergie et les gaz à effet de serre.
- Vous disposez chacun d'informations partielles grâce aux cartes industries que vous possédez, qui indiquent la transformation qui s'y effectue ainsi que les pressions induites sur l'environnement.
- Vous êtes libres d'ajouter tous les éléments que vous jugerez utiles sur votre dessin.
- A la fin de la partie, je proposerai à chacun de présenter son dessin aux autres, ce qui engagera une discussion et une phase de debrief du jeu.
- Les règles pour le dessin sont volontairement floues, et il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse. Et bien sûr, aucun talent graphique n'est nécessaire.

Le poulet rôti

- On remet au participant "consommateur" la carte ressource, sur la face "poulet rôti".
- A l'aide de la carte ressource et des autres participants, je vous invite à remonter l'histoire de ce poulet. Si certaines personnes n'ont plus de place sur leur feuille, leur en fournir une nouvelle. En arrivant à la première ressource, on ne peut plus remonter : "il faut bien s'arrêter à un moment".
- La phase de dessin est maintenant terminée. Si, au cours de la suite du jeu, vous avez l'impression d'avoir oublié un élément important, vous pouvez malgré tout le rajouter.

Les pressions environnementales

- La personne "consommateur" ne participe pas à cette partie du dispositif. Chaque personne "territoire" pose sur la table / met en avant les industries concernées par la production de la ressource étudiée. Elle pose sur ces cartes industries les pressions environnementales indiquées.
- Le participant "consommateur" remonte alors la chaîne à partir de l'objet "matière première" : à chaque étape "industrie", la personne du territoire tourne la carte "ressource", et le "consommateur" récupère les pressions environnementales correspondantes en les plaçant dans le sac opaque.
- Le participant "consommateur" dépose alors auprès de son territoire (Rhône-Alpes) le contenu du sachet.

DEBRIEF

- *Emotions* [Au consommateur] Pouvez-vous décrire ce qu'il s'est passé au cours de la partie ? Etes-vous surpris ou avez-vous envie de réagir sur certaines choses ?
- *Événement* [A tout le monde] A combien d'étapes vous seriez-vous arrêté si on vous avait posé spontanément à la question "quel est l'impact de cet objet sur l'environnement" ?
- A tour de rôle et si vous le souhaitez, venez présenter vos dessins aux autres, en décrivant comment vous avez représenté les différents éléments. Quelles ont été les difficultés à construire ce dessin ? Vous pouvez aussi comparer votre dessin avec ceux d'avant.
- *Explication* [Aux territoires] Pourquoi est-ce que vous avez spontanément placé les pressions près du territoire/de la fonction de production associée ? [Au consommateur] Quel a été votre ressenti en déposant toutes les pressions sur votre territoire, au supermarché où vous avez acheté le poulet rôti ? [A tout le monde] Qu'est-ce que cela révèle sur nos biais ? Quel phénomène a-t-on du mal à considérer ?
- *Lien à la réalité* Pensez-vous que les pressions présentées sont représentatives de la réalité ? Est-ce qu'il y en aurait d'autres importantes à prendre en compte ?
- *Facultatif* Qu'est-ce que cela change d'avoir une industrie dans son territoire ou ailleurs ? Quelles sont les conséquences possibles d'une pression sur l'environnement ?
- *Projection vers le futur* Si vous deviez étudier les pressions environnementales d'un territoire, comment procéderiez-vous ?

PROLONGEMENTS DU JEU

Remarque : les aspects développés ci-dessous ne sont pas abordés *stricto sensu* dans le dispositif ludique présenté ici. Ils se situent à la limite de l'activité, mais n'ont pas vocation à y être inclus. On peut donc les lire comme des « non objectifs » de l'activité. Etudier véritablement ces enjeux connexes peut prendre la forme d'un prolongement du jeu : soit en transformant la fin du debrief en réflexion détachée de l'activité en elle-même, soit en développant un autre dispositif interactif abordant ces mécanismes.

L'atelier sur les transferts géographiques de pression pourrait par exemple devenir modulaire, et s'accompagner d'extensions qui approfondiraient un aspect qui aurait émergé au cours du debrief.

La commensurabilité des pressions et de leur valeur environnementale

Dans cette activité, les pressions sont présentées comme objectives (1 unité de GES à un endroit est égale à 1 unité de GES ailleurs), alors que leur valeur environnementale varie.

- 1 ha de sol n'a pas la même valeur en campagne ou en ville, la rareté n'est pas la même.
- 1 m³ d'eau représente un ordre de grandeur significatif pour un besoin domestique/urbain, mais négligeable dans le monde agricole

La différence entre les notions de pression et d'impact

Effets d'échelle sur les ODG des pressions

- A l'échelle d'une unité de produit, effet du « last mile » dans les pressions dues au transport.
- Alors qu'en analyse globale de filière, les flux maritimes génèrent une part importante des pressions.
- De manière générale, les pressions environnementales dans le jeu ne sont pas quantifiées en unités réelles, il n'y a pas de "retour à la réalité" sur ce point. Mettre en perspective avec les limites planétaires, réfléchir à l'échelle globale, serait une extension possible du jeu.

La nature différente des pressions

- L'eau est conservatoire, elle n'est pas dissociée (elle est rendue par le système, pas absorbée dans l'objet).
- Les gaz à effet de serre ont un impact global et non localisé comme les autres ressources.

Sortir de l'analyse biophysique pure : réhumaniser

ENCADRE 4 : DEROULE DU JEU

DEMONSTRATEUR 2 – CONCURRENCE ENTRE RESSOURCES

INFORMATIONS SUR LE JEU

- durée de jeu : 10 min d'explication des règles + 40 min de jeu + 30 min de debrief = 1 h 20
- nombre de joueurs : 3 (max 6 en formant des équipes de 2)
- type de jeu : mi-compétitif, mi-coopératif

LES ELEMENTS DU JEU

- des terrains hexagonaux (3 jaunes, 3 verts, 3 rouges et 2 bleus)
- (*facultatif*) 12 petits marqueurs ronds pour indiquer les emplacements accessibles aux pions
- des pions de couleurs (3 pions * 3 couleurs)
- des billes de ressources (en nombre important, de la même couleur que les cartes territoire)
- un dé
- des tuiles de produits (3 types de tuiles, en beaucoup d'exemplaires identiques)
- une tuile joker
- une aide de jeu avec les combinaisons de ressources

MISE EN PLACE INITIALE DU JEU



REGLES DU JEU

Remarque : ces règles sont largement inspirées de celles des Colons de Catane

- Le plateau de jeu est composé de 7 tuiles terrain. Votre défi est d'exploiter ce territoire pour

répondre collectivement aux besoins de la société, tout en cherchant chacun à produire le plus possible.

- Il y a sur le plateau de jeu 4 types de terrains. Chacun permet de recevoir une ressource différente. En plaçant habilement vos pions sur le plateau, vous pourrez exploiter des terrains pour obtenir des ressources. Vous aurez au cours de la partie 3 pions sur le plateau : 2 qui sont déjà installés, et un que vous allez pouvoir placer en tout début de partie. A l'aide des ressources recueillies par vos pions, vous pourrez fabriquer des produits.

Comment recevoir des ressources ? Il existe deux types de ressources.

- Les ressources renouvelables ont un rendement de 2 unités : il s'agit des terrains jaunes et verts.
 - En revanche, les ressources non renouvelables ont un rendement plus incertain, et qui diminue au cours du jeu. Sur chaque terrain rouge et bleu est placé une pile de jeton, celui du dessus indiquant un numéro.
 - Pour exploiter cette ressource, lancez un dé : si le résultat est inférieur ou égal au numéro indiqué sur le terrain, vous obtenez 2 unités de la ressource. Sinon, vous ne recevez rien, et vous ne pouvez pas décider d'exploiter une autre ressource à la place.
 - Retirez ensuite le jeton du dessus de la pile. En cours de partie, ce chiffre aura tendance à diminuer.
- A chaque tour, le joueur qui commence tourne. Si le joueur 1 a commencé au premier tour, ce sera au joueur 2 de commencer le 2^e etc.

Règle alternative : chaque joueur dispose de 2 min pour finir son tour de jeu

- Au début de votre tour, pour chacun des pions présents sur le plateau, vous pouvez décider :

- de le déplacer sur une case libre (ou pas)
- puis d'exploiter un des terrains adjacents

Règle alternative : S'il s'agit d'une ressource renouvelable, vous pouvez décider de surexploiter le terrain : vous recevez alors 4 unités, mais vous condamnez votre pion pour le prochain tour. Pour symboliser cela, mettez votre pion à plat. A la fin de votre prochain tour, vous pourrez redresser le pion et le placer là où vous le souhaitez sur le plateau.

- Vous pouvez décider, si vous le souhaitez, d'échanger des ressources avec d'autres joueurs.

Règle alternative : tout au cours de la partie, vous pourrez échanger des ressources avec les autres joueurs"

Règle de distance : les pions sont toujours placés sur des sommets des hexagones. Mais deux pions ne peuvent jamais être directement voisins, il doit toujours y avoir une intersection vide entre 2 pions. A chaque fois que vous déplacez ou posez un nouveau pion sur le plateau de jeu, il faudra veiller à ne pas déroger à cette règle.

- Pendant votre tour de jeu ou à la fin de chaque tour complet, vous pouvez construire des produits à l'aide des ressources que vous possédez. La construction se fait selon les combinaisons indiquées sur l'aide de jeu : il existe pour chaque produit deux manières de le fabriquer. Les ressources utilisées sont sorties du jeu, et vous recevez une tuile du produit construit.

Aide de jeu : combinaison des ressources

Besoin	Formule 1	Formule 2
A	2 j	1 v + 1 b + 1 j
B	2 b	3 j + 1 v
C	1 v + 1 r	2 j + 2 v

- Vous devez à chaque tour satisfaire collectivement les besoins de la société. Celle-ci nécessite que vous ayez construit, au cours de ce type de jeu, un total de deux produits par besoin (2 produits A, 2 produits B et 2 produits C). Vous disposez d'un joker au cours de la partie : si à un tour donné, cette condition n'est pas remplie, vous perdrez le joker ainsi que toutes les ressources que vous avez accumulées jusqu'ici (pas les produits).
- A la fin du 6e tour, si vous avez survécu, chacun compte le nombre de produits qu'il a fabriqués. Le gagnant est le joueur avec le plus de produits fabriqués. Le jeu est donc à la fois fortement compétitif, mais nécessite aussi que vous coopériez dans une certaine mesure.

Résumé des objectifs du jeu

- Objectif collectif : subvenir à chaque tour aux 3 besoins de la société, en fabriquant 2 produits pour chaque besoin
- Objectif individuel : à la fin du 6e tour, avoir fabriqué le plus de produits au total
- Point de vocabulaire avant de finir cette introduction : on "extrait" des "ressources" des terrains, avant de pouvoir les "transformer" en "produit".

DEBRIEF**Emotions**

Objectif : évacuer les émotions négatives, la frustration d'avoir perdu, l'impression que le jeu est truqué

Est-ce que vous êtes satisfaits de votre partie ?

Événements-explications

Objectif : décrire les stratégies et leur conséquence, expliquer l'émergence de l'alternative, faire émerger la notion de ressource limitante / de conflit d'usage d'une ressource

Décrivez ce qu'il s'est passé pendant la partie et les problèmes que vous avez rencontrés. D'où viennent ces problèmes ?

Exploiter les verbatims tels que "on n'a pas assez de jaune pour tout faire", ainsi que le placement des pions sur le plateau de jeu (tous les emplacements touchant les terrains jaunes occupés)

Retour à la réalité

Objectif 1 : sortir de l'abstraction, former des analogies avec des exemples concrets

Schématisons la situation représentée dans le jeu. Pour l'un des besoins (B), vous avez spontanément utilisé des ressources non renouvelables. Dans un deuxième temps, lorsque celles-ci sont devenues plus rares, vous vous êtes tournés vers l'autre formule de fabrication, nécessitant notamment de la ressource jaune. Or celle-ci était déjà utile pour répondre au besoin A. Au bout d'un certain nombre de tours de jeu, la ressource jaune n'était plus présente en abondance suffisante pour satisfaire entièrement les besoins A et B. C'est ce phénomène qu'on a voulu illustrer dans ce jeu. Pensez-vous qu'il se retrouve dans

des situations réelles ?

Alternatives

Dans les discours des médias ou des politiques, avez-vous déjà entendu parler d' « une alternative révolutionnaire qui réglerait tous les problèmes » ?

Quel est le besoin dans ce cas ? quelle est l'alternative émergente ?

De quelle ressource cette alternative a-t-elle besoin ? cette ressource servait-elle déjà avant à d'autres choses ?

Cette ressource est-elle en quantité limitée / a-t-elle un rendement limité ?

Ressources/besoin

A quoi est-ce que les éléments du jeu vous font penser ?

Qu'est-ce qu'on pourrait mettre sur les ressources ?

sur les besoins ?

et sur les différentes combinaisons de ressources pour subvenir aux besoins ?

Au cours de votre partie de jeu, les choses se sont-elles produites de cette manière ?

Est-ce que vous êtes surpris ou inquiets ?

Est-ce que vous avez déjà réfléchi à ces effets ?

Pensez-vous que le jeu peut changer votre analyse de certaines situations ?

Objectif 2 : critiquer le jeu, remettre en question certaines règles

- *(société) questionner la nécessité de certains besoins de la société : les supprimer ou les déprioriser*
- *(technologie) imaginer d'autres alternatives ou l'amélioration de certaines alternatives*

Qu'est-ce que vous voudriez changer dans les règles du jeu ?

Et dans la réalité ? Est-ce qu'il y a des leviers sur lesquels vous aimeriez agir ?

Projection vers le futur

Objectif 1 : discuter du partage des ressources, de leur souhait/préférences, des besoins à valoriser

Objectif 2 : s'interroger sur comment penser à grande échelle et aux conséquences en cascade

Est-ce que vous avez des pistes pour qu'on continue à avoir à l'esprit ces mécanismes de concurrence entre ressources ?

Ludicité du jeu

Objectif : vérifier qu'ils ont vécu une expérience de jeu

Est-ce que le jeu était facile à comprendre ? amusant ? réaliste ?

Est-ce que vous avez des idées pour l'améliorer ?

d) L'analyse des sessions de jeu

J'ai pu mener au cours de mon stage deux sessions de jeu du démonstrateur sur le Transfert géographique de pression :

- le 10 mai, auprès de 10 membres de l'équipe STEEP

- le 12 juillet, dans un bar à jeux de société, avec 7 jeunes adultes

De même, j'ai réalisé six sessions sur la Concurrence entre ressources :

- le 1^{er} juin, auprès de 5 membres de l'équipe STEEP
- le 5 juin, avec de 4 jeunes adultes
- deux sessions le 1^{er} juin, auprès d'adolescents de 14-16 ans, à l'occasion du Kids Day de l'INRIA (journée où les enfants du personnel sont invités à participer à des activités ludiques)
- deux sessions le 12 juillet, dans le même bar à jeux de société, avec 3 participants par session.

Comme mentionné en III.b, chaque session de test avait quatre objectifs : favoriser le transfert de connaissances, faire exprimer des valeurs, favoriser les relations entre les joueurs et améliorer le jeu. Dans cette dernière perspective, les séances de test m'ont notamment permis de remarquer certains défauts et de retravailler en conséquence les règles du jeu.

A titre d'illustration, je présente ici deux modifications substantielles des démonstrateurs qui ont émergées lors des échanges avec les joueurs de ces sessions, et que j'ai formalisées ensuite. Je reviens ensuite sur les objectifs du projet plus global dans lequel mon stage s'intègre.

Concernant le démonstrateur sur le Transfert géographique de pression, l'étape de ludification que j'ai intégrée au processus de création (cf. III.a) a été grandement favorisée par les conseils et remarques des joueurs de la session du 10 mai. Les verbatims enregistrés lors de cette session, dans la phase de debrief, ont identifié deux faiblesses du dispositif :

- seul le consommateur est un personnage réellement actif. En effet, dans cette version, les personnages de territoire sont uniquement chargés de se nommer lorsqu'ils sont nécessaires à la chaîne de production, et à donner au consommateur les billes correspondant aux pressions induites par leurs industries.
- le phénomène de surprise, qui permet l'apprentissage, pourrait être davantage mis en avant. Le jeu de rôle étant entièrement narré par l'animateur, les participants se laissent guider par le récit, sans anticiper la chute de l'histoire. Favoriser le fait que les joueurs se projettent dans ce qui va se passer serait utile pour que la surprise entre ce qu'ils anticipaient et la réalité se fasse sentir.

A partir de ces constats, nous avons repris le déroulé du jeu pour intégrer la phase de dessin présente dans la version de l'encadré 3 (section III.c).

De même, pour la Concurrence entre ressources, les sessions du 1^{er} et du 5 juin ont servi à l'étape d'arbitrage entre plusieurs règles alternatives. En particulier, la règle de surexploitation, qui permet aux joueurs d'obtenir quatre denrées au lieu de deux à leur tour de jeu, induisait deux biais dans le processus :

- la détention d'un stock plus important de ressource avantage les joueurs, et la calibration pensée pour faire perdre la partie avant le sixième tour n'est plus adaptée. Bien calibrer le jeu, pour toutes les configurations de surexploitation, serait difficile.
- dans le debrief, les joueurs sont amenés à remettre en question leur stratégie de surexploitation, ce qui détourne l'attention du message principal : la concurrence entre ressources. Celle-ci devrait émerger indépendamment de surexploiter, la ressource limitante étant sur le long terme insuffisante pour satisfaire tous les besoins.

Lors des sessions suivantes du jeu, les animateurs ont donc testé d'autres possibilités : surexploiter avec trois ressources (au lieu de quatre dans la forme initiale), ou bien supprimer cette règle.

De plus, les termes « ressource renouvelable » et « non renouvelable » que j'avais choisis au départ sont apparus comme superflus au cours des parties. Retirer ces notions permet d'augmenter encore l'abstraction du jeu : utiliser des terrains « non renouvelables » est connoté négativement par les joueurs, tandis qu'exploiter des terrains rouge et bleu ayant des règles particulières est dénué de toute valeur morale. La phase de retour à la réalité lors du debrief devient alors plus enrichissante, car la frivolité et le second degré pendant la phase de jeu étaient davantage préservés.

Enfin, conduire ces différentes sessions de test a permis de tirer de premières conclusions qualitatives sur les problématiques de recherche dans lesquelles mon stage s'inscrit. En particulier, STEEP s'intéresse à l'adéquation entre les visions des scientifiques de l'équipe et celles des citoyens sur un territoire, un secteur ou une alternative. Je discute ici principalement du dispositif Concurrence entre ressources, qui a pu être expérimenté dans des contextes plus variés.

D'après l'observation des sessions de jeu auprès de publics variés, on peut relever que les joueurs se sont très rapidement appropriés les éléments de jeu (le matériel, les consignes etc), en les manipulant, les distordant ou en les questionnant. Plus les participants étaient sensibilisés aux enjeux environnementaux, plus ils se sont donnés de liberté par rapport aux mécaniques et plus ils étaient enclins à créer des liens avec la réalité. A l'inverse, les joueurs plus novices avaient tendance à être plus attentifs et curieux d'identifier le mécanisme précis au cœur du dispositif : mener un debrief, nécessitant leur concentration, n'a ainsi jamais posé problème.

La plupart des debriefs ont fait émerger des raisonnements qui n'avaient pas été pensés lors de la conception. Lors de la phase de retour à la réalité, l'exemple du biocarburant est revenu régulièrement, mais d'autres parallèles inattendus de concurrence entre ressources ont également été proposés par les participants : de l'éolien aux tapis de phoque, des méthaniseurs agricoles à l'hydrogène.

Par ailleurs, les échanges ont réellement enrichi et mis en perspective les phénomènes biophysiques sous-jacents : les participants ont toujours apporté un éclairage humain, social ou politique à la discussion. Cela donne une touche personnelle au déroulé de chaque session de jeu, les joueurs semblent donc bien s'approprier les enjeux pour les mettre en regard de leur grille d'analyse du monde. Une étude plus fine de ces réactions pourrait permettre de travailler sur l'adéquation des visions scientifiques et citoyennes des modes de production et de consommation.

CONCLUSION

En développant des outils de modélisation biophysique des organisations socio-techniques, l'équipe STEEP de l'INRIA a identifié une série de vulnérabilités, de compromis et d'enjeux auxquels sont confrontés les systèmes modernes de production et de consommation.

En m'appuyant sur la littérature des jeux sérieux et des jeux de société, j'ai conçu deux démonstrateurs, qui visent chacun à mettre en évidence un phénomène particulier : le transfert géographique de pression d'une part, et la concurrence entre ressources de l'autre. Ces dispositifs ludiques, haptiques et minimaux s'adressent à l'ensemble de la société civile, pour rendre appréhendable des phénomènes initialement formalisés par des chercheurs académiques.

Les démonstrateurs actuels semblent montrer que les participants réceptionnent bien l'approche ludique et haptique. La tendance des joueurs à compléter spontanément les enseignements biophysiques par des perspectives sociales et politiques est intéressante : les enjeux appropriés grâce aux dispositifs ludiques entrent en résonance avec leur grille de lecture du fonctionnement de la société. Une priorité pour consolider scientifiquement ces premiers enseignements serait d'évaluer l'efficacité de ces dispositifs ludiques, en comparant l'apprentissage qu'ils permettent par rapport à un autre format.

En ce qui concerne les démonstrateurs en eux-mêmes, des améliorations concrètes des règles des jeux n'ont pas pu être effectuées complètement par manque de temps. Qu'il s'agisse d'affiner la calibration, de reformuler des consignes, ou de mieux structurer le debrief pour accueillir et rebondir sur les réactions des participants, de petites modifications pourraient être facilement apportées.

De plus, les démonstrateurs pourraient à plus long terme être davantage remaniés et complétés, pour devenir des dispositifs modulaires. A partir des retours recueillis lors de sessions de jeu, une première base de prolongements a pu être établie (voir Encadrés 3 et 4) : des enjeux ou problématiques découlent en effet naturellement de l'expérience de jeu, qui se recourent en partie avec la liste initiale des compromis imaginés par l'équipe STEEP.

En outre, le démonstrateur sur la Concurrence entre ressources a fait émerger des relations de pouvoir entre les participants, une dimension qui n'avait pas été anticipée lors de sa conception. Travailler sur ce nouvel aspect pourrait permettre de compléter le debrief et les conclusions tirées de l'observation.

Au cours de mes réflexions, discussions avec l'équipe STEEP et lectures, j'ai dû effectuer des choix et mettre de côté certaines pistes qu'il resterait à explorer. Dans l'objectif de concevoir de nouveaux démonstrateurs, d'autres angles d'approches sont donc ouvertes et pourraient être explorés.

Un dispositif pourrait s'intéresser à une scénarisation dynamique : j'entends par là qu'à partir d'une représentation simplifiée d'une filière, on pourrait explorer ce qu'il se passe si telle étape de transformation rencontre des difficultés, ou si tel pays décide de limiter les flux entrants ou sortants. Des enjeux comme la dépendance aux imports-exports ou la vulnérabilité aux chocs extérieurs pourraient très bien s'y prêter.

Par ailleurs, la narration proposée dans le dispositif du Transfert géographique de pression est contextualisée mais ne prend pas la forme d'un récit conté. Cela pourrait être une autre voie d'exploration : faire appel à l'art, à la fiction, au conte, pour mettre en lumière un phénomène ou un compromis. Enfin, le caractère haptique pourrait être poussé à son paroxysme par des mécaniques de puzzles ou de briques élémentaires qu'il s'agirait d'agencer, de manipuler entre elles. Seules

certaines configurations permettraient de respecter les contraintes imposées. Mettre en évidence la notion de cohérence biophysique pourrait éventuellement passer par ce biais.

De nature peu créative, ce stage m'a permis de dépasser un certain cadre formel et conceptuel issu de mes études d'ingénieur. L'ouverture d'esprit que je retire à la fois du contenu scientifique de mon stage, et des échanges passionnants que j'ai pu avoir avec des membres de l'équipe STEEP, m'accompagnera longtemps. Je suis certaine que la découverte de certains champs disciplinaires des sciences humaines et sociales trouvera résonance dans la suite de mes études.

ANNEXES

Annexe A : Cartes industries (Transfert géographique de pression)

BR
Mato Grosso

CULTURE DE SOJA

Utilise des graines de soja



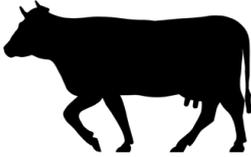
Exporte du soja au Goiás

Surface au sol	3
Energie	11
Eau	3
Gaz à effet de serre	15

BR
Mato Grosso

ELEVAGE DE BOVINS

Utilise de l'herbe



Exporte de la viande bovine aux Etats-Unis

Surface au sol	1
Energie	3
Eau	4
Gaz à effet de serre	20

BR
Mato Grosso

CULTURE DE COTON

Utilise des graines de coton



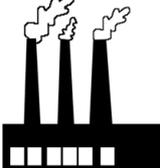
Exporte du coton en Chine

Surface au sol	3
Energie	11
Eau	10
Gaz à effet de serre	14

BR
Goiás

SUCRERIE DE CANNE

Importe de la canne à sucre de Goiás



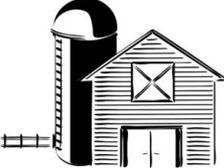
Exporte du sucre en PACA

Energie	3
Gaz à effet de serre	2

BR
Goiás

TRITURATION DU SOJA

Importe du soja de Mato Grosso



Exporte des tourteaux de soja en Bretagne

Energie	2
---------	---

BR
Goiás

CULTURE DE CANNE À SUCRE

Utilise des pousses de canne à sucre



Exporte de la canne à sucre au Goiás

Surface au sol	5
Energie	9
Eau	6
Gaz à effet de serre	5

FR
PACA

DISTILLERIE

→ Importe du sucre de Goiás



Exporte de l'alcool au consommateur →

Energie	4
Gaz à effet de serre	6

FR
PACA

HORTICULTURE

→ Utilise des graines de fleur



Exporte des fleurs en Occitanie →

Surface de sol	3
Energie	8
Eau	10
Gaz à effet de serre	1

FR
PACA

BOULANGERIE

→ Importe de la farine de blé de Rhône-Alpes



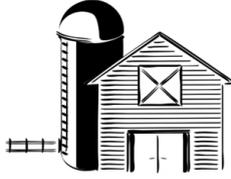
Exporte du pain au consommateur →

Energie	24
Eau	1
Gaz à effet de serre	2

FR
Pays de la Loire

INDUSTRIE DE GRANULÉ

→ Importe du blé de Centre



Exporte du granulé en Rhône-Alpes →

Energie	5
Gaz à effet de serre	1

FR
Pays de la Loire

VITICULTURE

→ Utilise du raisin



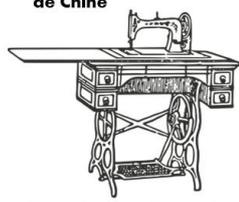
Exporte du vin au Centre →

Surface au sol	1
Energie	2
Eau	5
Gaz à effet de serre	1

FR
Pays de la Loire

ATELIER DE COUTURE

→ Importe du tissu de Chine



Exporte des vêtements au consommateur →

Energie	4
Gaz à effet de serre	1

FR
Bourgogne

CULTURE DU BLÉ

→ Utilise des graines de blé



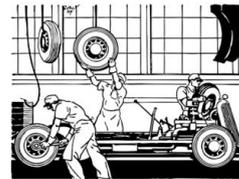
Exporte du blé en Bretagne →

Surface au sol	1
Energie	4
Eau	5
Gaz à effet de serre	2

FR
Bourgogne

CONSTRUCTION AUTOMOBILE

→ Importe de l'acier de Chine



Exporte des voitures en Ile-de-France →

Energie	7
Gaz à effet de serre	8

FR
Bourgogne

VITICULTURE

→ Utilise du raisin



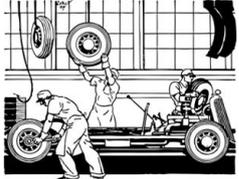
Exporte du vin au Centre →

Surface au sol	1
Energie	2
Eau	5
Gaz à effet de serre	1

FR
Bretagne

CONSTRUCTION AUTOMOBILE

→ Importe de l'acier de Chine



Exporte un tracteur en Bretagne →

Energie	7
Gaz à effet de serre	8

FR
Bretagne

ELEVAGE DE POULET

→ Utilise un poussin et 1  de tourteau de soja de Goiás



Exporte un poulet en Bretagne →

Energie	4
Eau	4

FR
Bretagne

ABATTOIR

→ Importe un poulet de Bretagne



Exporte de la viande de poulet en Rhône-Alpes →

Energie	1
Eau	15
Gaz à effet de serre	5

FR
Rhône-Alpes

MEUNERIE

→ Importe du blé de Bourgogne



Exporte de la farine de blé en PACA →

Energie	1
Eau	1
Gaz à effet de serre	1

FR
Rhône-Alpes

PAPETERIE

→ Importe du bois de Nouvelle-Aquitaine



Exporte du papier en Bourgogne →

Energie	3
Eau	5
Gaz à effet de serre	2

FR
Rhône-Alpes

SUPERMARCHÉ

→ Importe de la viande de poulet de Bretagne



Exporte du poulet rôti au consommateur →

Energie	8
Gaz à effet de serre	1

Annexe B : Quantification des pressions environnementales (Transfert géographique de pression)

		Culture du soja au Brésil	Trituration du soja au Brésil (pour former des tourteaux de soja)	Transport Brésil-France	Culture du blé tendre en France	Industrie de granulés en France	Elevage de poulet standard	Abattage du poulet
	Unité	par kg de soja	par kg de tourteau de soja	par kg de tourteau de soja	par kg de blé	par kg de granulé	par kg de poulet = 2,2 kg céréales = 0,8 kg tourteau + 1,4 kg granulé	par kg de poulet
valeurs sourcées	Usage des sols (m ²)	3,53	0,03	0,1	1,25	0		
	GES (g eq CO ₂)	5000			300	50		550
	Energie (kWh)	5,43 MJ	0,89 MJ	1,6 MJ	2 MJ ou 215 Wh	250 Wh ou 2,3 MJ	1,81 MJ	2,84 MJ
	Eau bleue (en L, directement utilisée pour l'étape de transfo)	2,8	0,08		4,3	0,01	3,6	13,6
conversion en unité matérielle	Usage des sols	2,8			1,0			
	GES	40,0			2,4	0,4		4,4
	Energie	10,8	1,8	3,2	4,0	4,6	3,6	5,7
	Eau bleue	3,0			4,6	0,0	3,9	14,6
valeurs dans le jeu	Usage des sols (billes vertes)	3			1			
	GES (billes rouges)	15			2	1		5
	Energie (billes jaunes)	11	2	3	4	5	4	6
	Eau bleue (billes bleues)	3			5		4	15

Annexe C : Observation du Transfert géographique entre ressources

Tableau de suivi

		Général	Notions de territoire, de métabolisme, de multicritère, de modèle, d'approches consommateur/producteur	Commentaires sur le jeu
Phase de jeu	Consommateur			
	Territoires			
Ressenti	Consommateur			
	Territoires			
Déroulé, nombre d'étapes	Consommateur			

	Territoires			
Dessin	Territoires			
Relation consommation- production	Territoires			
	Consommateur			
Retour à la réalité	Tout le monde			
Lien à la réalité	Tout le monde			
Projection dans le futur	Tout le monde			

Annexe D : Observation de Concurrence entre Ressources

Tableau de suivi

Date et contexte :				Animateur :					
Nombre de participants :									
Heure début :	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Extraction									
Echanges									
Production									
Pions déplacés									
Collectif/individuel									
Heure début :	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Extraction									
Echanges									
Production									
Pions déplacés									
Collectif/individuel									

Prise de note

Sur la ludicité : noter les signes d'intérêt/désintérêt

- bâillement
- signes d'ennuis
- joueurs qui se rapprochent de la zone de jeu
- joueurs qui s'éloignent de la zone de jeu
- joueurs qui se lèvent
- joueurs qui s'assoient
- joueurs actifs
- joueurs passifs
- sourires/rires

Sur le bon déroulé du scénario de jeu

- Privilégier dans un premier temps les ressources non renouvelables

- Suivre les incitations à mettre en place des alternatives
- Initier des stratégies de coopération

Verbatims à relever

- Anticiper l'épuisement des ressources non renouvelables
- Ressentir l'impossibilité de répondre à tous les besoins
- Constaté que la pression/difficulté se concentre sur une ressource (en principe le jaune)
- Expérimenter les limites de la cohérence biophysique : "on ne peut pas tout faire"

Critiquer le cadre/règles du jeu : noter les questions des joueurs

BIBLIOGRAPHIE

- Allain, S., Plumecocq, G., & Burger-Leenhardt, D. (2018, juillet 1). *Post-normal science in practice : A method proposal and its application to agricultural water management*. <https://hal.inrae.fr/hal-02738197>
- Arnstein, S. (1969). A Ladder of Citizen Participation. *Journal of the American Planning Association*, 85, 24-34. <https://doi.org/10.1080/01944363.2018.1559388>
- Baccini, P., & Brunner, P. (2012). *Metabolism of the Anthroposphere : Analysis, evaluation, design (2nd edition)*. <https://doi.org/10.7551/mitpress/8720.001.0001>
- Bauza, A. (2010). *7 Wonders*. Philibert. <https://www.philibertnet.com/fr/repos-productions/89182-7-wonders-nouvelle-edition-5425016923764.html>
- Becu, N. (2020). *Les courants d'influence et la pratique de la simulation participative*. 268.
- Bernasconi, P. (2022, février 21). *Rétablir la confiance des Français dans la vie démocratique*. Gouvernement.fr. <https://www.gouvernement.fr/rapport/12706-rapport-de-m-patrick-bernasconi>
- Bommel, P., Dieguez, F., Bartaburu, D., Duarte, E., Montes, E., Pereira Machín, M., Corral, J., Pereira de Lucena, C. J., & Morales, H. (2014). A further step towards participatory modelling. Fostering stakeholder involvement in designing models by using executable UML. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. <https://doi.org/10.18564/jasss.2381>
- Brogol, Y. (2020). *Klimato*. Tric Trac. <https://www.trictrac.net/actus/le-jeu-du-mois-de-mars-klimato>
- Carayol, M.-C. (2020, août 3). *Echelle de la Participation*. Althérité. <https://www.altherite.com/2020/08/03/echelle-de-la-participation/>
- Chlous, F., Dozières, A., Guillaud, D., & Legrand, M. (2017). Introduction. Foisonnement participatif : Des questionnements communs ? *Natures Sciences Sociétés*, 25(4), 327-335. <https://doi.org/10.1051/nss/2018011>
- Courtonne, J.-Y., Alapetite, J., Longaretti, P.-Y., Dupré, D., & Prados, E. (2015). Downscaling material flow analysis : The case of the cereal supply chain in France. *Ecological Economics*, 118, 67-80. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.07.007>
- Courtonne, J.-Y., Longaretti, P.-Y., Alapetite, J., & Dupré, D. (2016). Environmental Pressures Embodied in the French Cereals Supply Chain. *Journal of Industrial Ecology*, 20(3), 423-434. <https://doi.org/10.1111/jiec.12431>
- d'Aquino, P. (2016). *Terristories—Jeu de stratégie jeu coopératif*. Bioviva Editions. <https://www.bioviva.com/fr/bioviva-famille/93-terristories-3569160200608.html>
- Debref, R., Nieddu, M., & Vivien, F.-D. (2016). Flux de matières et d'énergie : Produire dans les limites de la biosphère. *L'Économie politique*, 69(1), 24-35. <https://doi.org/10.3917/leco.069.0024>
- de Waard, S. (2017). *Decision making under uncertainty in water management*.

- Dispositifs | DicoPart.* (s. d.). Consulté 18 juillet 2022, à l'adresse <https://www.dicopart.fr/fr/dico/dispositifs>
- Dobiasova, Z. (2008). *L'expertise scientifique et la décision publique.*
- Dusseau, V. (2016, mai 24). *Sciences participatives : Qu'en pensent les Français ?* Ipsos. <https://www.ipsos.com/fr-fr/sciences-participatives-quen-pensent-les-francais>
- Etienne, M. (Éd.). (2010). *La modélisation d'accompagnement : Une démarche participative en appui au développement durable.* Éd. Quae.
- FERRAND, N., HASSENFORDER, E., & AQUAE-GAUDI, W. (2021). *L'approche COOPLAGE – Quand les acteurs modélisent ensemble leur situation, principes ou plans pour décider et changer durablement, en autonomie.* <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2021.1.03>
- France Stratégie. (2018). *Expertise et démocratie—Faire avec la défiance.* 194.
- Georgescu-Roegen, N. (2020). *La décroissance. Entropie, écologie, économie.* <https://www.decitre.fr/livres/la-decroissance-9782869853751.html>
- Girard, S., Rolland, L., & Rivière-Honegger, A. (2015). Saisir la territorialité par le dessin. Retours méthodologiques. *Sciences de la société*, 96, 47-67. <https://doi.org/10.4000/sds.3286>
- Gonzalez-Laporte, C. (2014). *Recherche-action participative, collaborative, intervention... Quelles explicitations?* [Report, Labex ITEM]. <https://hal.univ-grenoble-alpes.fr/hal-01022115>
- Goodland, R. (1995). The Concept of Environmental Sustainability. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 26(1), 1-24. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.26.110195.000245>
- Grenier, J.-Y., & Jatteau, A. (2022). *HSS591A - Systèmes économiques et développement durable.* <https://moodle.polytechnique.fr/enrol/index.php?id=14072>
- Groupe URD. (s. d.). *La MARP : La Méthode d'Analyse Rapide et de Planification Participative | ALNAP.* Consulté 18 juillet 2022, à l'adresse <https://www.alnap.org/help-library/la-marp-la-m%C3%A9thode-d%E2%80%99analyse-rapide-et-de-planification-participative>
- Haberl, H., Wiedenhofer, D., Virág, D., Kalt, G., Plank, B., Brockway, P., Fishman, T., Hausknost, D., Krausmann, F., Leon-Gruchalski, B., Mayer, A., Pichler, M., Schaffartzik, A., Sousa, T., Streeck, J., & Creutzig, F. (2020). A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part II : Synthesizing the insights. *Environmental Research Letters*, 15(6), 065003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab842a>
- Hassenforder, E., Dray, A., & Daré, W. (2020). *Manuel d'observation des jeux sérieux.* ComMod; CIRAD. <https://doi.org/10.19182/agritrop/00113>
- Houllier, F., & Merilhou-Goudard, J.-B. (2016). *Les sciences participatives en France* (p. 63 p.) [Other]. <https://doi.org/10.15454/1.4606201248693647E12>
- IPCC. (2022, avril 4). *AR6 Climate Change 2022 : Mitigation of Climate Change.* <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>
- Krieger, E. (2022). *Describing and designing socio-technical organizations through the biophysical description of territorialized supply chains.* 93.

- Lardinois, E. (2000). *Le jeu : Outil de communication commerciale : conception de produits et formation des clients* [These de doctorat, Paris 13]. <http://www.theses.fr/2000PA131032>
- Larousse, É. (s. d.). *Définitions : Territoire - Dictionnaire de français Larousse*. Consulté 15 juillet 2022, à l'adresse <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/territoire/77470>
- Latour, B. (2004, février 12). *Politiques de la nature*. https://www.editionsladecouverte.fr/politiques_de_la_nature-9782707142191
- Leacock, M. (2009). *Pandemic*. Esprit Jeu.com. <https://www.espritjeu.com/jeu-de-societe/pandemie.html>
- Luciani, S., & Tascini, D. (2012). *Tzolk'In : Le Calendrier Maya*. <https://www.espritjeu.com/jeu-de-societe/tzolk-in-le-calendrier-maya.html>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, Ö., Yu, R., & Zhou, B. (Éds.). (2021). *Climate Change 2021 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Meadows, D. (1986). *Fish Banks Game*. System Dynamics Society. <https://systemdynamics.org/products/fish-banks-game/>
- Meadows, D., Meadows, D., & Randers, J. (2004). *Limits to growth : The 30-year update*. <https://doi.org/10.1108/sd.2006.05622aae.002>
- Meera, P., McLain, M. L., Bijlani, K., Jayakrishnan, R., & Rao, B. R. (2016). Serious Game on Flood Risk Management. In N. R. Shetty, N. H. Prasad, & N. Nalini (Éds.), *Emerging Research in Computing, Information, Communication and Applications* (p. 197-206). Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2553-9_19
- Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Tignor, M. M. B., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., & Rama, B. (Éds.). (2022). *Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Postone, M., & Gopal, P. (2012). *Perspectives on the global crisis*. Duke University Press.
- pour le plaisir de créer scrapbooking (Réalisateur). (2020, mars 18). *Tuto carte infinie carré*. <https://www.youtube.com/watch?v=hVfQPUL7SDI>
- Reed, M. S. (2008, juillet 12). *Stakeholder participation for environmental management : A literature review*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0006320708002693>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S. I., Lambin, E., Lenton, T., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. (2009). Planetary Boundaries : Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*, 14(2). <https://doi.org/10.5751/ES-03180-140232>
- Rodet, D. (2008). Loïc Blondiaux, Le nouvel esprit de la démocratie. Actualité de la démocratie participative. *Lectures*. <https://journals.openedition.org/lectures/609>

- Rotenberg, M. (2015). Les Jeux de Société : Essai sur la production d'un outil d'analyse autour des mécaniques de jeu. *Mémoire de Master 2 Sciences de l'éducation (EFIS) – Spécialité Sciences du jeu – Parcours professionnel*. https://www.ville-jeux.com/IMG/pdf/m2_-_mecaniques_des_jeux_de_societe.pdf
- Sciences Po CEVIPOF. (2022, janvier). *Le Baromètre de la confiance politique, vague 13*. <https://www.sciencespo.fr/cevipof/fr/content/le-barometre-de-la-confiance-politique.html>
- Slocum, N. (2006). *Méthodes participatives : Un guide pour l'utilisateur*.
- STEEP. (s. d.). Consulté 21 juillet 2022, à l'adresse <https://steep.inria.fr/alternatives-sociotechniques/>
- Sweeney, L. B., Meadows, D., & Mehers, G. M. (2018, août 24). *The Systems Thinking Playbook for Climate Change* [Text]. CCARDESA. <https://www.ccardesa.org/knowledge-products/systems-thinking-playbook-climate-change>
- Tardif, M. (2017). Mini DiverCity (VF). *LilloJEUX*. <https://www.lillojeux.ca/boutique/jeux-de-societe/mini-divercity/>
- Teuber, K. (1995). *Les Colons de catane*. <https://www.regledujeu.fr/catane/>
- van Bruggen, A., Nikolic, I., & Kwakkel, J. (2019). Modeling with Stakeholders for Transformative Change. *Sustainability*, 11(3), 825. <https://doi.org/10.3390/su11030825>
- vie-publique.fr. (s. d.). *Participation citoyenne : Un nouvel essor ?* vie-publique.fr. Consulté 18 juillet 2022, à l'adresse <https://www.vie-publique.fr/dossier/273798-participation-citoyenne-un-nouvel-essor>
- Voinov A., B. F. (s. d.). *Modelling with stakeholders* [Article de périodique]. CIRAD. Consulté 5 juillet 2022, à l'adresse http://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=555020
- Voinov, A., & Bousquet, F. (2011). Modelling with stakeholders. *Environmental Modelling & Software*, 25(11), 1268-1281. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.007>
- Wilson, J. A. (2022). *Everdell*. <https://paradoxetemporel.fr/30788-test-deverdell.html>
- Wouters, P., van Nimwegen, C., van Oostendorp, H., & van der Spek, E. D. (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 249-265. <https://doi.org/10.1037/a0031311>